

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

6 2014
(55)

Учредитель:

Московский
государственный
университет путей
сообщения (МИИТ)

Редакционный совет:

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

Б. В. Гусев – член-корреспондент РАН – заместитель председателя совета

В. И. Галахов – доктор технических наук, профессор МИИТ – ответственный секретарь совета

И. С. Беседин – кандидат технических наук

Ф. С. Гоманков – кандидат технических наук, профессор МИИТ

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

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

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

Л. А. Карпов – кандидат технических наук, профессор МИИТ

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

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

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

В. П. Мальцев – доктор технических наук, профессор МИИТ

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

Н. П. Терёшина – доктор экономических наук, профессор МИИТ

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Будущее транспорта в контексте
мегаэкономических изменений 6

Сергей ВАКУЛЕНКО, Олег ЛАРИН, Сергей ЛЁВИН

Теоретические аспекты механизмов взаимодействия
в транспортных системах 14

Марина ЗОТОВА

ЦОД в неустановившемся режиме работы 28

НАУКА И ТЕХНИКА

*Юрий ИНЬКОВ, Виктор ЛИТОВЧЕНКО, Дмитрий НАЗАРОВ,
Валерий ФЕОКТИСТОВ*

Выбор параметров двухсистемного грузового электровоза ... 34

Леонид ГЕРМАН, Константин КИШКУРНО

Регулирование мощности установки поперечной
компенсации на посту секционирования 48

«Авгурь» стал обладателем «Золотой колесницы» 55

Александр ВОРОБЬЁВ, Валерий КАРПОВ, Сергей СОКОЛОВ

Неразрушающий контроль: анализ надёжности ПС 58

Зиновий ШУЛЬМАН

Непрерывные измерения вертикальных сил взаимодействия
пути и подвижного состава 68

Михаил КВАШНИН, Николай КВАШНИН, Иван БОНДАРЬ

Вейвлет-анализ в виброакустическом методе контроля 78

ЭКОНОМИКА

Наталья КОРОЛЬКОВА, Светлана ИНОЗЕМЦЕВА

Структурные особенности эксплуатационных расходов 86

Любамира ЕФИМОВА

Точки опоры для дальневосточных преобразований 100

Екатерина РЕШЕТОВА

Стоимость времени и плата за проезд по городским
дорогам 108

Анатолий БЫКОВ, Руслан ПЕТИЛАВА, Кирилл САВЕЛЬЕВ

Логистика ремонта грузовых вагонов 116

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –
главный редактор

В. И. ГАЛАХОВ –
первый заместитель
главного редактора

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –
заместитель
главного редактора

Л. А. БАРАНОВ
М. М. БОЛОТИН
В. Н. КОТУРАНОВ

Над номером
работали:

И. А. ГЛАЗОВ –
технический редактор
Т. Г. ИВАНОВА –
художественный редактор
Н. К. ОЛЕЙНИК –
технический редактор
М. В. МАСЛОВА –
английский перевод

Адрес редакции:
127994, г. Москва,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Тел.: (495) 684 2877

Журнал выходит 6 раз в год.
Цена свободная.

**Подписной индекс
в Каталоге Роспечати**
«Газеты. Журналы» –
80812; в Каталоге научно-
технической информации
«Роспечати» –
60790.

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

Отпечатано в КМУ МКЖТ (МИИТ)
Тираж 1000 экз

Ознакомиться с содержанием
вышедших номеров можно на сайте
научной электронной библиотеки
elibrary.ru, а с условиями публикаций
в журналах – на web-сайте
Московского государственного
университета путей сообщения
(МИИТ) по адресу: <http://www.mii.ru>.

**Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования.**

При перепечатке ссылка
на журнал «Мир транспорта»
обязательна.

© «Мир транспорта», 2014

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Нелли СЕДОВА

Расхождение судов в зоне чрезмерного сближения 124

ИСТОРИЯ С ПРОДОЛЖЕНИЕМ

Перспективы проекта
железнодорожного кольца вокруг Каспия 133

Анастасия КОПЫЛОВА

Интегрированная система управления рисками 134

Александр САЛЬНИКОВ

Маркетинговый подход к исследованию городских
пассажиропотоков. 142

Бюллетень ОСЖД: сдвоенный номер 152

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Владимир ВЕСТЯК

Пожаротушение с вертолёта в городах 154

Евгений КУРБАЦКИЙ, Ван Хунг НГУЕН

Транспортные тоннели из опускных секций 160

Мargarита ЖУРАВЛЕВА, Николай ЗУБРЕВ, Сергей КОКИН

Загрязнение придорожной зоны тяжелыми металлами 174

Владимир ПОЛЯКОВ

Безопасность при высоких скоростях на мосту 182

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Борис ЛЁВИН

Университетский ресурс в инновационном цикле 190

Лариса ЛАПИДУС

Подготовка экономистов и менеджеров в условиях
глобализации 204

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Игорь СИРОТЕНКО, Георгий ГОГРИЧИАНИ

Ресурс тепловозных дизелей: ретроспективный анализ 212

ПРЕСС-АРХИВ

Результаты съезда по каменноугольному кризису и вторая
Екатерининская дорога 222

Николай ГРИГОРЬЕВ

Яркий луч впереди паровоза 224

Валентина ТАРАСОВА, Галина ЕФИМОВА

Пассажирский вагон плавно прошел свой путь 238

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Александр НИКОЛАЕВ

Тарифы и штормовые рифы 246

Авторефераты диссертаций 250

Новые книги о транспорте 252

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ 46, 107, 201, 210

Содержание журнала в 2014 году 255

«Мир транспорта» в числе победителей
русского конкурса 268

**MIR TRANSPORTA
JOURNAL (MT)**

(World of Transport and
Transportation Journal)

Founded in 2003

by Moscow State

**University of Railway
Engineering (MIIT)**

Editorial council:

Boris A. Lievin, D. Sc. (Tech),
professor of Moscow State
University of Railway Engineering,
chairman

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

Valentine I. Galahov, D. Sc.
(Tech), professor of Moscow
State University of Railway
Engineering, executive secretary

Ivan S. Besedin, Ph.D. (Tech)

Fedor S. Gomankov, Ph.D.
(Tech), professor of Moscow
State University of Railway
Engineering

Alexander A. Gorbunov, D. Sc.
(Pol), professor of Moscow State
University of Railway Engineering

Nickolay A. Duhno, LL.D.,
professor of Moscow State
University of Railway Engineering

Dmitry G. Evseev, D. Sc. (Tech),
professor of Moscow State
University of Railway Engineering

Leonid A. Karpov, Ph.D. (Tech),
professor of Moscow State
University of Railway Engineering

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

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

Boris M. Lapidus, D. Sc. (Econ),
professor

Valery P. Maltsev, D. Sc. (Tech),
professor of Moscow State
University of Railway Engineering

Leonid B. Mirotin, D. Sc. (Tech),
professor of Moscow State
Automobile and Road Technical
University

Natalia P. Tereshina, D. Sc.
(Econ), professor of Moscow
State University of Railway
Engineering

Tran Dac Su, D.Sc. (Tech),
professor of the University of
Transport and Communications
(Hanoi, Vietnam).



•THEORY •HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

6²⁰¹⁴
(55)

CONTENTS

THEORY

Dmitry A. MACHERET

The Future of Transport in the Context
of Mega-economic Changes 6

Sergey P. VAKULENKO, Oleg N. LARIN, Sergey B. LIEVIN

Theoretical Aspects of Interaction Mechanisms
in Transport Systems 14

Marina A. ZOTOVA

Data Processing Center in Transient Mode 28

SCIENCE AND ENGINEERING

Yuri M. INKOV, Viktor V. LITOVCHENKO, Dmitry V. NAZAROV,

Valery P. FEOKTISTOV

Selection of Parameters for Dual-System Freight Electric
Locomotive 34

Leonid A. GERMAN, Constantine V. KISHKURNO

Power Control of Shunt Compensation Installation
at Section Pillar. 48

Augue decorated with Colden Chariot 55

Alexander A. VOROBIEV, Valery A. KARPOV, Sergey A. SOKOLOV

Non-destructive Control: Analysis of Rolling Stock Reliability 58

Zinovy A. SHULMAN

Continuous Measurements of Vertical Forces of Track
and Rolling Stock Interaction 68

Mikhail Ya. KVASHNIN, Nikolai M. KVASHNIN, Ivan S. BONDAR

Wavelet Analysis in Vibro-Acoustic Control Method 78

ECONOMICS

Natalia V. KOROLKOVA, Svetlana M. INOZEMTSEVA

Structural Features of Operating Costs 86

Lyubamira V. EFIMOVA

Support points for the Far Eastern Transformations. 100

Ekaterina M. RESHETOVA

Time Cost and Fares for Travel on Urban Highways

Anatoly I. BYKOV, Ruslan A. PETILAVA, Cyril O. SAVELIEV

Logistics of Freight Cars Repair 116

MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

Nelly A. SEDOVA

Collision Avoidance Actions in the Area of Excessive Approach. . . 124

SEQUEL OF THE STORY

Outlook of the Project of a Railway Ring around the Caspian Sea 133

Anastasia V. KOPYLOVA

Integrated Risk Management System 134

Editorial board

Boris A. Lievin, editor-in-chief

Valentine I. Galahov, first deputy editor-in-chief

Evgeny Yu. Zarechkin, deputy editor-in-chief

Leonid A. Baranov

Mikhail M. Bolotin

Vladimir N. Koturanov

Editorial staff

Ivan A. Glazov, technical editor

Tatiana G. Ivanova, layout editor

Natalia C. Oleynik, editorial secretary

Maria V. Maslova, translator

Published quarterly since 2003.
Bimonthly since 2013.

Circulation of the current issue is 1000 copies; the journal is distributed by subscription and delivered by the editor to Russian and foreign technical and transport universities, national and regional technical libraries, government and public bodies, transport companies.

Information for the authors and editorial politics are available at the information resources page of the Web site of MIIT University at <http://miit.ru>.

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

The journal is part of Russian scientific citation index system.

Address for your mail: MIIT,
Redaktsiya journala Mir
Transporta, Obraztsova ul., d.9,
str.9, Moscow, 127994, Russia.
E-mail: mirtr@mail.ru,
MTavtor@mail.ru or
wttjournal@gmail.com

© Mir Transporta Journal

© English translation

© 2014. All rights reserved. Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of Mir Transporta Journal.

Alexander M. SALNIKOV

Marketing Approach to the Study of Urban Passenger Flows 142

OSJD Bulletin: Two Numbers in One 152

ENGINEERING ECOLOGY

Vladimir A. VESTYAK

Fire Extinguishing from a Helicopter in the Cities. 154

Evgeny N. KURBATSKIY, Van Hung NGUYEN

Transport Immersed Tube Tunnels 160

Margarita A. ZHURAVLEVA, Nikolai I. ZUBREV, Sergey M. KOKIN

Contamination of Roadside Areas with Heavy Metals. 174

Vladimir Yu. POLYAKOV

Safety on a Bridge at High Speeds. 182

EDUCATION, TRAINING AND PERSONNEL

Boris A. LIEVIN

University Resources in Innovation Cycle 190

Larisa V. LAPIDUS

Training of Economists and Managers in Globalized
Environment 204

HISTORY'S WHEEL

Igor V. SIROTENKO, Georgy V. GOGRICHIANI

Working Life of Diesel Engines: a Retrospective Analysis 212

NEWS FROM... THE ARCHIVES

Results of the Congress on coal crisis and second
Ekaterinburg railway 222

Nickolai D. GRIGORIEV

Bright Beam in front of a Locomotive. 224

Valentina N. TARASOVA, Galina N. EFIMOVA

Passenger Car Passed its Way Smoothly 238

BIBLIO-DIRECTIONS

Alexander NIKOLAEV

The Tariffs and Storm Reefs 246

Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses 250

Selected list of new books on transport and transportation 252

EXPRESS INFORMATION 46, 107, 201, 210

Contents of the issues (2014) 255

Second forum on transport education. 267

Mir Transporta (World of Transport and Transportation)

Journal is among the winners of Russian competition
of scientific journals 268

Every article in the journal is followed by English version that contains titles, information on the authors, their contacts, key words, references, and abstracts, as well as summary which represents full structured translation of Russian version.



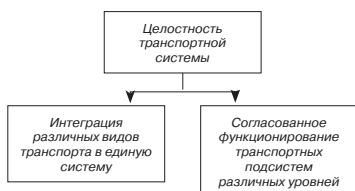
МЕГАЭКОНОМИКА 6

Транспорт делает мир глобальным.



СИСТЕМА 14

Концептуальная модель взаимодействия.



СЕТЕВОЙ РЕЖИМ 28

Интегрирование уравнений Колмогорова показывает...

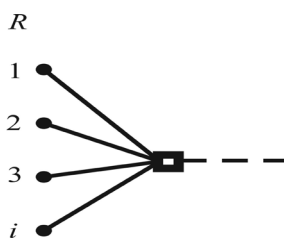
ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY

MEGA ECONOMICS 6

Transport makes the world global.

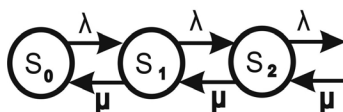
SYSTEM 14

Concept model of interaction.



NETWORK MODE 28

Integration of Kolmogorov equations shows that...





Будущее транспорта в контексте мегаэкономических изменений



Дмитрий МАЧЕРЕТ

Dmitry A. MACHERET

Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика строительного бизнеса и управление собственностью» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ). Москва, Россия.

Мнения экономистов расходятся относительно того, что ожидает мир в перспективе – возвращение к более динамичному и относительно устойчивому экономическому росту или ещё большее замедление развития, чем после мирового кризиса 2008–2009 годов.

При любом из этих сценариев можно предполагать возрастание роли транспорта. Во-первых, в силу закона ускоренного роста товарообмена. Во-вторых, благодаря разворачивающейся «новой торговой революции», опирающейся на глобальные торговые сети и цепи поставок, которые превращаются в главную организующую силу мировой экономики.

Транспорт призван становиться активным элементом глобальных цепей поставок, значимо участвовать в формировании новых контуров экономики, в том числе на основе интеграции в системы глобального товародвижения.

Ключевые слова: мегаэкономика, современный экономический рост, закон ускоренного роста товарообмена, транспорт, логистика, система глобального товародвижения.

Около двух столетий назад мир вступил в эпоху *современного экономического роста*. Этот термин предложил лауреат Нобелевской премии по экономике Саймон Кузнец. Он выделил следующие ключевые характеристики эпохи, начавшейся (условно) в 1820-х годах:

- высокие темпы роста душевого продукта и населения в развитых странах;
- многократный рост производительности труда и выхода продукции на единицу затрат;
- высокие темпы структурной трансформации экономики;
- стремительные изменения в структурах общества и его идеологии;
- при возросших возможностях технологий, в частности в сферах транспорта и коммуникаций, экономически развитые страны стремятся распространить свое влияние на весь остальной мир, делая его таким образом единым;
- распространение современного экономического роста ограничено тем, что уровень производства в странах, где проживает $\frac{3}{4}$ мирового населения, по-прежнему не соответствует уровню, определяемому современными технологиями [1].

Главной отличительной чертой современной экономической эпохи, согласно такой

версии, стало резкое ускорение темпов роста экономики. Если с начала новой эры мировой ВВП рос в среднем всего лишь на 0,1% в год, то в эпоху современного экономического роста — на 2,25% [2, с. 131]. При этом после Второй мировой войны динамика была ещё выше: в период 1950—1973 гг. — 4,90% в среднем за год, в 1973—2003 гг. — 3,17%.

В 2003—2007 гг. мировой ВВП рос в среднем на 3,6% в год, затем глобальный кризис привел к замедлению его динамики. В 2013 году темп прироста составил всего 2,1%, т. е. после завершения острой фазы кризиса мировой экономики докризисные темпы не восстановились. Мировая экономика вступила в период замедления темпов роста и растущей неопределенности [3].

Некоторые экономисты считают это временным явлением, прогнозируя подъем мировой экономики на новой волне большого цикла Кондратьева (2018—2050 гг.) благодаря росту инновационной активности [3]. Другие высказывают мнение, что замедление экономического роста — не кратковременное явление, а новая экономическая парадигма, и оно будет усугубляться в долгосрочной перспективе [4].

В связи с этим важно оценить, во-первых, роль транспорта в выходе экономики на устойчивый и более динамичный рост, а во-вторых, перспективы развития транспорта в условиях более низких в долгосрочном периоде темпов роста. Возможность такого варианта исключить нельзя.

Роль транспорта в повышении динамики долгосрочного развития экономики в XXI веке была рассмотрена (применительно, в первую очередь, к железным дорогам) в работах [5,6,7,8].

Стержнем рыночной экономики являются товарообменные процессы, материальная основа которых — системы коммуникаций. Переворот в средствах связи способствовал развитию товародвижения и повышению общей эффективности экономики, но в не меньшей степени он поспособствовал и ее «виртуализации», ставшей одной из причин глобального кризиса. Необходим поворот к росту реальной эффективности, основанной на производительности [9], а это требует инноваций в системе движения реальных ценностей — товаров, т. е. в транспортной системе.

Реализация инновационных транспортных продуктов, техники, технологий и про-

цессов управления позволит открыть новые возможности для:

- роста эффективности производства, обмена и потребления товаров и услуг;
- выравнивания и гармонизации развития различных регионов мира;
- решения демографических проблем и смягчения диспропорций в размещении и уровне жизни населения, в том числе на основе кардинального повышения пространственно-временной мобильности;
- решения экологических проблем и минимизации рисков для здоровья и безопасности людей;
- минимизации энергозатрат на единицу перевозок и сохранения невосполнимых источников энергии [8, с. 182].

Всё это будет способствовать устойчивости и динамизму экономического развития. Но даже значительное по темпам и продолжительности замедление роста мировой экономики, скорее всего, не повлечёт сокращения динамики перевозок до такого же уровня.

Этот тезис базируется на двух основаниях. Первое из них можно назвать законом ускоренного роста товарообмена. **Он заключается в том, что развитие экономики сопровождается более быстрым ростом торговли, который, в свою очередь, является условием экономического роста, поддерживает и стимулирует его.**

Действенность закона можно выявить статистическим путём. Как следует из оценок экономического историка Э. Мэддисона [2], в эпоху современного экономического роста мировой ВВП увеличился примерно в 60 раз, а мировая торговля — более чем в 1200 раз! При этом следует отметить, что ускоренный рост торговли не является характеристикой только эпохи экономического роста. В предшествующую ей эпоху торгового капитализма (1500—1820 гг.) объёмы мировой торговли возросли более чем в 20 раз, в то время как мировой ВВП — менее чем в 3 раза. Таким образом, в долгосрочных (точнее, в сверхдолгосрочных) периодах времени рост мировой торговли и мирового производства имеют порядковое различие. В среднем за год темп прироста мировой торговли превышает темп прироста мирового ВВП в 2—3 раза [2, с. 131].

Закон ускоренного роста товарообмена, аналогично любому экономическому закону, действует как общая тенденция, от которой в отдельные периоды возможны отступления.





Например, в 1930-е годы в условиях беспрецедентного экономического кризиса, роста протекционизма и политической напряженности, что в конце концов привело ко Второй мировой войне, объем мировой торговли сократился вдвое [10, с. 522], т. е. в гораздо более значительной степени, чем упало совокупное мировое производство. Но такие примеры свидетельствуют только о том, что отклонение от тенденции ускоренного роста торговли — это серьезное нарушение хода экономической (да и не только) жизни, которое требует преодоления и возвращения к нормальной траектории развития.

Не случайно один из крупнейших экономистов и социальных мыслителей XX века нобелевский лауреат Ф.А. фон Хайек заявил: «... превыше всего я ставлю свободную торговлю во всем мире» [10, с. 533].

Безусловно, статистического обоснования закона ускоренного роста товарообмена недостаточно. Необходимо также содержательное, сущностное обоснование. Прежде чем перейти к нему, обратим внимание на интересные (и притом общеизвестные) факты. В любой автомобилеекспортирующей стране (причём являющейся нетто-экспортером) продаются автомобили множества зарубежных фирм. В каждой стране, экспортирующей вино, — разнообразные иностранные вина. И такие примеры можно найти по большинству товаров. Конечно, это явление — примета экономической глобализации, но уходит оно корнями в глубокую древность. Так, в результате археологических раскопок на греческом острове Тира (Санторини), бывшем одним из центров минойской цивилизации, выявлено, что ещё в XVII веке до н. э. 85% керамики там было местного производства, а 15% — привозной, и не только с Крита или других окрестных островов, но и из материковой Греции, Малой Азии, Сирии.¹

Есть все основания предположить, что уже в то время в ходе торговли ввозились не только такие товары, которые в данном месте не производились или не могли быть произведены в достаточном количестве (как зерно в Греции), но и товары, которые просто делали более разнообразным и утонченным удовлетворение возросшего платежеспособного спроса (подобно тому, как сейчас «мерседесы»

ввозятся в Японию, а «тойоты» в Германию, хотя каждая из этих стран в принципе может полностью удовлетворить внутренний спрос на автомобили).

Подобные товаропотоки (которые в условиях централизованно планируемой экономики сочли бы нерациональными) дают возможность не просто качественного удовлетворения спроса с точки зрения ассортимента, они способствуют и общему росту эффективности экономики. Ведь ни в одном, даже значительном по населению, регионе неэффективно обеспечивать производство всего возможного ассортимента того товара, который в принципе производится там в достаточном количестве. Эффективнее организовать товарообмен, сосредоточившись на тех ассортиментных позициях, где обеспечивается сравнительное преимущество (например, за счет производственных традиций, или, наоборот, благодаря инновационным решениям) — направлять часть своей продукции на экспорт, а какие-то ассортиментные позиции — импортировать. То есть закон сравнительных преимуществ, сформулированный Давидом Рикардо [11], проявляется не только применительно к производству видов товаров, но и отдельных ассортиментных позиций.

Более того, весь ассортимент в своем регионе в каждый момент времени производить не только невыгодно, а просто невозможно. В других регионах постоянно появляются новые разновидности товаров (сорта, модели), на их освоение местным производителям нужно определенное время, в течение которого опять же появятся (возможно, уже в иных регионах) другие разновидности. Скопировать каждую новинку моментально нереально, а по прошествии какого-то времени — нерационально. Всегда будешь в «догоняющих», а по сути, в отстающих. Лучше искать и реализовывать собственные инновационные решения, ориентированные на глобальный рынок. Ведь даже удержать внутренний рынок, не выходя за его пределы, весьма проблематично [12]. Таким образом, никакое развитие местного производства не ограничивает товарообмен. Рост товарообмена потенциально безграничен, а значит, потенциально безграничен и рост спроса на транспортные услуги.

Второе основание для более динамичного роста объемов транспортных услуг

¹ По информации, содержащейся в экспозиции Музея предистории острова Тира (The Museum of Prehistoric Thera).

в сравнении с объемами товарного производства можно увидеть в повышении роли торгового капитала и возникновении глобальных цепей поставок [12]. Согласно концепции новой торговой революции, глобальные торговые сети играют уже не пассивную роль товаропроводящих каналов, а перехватывают у крупных производителей роль основных организаторов мирового хозяйства [13].

Вспомним, что промышленной революции, которая положила начало эпохе современного экономического роста, предшествовала эпоха торгового капитализма. Именно развитие торговли, рост торгового капитала подготовили условия для развития капитала промышленного.

Сейчас история повторяется на новом витке спирали социально-экономического развития: торговый капитал превращается в организующую силу глобальной экономики, определяющую, что и где будет производиться. При этом современный торговый капитал вместе с товаропотоками перемещает производства: локальные производства должны встраиваться в глобальные цепи поставок, чтобы быть конкурентоспособными [12].

Какие выводы из этого можно сделать?

Во-первых, если следовать аналогии с эпохой торгового капитализма, то можно ожидать, что темпы роста торговли (напрямую влияющие на интенсивность транспортных потоков) будут существенно выше динамики валового выпуска. В эпоху торгового капитализма среднегодовой темп прироста мировой торговли втрое превосходил динамику мирового ВВП, в то время как во второй половине XX — начале XXI века это соотношение составляло менее двух раз [2, с. 131]. Повышение темпов роста мировой торговли относительно динамики производства будет означать, что даже если произойдет долгосрочное снижение темпов экономического роста, спрос на транспортно-логистические услуги не перестанет достаточно динамично расти, причем не только количественно, но и качественно.

Во-вторых, развитие транспорта должно ориентироваться не только и не столько на самих производителей, сколько на глобальные торговые потоки, глобальные цепи поставок. Более того, транспорт должен становиться активным элементом этих цепей, участвовать в формировании новых контуров мировой

экономики, в том числе географическом размещении производительных сил.

В новых условиях возрастет роль логистических операторов, а особенно — операторов общего распределения. Такой оператор является центральным элементом логистической транспортно-распределительной системы, призванной в конкурентной среде обеспечивать реагирование не только транспортной, но и производственной сферы на требования рынка [14, с. 123].

Кульминацией повышения роли транспорта и логистики в мировой экономике может стать интеграция транспортно-логистических систем и глобальных торговых сетей и цепей поставок в системы глобального товародвижения.

Система глобального товародвижения должна обеспечивать эффективное взаимодействие всех звеньев производства, сбыта и потребления товаров, причем не просто конкретных производителей и потребителей, а интегрированного спроса и предложения. Принципиальная схема такой системы представлена в работе [15].

Реальная интеграция предложения и спроса, обеспечивающая их физическое сбалансирование с экономической доставкой товаров из конкретных точек производства в конкретные точки потребления, потребует создания банка транспортных услуг или, точнее, банка транспортных мощностей (ведь транспортная услуга неотделима от самого процесса перевозки).

Банк транспортных мощностей должен охватывать все виды транспорта и предоставлять возможность доставки товара «от двери до двери» между любыми точками. Он будет глобальной транспортно-логистической системой, обеспечивающей доставку товара по заданной корреспонденции с использованием наиболее эффективных маршрута или схемы доставки.

Система глобального товародвижения призвана обеспечить устойчивый сбыт (в рамках имеющегося мирового спроса) для продавцов и устойчивые закупки для потребителей при снижении транзакционных издержек.

Точно так же, как система финансовых банков аккумулирует свободные денежные средства и предоставляет их в виде кредитов тем, кто имеет потребность в деньгах, система глобального товародвижения должна аккумулировать предложение товаров и с помощью





гибкого использования транспортных мощностей, объединенных в логистические системы, удовлетворять спрос.

Другими словами, покупатели и продавцы будут взаимодействовать друг с другом и транспортно-логистическими компаниями не непосредственно, а через систему глобального товародвижения. Естественно, систем глобального товародвижения придется иметь несколько, может быть, даже много (сколько — определит мировой рынок). Они, с одной стороны, будут конкурировать между собой, а с другой — вероятно, специализироваться на определенных товарных группах.

Наличие систем глобального товародвижения, конечно, не отменит прямых связей между производителями, потребителями и транспортными компаниями. Каждый рыночный субъект в каждом отдельном случае будет определять, что ему выгоднее: осуществлять сбыт или закупки с помощью системы глобального товародвижения, либо искать удобных себе контрагентов.

При наличии систем глобального товародвижения перевозчики, принадлежащие к тем или иным видам транспорта, должны будут эффективно, с гарантированным качеством выполнять перевозки на своих «отрезках» глобальных логистических цепей, а владельцы инфраструктуры — поддерживать резервы пропускной способности, достаточные для реагирования на колебания спроса, обеспечения высокой скорости и низкой себестоимости перевозок.

Роль государства при этом состоит в развитии транспортной инфраструктуры (что является предпосылкой к повышению отдачи от частных инвестиций [16, с.9]), а также в создании институциональных условий для привлечения частных инвестиций в инфраструктуру и ведения эффективной транспортно-логистической деятельности, в том числе трансграничной. В этом плане важно обеспечить простые и быстрые процедуры пересечения границы, таможенного оформления грузов.

Таким образом, при всей неоднозначности происходящих мегаэкономических изменений и существующей неопределенности можно сделать вывод о том, что роль транспорта и логистики в мировой экономике должна качественно возрастать, становиться более активной, во многом определяющей ее развитие.

Это необходимо как для повышения темпов и устойчивости развития мировой экономики уже в обозримом будущем, так и в том случае, если мир ожидает относительно длительный период замедления экономической динамики — для подготовки новой эпохи экономического роста в более отдаленной перспективе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kuznets S. Modern Economic Growth: Rate, Structure and Spread. New Haven; London: Yale University Press, 1966, pp.3–8.
2. Мэддисон Э. Контуры мировой экономики в 1–2030 гг. Очерки макроэкономической истории: Пер. с англ. — М.: Изд. института Гайдара, 2012. — 584 с.
3. Акаев А. А., Рудской А. И. Синергетический эффект NBIC- технологий и мировой экономический рост в первой половине XXI века // Экономическая политика. — 2014. — № 2. — С. 25–46.
4. Гордон Р. Дж. Закончен ли экономический рост? Шесть препятствий для инновационного развития (на примере США): Пер. с англ. // Вопросы экономики. — 2013. — № 4. — С. 49–67.
5. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Эволюция железнодорожного транспорта — на пути к инновационному ренессансу // Вестник ВНИИЖТ. — 2011. — № 1. — С. 3–14.
6. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Макроэкономический аспект эволюции железнодорожного транспорта // Вопросы экономики. — 2011. — № 3. — С. 124–137.
7. Мачерет Д. А. Инновационное развитие транспортных систем открытого доступа // Мир транспорта. — 2012. — № 1. — С. 78–82.
8. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта: Теоретические основы, исторические тенденции и взгляд в будущее. — М.: КРАСАНД, 2014. — 234 с.
9. Мачерет Д. А. Производительность — фундаментальная основа экономической эффективности // Экономика железных дорог. — 2010. — № 7. — С. 19–34.
10. Назар С. Путь к великой цели: история одной экономической идеи: Пер. с англ. — М.: АСТ: CORPUS, 2013. — 704 с.
11. Рикардо Д. Начала политической экономии и налогового обложения. Избранное: Пер. с англ. — М.: Эксмо, 2009. — 960 с.
12. Радаев В. В. Можно ли спасти российскую легкую промышленность // Вопросы экономики. — 2014. — № 4. — С. 17–36.
13. Hamilton G., Petrovic M. Retailers as Market Makers // The Market Makers: How Retailers are Reshaping the Global Economy. — Oxford: Oxford University Press, 2011, pp. 125–137.
14. Куренков П. В., Котляренко А. Ф. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Логистика. Управление. — Самара: СамГАПС, 2002. — 636 с.
15. Мачерет Д. А. От логистики к системе глобального товародвижения // Мир транспорта. — 2006. — № 3. — С. 72–75.
16. Идрисов Г. И., Синельников-Мурылев С. Г. Формирование предпосылок долгосрочного роста: как их понимать? // Вопросы экономики. — 2014. — № 3. — С. 4–20. ●

THE FUTURE OF TRANSPORT IN THE CONTEXT OF MEGAECONOMIC CHANGES

Macheret, Dmitry A. – D. Sc. (Economics), professor, head of the department of economics of construction business and property management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

Economists disagree as to what the world expects in future – a return to a more dynamic and relatively sustainable economic growth or a greater slowdown of the development as compared with the global crisis of 2008–2009. In any of these scenarios we can expect an increase in the role of transport. Firstly, it may occur by virtue of the law of accelerated growth of goods exchange. Secondly, it may appear due to the starting of «new commercial revolution», which is based on global trading networks and supply chains, which are converted into the main organizing force of the world economy. Transport aims to become a driving element in the global supply chains, to participate meaningfully in the formation of a new profile of the economy, including through the integration of transport and logistics systems and global trade networks in the system of global product distribution.

ENGLISH SUMMARY

Background. Nearly two centuries ago, the world entered the era of modern economic growth. This term was offered by Nobel Prize winner in Economics Simon Kuznets. He identified the following key characteristics of the era, which began (nominally) in the 1820s:

- high rate of growth of per capita product and population in developed countries;
- manifold growth of labor productivity and product yield per unit of input;
- high rates of structural transformation of the economy;
- rapid changes in the structures of society and its ideology;
- with increased capabilities of technologies, particularly in the areas of transport and communications, economically developed countries seek to extend their influence on the rest of the world, thus making it united;
- extension of modern economic growth is limited by the fact that the level of production in the countries, where 3/4 of the world population live, still does not correspond to the level determined by modern technology [1].

The main distinctive feature of the current economic era, according to this version, was a sharp acceleration of economic growth. If from the beginning of a new era world GDP grew at an average of only 0,1% per year, in the era of modern economic growth it grew by 2,25% [2, p. 131]. In this case, after the Second World War, the dynamics was even higher: in the period of 1950–1973 years it grew by 4,90% on average per year, 1973–2003 it grew by 3,17%.

In 2003–2007 world GDP grew by an average of 3,6% per year, then the global crisis led to a slowdown of its dynamics. In 2013, the growth rate was only 2,1%, i. e. after the acute phase of the global economic crisis pre-crisis growth has not recovered. The world economy has entered a period of slower growth and rising uncertainty [3].

Some economists believe that this is a temporary phenomenon, predicting the rise of the global economy on a new wave of large Kondratiev cycle (2018–2050) due to the growth of innovative activity [3]. Others claim that the economic slowdown is not a short-term phenomenon, but a new economic paradigm, and it will worsen in the long term [4].

In this regard, it is important to assess, firstly, the role of transport in the output of the economy on a stable and more dynamic growth, and secondly, the prospects for the development of transport in terms of lower long-term growth. This possibility cannot be excluded.

Objective. The objective of the author is to investigate transport as a driving element in global supply chains, formation of a new contour of economy, including through the integration of transport and logistics systems and global trade networks in the system of global product distribution.

Methods. The author uses general analysis, historical and statistical analysis, and comparison method.

Results. The role of transport in improving the dynamics of long-term economic development in the XXI century has been considered (in relation, first, to the railways) in [5, 6, 7, 8].

The core elements of a market economy are goods exchange processes, the material basis of which is constituted by communications systems. Revolution in communications has contributed to the development of commodity circulation and improvement of overall efficiency of the economy, but it also has promoted its «virtualization», which has become one of the causes of the global crisis. A turn is required to the growth of the real effectiveness based on performance [9], and it requires innovation in the motion of real values – goods, i. e., in the transport system.

Implementation of innovative transportation products, equipment, technologies and management processes will open up new opportunities for:

- efficiency growth of production, exchange and consumption of goods and services;
- leveling-off and harmonization of development of various regions of the world;
- solution of demographic problems and mitigation of disparities in the distribution and the standard of living of the population, including through a dramatic increase in space-time mobility;
- solution of environmental issues and minimization of risks to human health and safety;
- minimization of energy consumption per unit of transportation and conservation of non-renewable energy sources [8, p. 182].

All this will contribute to the stability and dynamism of economic development. But even a slowdown in the world economy, which is significant in pace and duration, will unlikely cause reduction of the dynamics of traffic to the same level.

This thesis is based on two grounds. The first one can be called the law of accelerated growth of goods exchange. It means that economic development is accompanied by a rapid increase in trade, which, in turn, is a prerequisite for economic growth, supports and encourages this growth.

Effectiveness of the law can be identified statistically. According to the estimates of the economic historian A. Maddison [2], in the era of modern economic growth, world GDP increased by about 60 times, and world trade increased by more than 1200 times! It should be noted that the rapid growth of trade is characteristic of not only the era of economic growth. In the previous era of merchant capitalism (1500–1820) the volume of world trade has increased by more than 20 times, while global GDP has increased less than by 3 times. Thus, in the long-term (more precisely, in the extended, super long term) periods of time, the growth of world trade and world production growth have an ordinal difference. Average annual growth rate of world trade exceeds the growth rate of world GDP by 2–3 times [2, p. 131].

Similar to any economic law, the law of accelerated growth of goods exchange acts as a general trend, but with



possible deviations during some periods of time. For example, in 1930s under the unprecedented economic crisis, growing protectionism and political tensions that eventually led to World War II, the volume of world trade fell by a half [10, p. 522], i. e. to a much greater extent than the total world production fell. But these examples show only that the deviation from the trend of accelerated growth of trade is a serious violation of economic progress (and not only) of life, which requires overcoming and return to a normal development pathway.

No coincidence is that one of the major economists and social thinkers of the XX century, the Nobel laureate F. A. Hayek said: «... above all I put free trade throughout the world» [10, p. 533].

Of course, the statistical basis of the law of accelerated growth of goods exchange is not enough. We need also a meaningful, essential rationale. Before turning to it, we pay attention to interesting (and moreover well-known) facts. In any country, exporting cars (net exporter), cars of many foreign firms are sold. In any country, exporting wine, a variety of foreign wines is sold. And such examples can be found on most goods. Of course, this phenomenon is a sign of economic globalization, but it goes back to antiquity. So, as a result of archeological excavations on the Greek island of Thera (Santorini), formerly one of the centers of the Minoan civilization, it was found that in the XVII century BC 85% of ceramics were of local production, and 15% of pottery were imported, and not just from Crete or other neighboring islands, but also from mainland Greece, Asia Minor, Syria¹.

There is every reason to assume that even at that time in the course of trade, not only they imported the goods, which were not produced there or could not be produced in sufficient quantities (as grain in Greece), but also products that provided a more diverse and refined satisfaction of a rising effective demand (just as it is now, «Mercedes» are exported to Japan, and «Toyota» are exported to Germany, although each of these countries, in principle, can fully meet the domestic demand for cars).

Such trade flows (which in case of a centrally planned economy would be considered irrational) make it possible not only to meet the demand of high quality in terms of range, they contribute to the overall growth of economic efficiency. After all, it is not effective to promote in a region, even with a significant size of population, the production of the entire possible range of goods which, in principle, are produced there in sufficient quantities. It is more effective to organize the exchange of goods, focusing on those SKUs (Stock Keeping Unit), which provide a comparative advantage (e. g., due to manufacturing practice, or, on the contrary, due to innovative solutions) by exporting part of locally manufactured SKUs, and by importing some other SKUs. That is, the law of comparative advantage, formulated by David Ricardo [11], is shown not only in relation to the production of certain goods, but also of individual SKUs.

Moreover, it is not only disadvantageous, but it is simply impossible to produce the entire range in a region at each time point. In other regions, there are always new varieties of goods (by class, model), which can be produced by local manufacturers only after some time, during which there will be again (perhaps in other regions) other varieties. It is unreal to copy every novelty instantly, and after some time it is irrational. It is better to look for and implement own innovative solutions, focused on the global market. After all it is problematic even to keep the domestic market, without going beyond it [12]. Thus, local production does not limit the exchange of goods. Growth of goods exchange is potentially limitless, and thus the growth in demand for transport services is potentially infinite.

¹ According to information, presented at The Museum of Prehistoric Thera.

The second reason for a more dynamic growth in transport services in comparison with the volume of commodity production can be seen in the increasing role of commercial capital and the emergence of global supply chains [12]. According to the concept of a new commercial revolution, global trade networks no longer play a passive role of distribution channels, but they tackle the role of the main organizers of the world economy from the major manufacturers [13].

Let's recall that the industrial revolution, which gave rise to an era of modern economic growth, was preceded by the era of mercantile capitalism. The development of trade, the growth of commercial capital paved the way for the development of industrial capital.

History repeats at a new turn of the spiral of social and economic development: the commercial capital turns into an organizing force of the global economy, which determines where and what will be produced. At the same time modern mercantile capital along with trade flows promotes production: local production should be integrated into the global supply chain to be competitive [12].

What conclusions can be drawn?

Firstly, if we follow the analogy with the era of mercantile capitalism, we can expect that the growth rate of trade (directly affecting the intensity of traffic flows) will be significantly higher than the dynamics of gross output. In the era of mercantile capitalism, the average annual growth rate of world trade was three times higher than the dynamics of global GDP, while in the second half of XX – beginning of XXI century, the ratio was less than two times [2, p. 131]. Increase in rate of growth of world trade relative to the dynamics of production will mean that even if there is a long-term decline in economic growth, the demand for transport and logistics services will continue to grow rapidly, not only quantitatively but also qualitatively.

Secondly, the development of transport should focus not only and not so much on the producers themselves, as on global trade flows, global supply chains. Moreover, the transport must become an active part of these chains; participate in the formation of the new contours of the world economy, including the geographic distribution of the productive forces.

Under the new conditions the role of logistics operators will increase, and especially of operators of general distribution. This operator is a central element of the logistics transport -distribution system, designed to provide in a competitive environment a response not only of transport, but also of the production sector to the demands of the market [14, p. 123].

The culmination of enhancing of the role of transport and logistics in the global economy may be the integration of transport and logistics systems and global trade networks and supply chains in global product distribution system.

System of global goods movement should ensure effective interaction of all parts of the production, distribution and consumption of goods, of not just specific producers and consumers, but integrated supply and demand. Schematic diagram of this system is presented in [15].

Real integration of supply and demand, providing their physical balancing with economical delivery of goods from specific points of production to specific points of consumption, will require a creation of transport services' bank or, more precisely, transport capacities' bank (because a transport service is inseparable from a process of transportation).

Transport capacities' bank should cover all modes of transport and provide an opportunity to deliver goods following «door-to-door» term between any two points. It will be a global transport and logistics system, providing the delivery of goods for given communications, using the most efficient routes or delivery schemes.

The system of global goods movement is designed to provide a stable distribution (within the existing global demand) for sellers and sustainable procurement for consumers while reducing transaction costs.

In the same manner as the system of financial banks accumulates free cash flows and provides them in the form of loans to those who have the need for money, the system of global goods movement should accumulate the supply of goods and by means of the flexible use of transport capacities, combined in the logistic systems, meet the demand.

In other words, buyers and sellers will interact with each other and with transportation and logistics companies not directly but through the system of global goods movement. Naturally, we should have some, maybe even a lot of, systems of global goods movement (it's the task of world market to determine their number). On the one hand, they will compete with each other, and on the other hand, they will probably specialize in certain product categories.

Availability of systems for the global goods movement, of course, does not cancel direct links between producers, consumers and transport companies. Each market entity in each case will determine what is more profitable: to carry out sales or purchases with the help of the system of global goods movement, or to look for more convenient counterparties.

Keywords: megaeconomy, modern economic growth, the law of accelerated growth of goods exchange, transport, logistics, global product distribution system.

REFERENCES

1. Kuznets, S. Modern Economic Growth: Rate, Structure and Spread. New Haven; London: Yale University Press, 1966. P. 3–8.
2. Maddison, A. The contours of the World Economy 1–2030 AD: Essays in Macro-Economic History [Translated from English. Russian title: *Kontury mirovoy ekonomiki v 1–2030 gg. Ocherki makroekonomicheskoy istorii*]. Moscow, Izd. Instituta Gaydara, 2012, 584 p.
3. Akaev, A.A., Rudskoy, A. I. Synergistic effect of NBIC- technologies and world economic growth in the first half of the XXI century [*Sinergeticheskiy effekt NBIC-tehnologiy i mirovoy ekonomicheskoy rosta v pervoy polovine XXI veka*]. *Ekonomicheskaya politika*, 2014, Iss.2, pp. 25–46.
4. Gordon, R. J. Is U. S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds [*Zakonchen li ekonomicheskoy rost? Shest' prepyatstviy dlya innovatsionnogo razvitiya (na primere SShA)*]. *Voprosy ekonomiki*, 2013, Iss.4, pp. 49–67.
5. Lapidus, B.M., Macheret, D. A. Evolution of rail transport – on the way to an innovative renaissance [*Evolutsiya zheleznodorozhnogo transporta – na puti k innovatsionnomu renessansu*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2011, Iss.1, pp. 3–14.
6. Lapidus, B.M., Macheret, D. A. Macroeconomic aspect of the evolution of rail transport [*Makroekonomicheskyy aspekt evolyutsii zheleznodorozhnogo transporta*]. *Voprosy ekonomiki*, 2011, Iss.3, pp. 124–137.
7. Macheret, D. A. Innovative Development of Transport Systems of Common Access. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2012, Iss. 1, Vol.39, pp.78–82.
8. Lapidus, B.M., Macheret, D. A. Macroeconomic role of railway transport: Theoretical foundations, historical trends and outlook for the future [*Makroekonomicheskaya*

rol' zheleznodorozhnogo transporta: Teoreticheskie osnovy, istoricheskie tendentsii i vzglyad v budushee]. Moscow, KRASAND publ., 2014, 234 p.

The role of the state in this case is the development of transport infrastructure (which is a prerequisite to enhance the returns on private investment [16, p.9]), as well as the creation of institutional conditions for attracting private investment in infrastructure and maintenance of an effective transport and logistics activities, including cross-border traffic. In this regard, it is important to provide a simple and quick procedure of crossing borders, of customs clearance.

Conclusion. Thus, with all the ambiguousness of occurring megaeconomic changes and the present uncertainty it can be concluded that the role of transport and logistics in the world economy should grow qualitatively, becoming more active, largely determining its development.

This is necessary both to increase the pace and sustainability of the global economy in the foreseeable future, as well as in case if the world expects a relatively long period of slowdown of economic dynamics – to prepare for the establishment of a new era of economic growth in the long term.

rol' zheleznodorozhnogo transporta: Teoreticheskie osnovy, istoricheskie tendentsii i vzglyad v budushee]. Moscow, KRASAND publ., 2014, 234 p.

9. Macheret, D. A. Productivity – the fundamental basis of economic efficiency [*Proizvoditel'nost' – fundamental'naya osnova ekonomicheskoy effektivnosti*]. *Ekonomika zheleznih dorog*, 2010, Iss.7, pp. 19–34.

10. Nazar, S. Grand Pursuit: The Story of Economic Genius [Translated from English. Russian title: *Put' k velikoy tseli: istoriya odnoy ekonomicheskoy idei*]. Moscow, ACT: CORPUS, 2013, 704 p.

11. Ricardo, D. The Principles of Political Economy and Taxation. Selected works [*Nachala politicheskoy ekonomii i nalogovogo oblozheniya. Izbrannoe*]. Moscow, Eksmo publ., 2009, 960 p.

12. Radaev, V. V. Is it possible to save Russian consumer goods industry [*Mozhno li spasti rossiyskuyu legkuyu promyshlennost'*]. *Voprosy ekonomiki*, 2014, Iss.4, pp. 17–36.

13. Hamilton, G., Petrovic, M. Retailers as Market Makers. The Market Makers: How Retailers are Reshaping the Global Economy. Oxford: Oxford University Press, 2011, pp. 125–137.

14. Kurenkov, P.V., Kotlyarenko, A. F. Foreign trade intermodal transportation. Economy. Logistics. Management [*Vneshnetorgovye perevozki v smeshannom soobschenii. Ekonomika. Logistika. Upravlenie*]. Samara, SamGAPS publ., 2002, 636 p.

15. Macheret, D. A. From Logistics to the System of Global Goods Movement. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2006, Iss. 3., pp. 72–75.

16. Idrisov, G.I., Sinelnikov-Murylev S. G. Formation of the prerequisites for long-term growth: how to understand them? [*Formirovaniye predposylok dolgosrochnogo rosta: kak ih ponimat'*]. *Voprosy ekonomiki*, 2014, Iss.3, pp. 4–20.

Координаты автора (contact information): Мачерет Д. А. (Macheret, D.A.) – macheret@vniizht.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 18.08.2014
Принята к публикации / article accepted 13.11.2014





Теоретические аспекты механизмов взаимодействия в транспортных системах



Сергей ВАКУЛЕНКО
Sergey P. VAKULENKO

Олег ЛАРИН
Oleg N. LARIN



Сергей ЛЁВИН
Sergey B. LIEVIN

Вакуленко Сергей Петрович — кандидат технических наук, профессор, директор Института управления и информационных технологий Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Ларин Олег Николаевич — доктор технических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.

Лёвин Сергей Борисович — кандидат технических наук, докторант МИИТ, Москва, Россия.

Статья посвящена исследованию фундаментальных закономерностей функционирования транспортных систем. Взаимодействие участников транспортных процессов предопределяется конкуренцией и согласованной деятельностью. Они могут приводить к различным экономическим результатам, но в их основе неизменно присутствуют свои зависимые друг от друга связи и отношения — механизмы образования системных эффектов. Авторами предложена концептуальная модель отображения механизмов взаимодействия, характеризующая методологические принципы конкуренции и интеграции разных видов транспорта на рынке перевозок.

Ключевые слова: транспортная система, взаимодействие видов транспорта, концепция, системные свойства, рынок транспортных услуг, конкуренция, согласованная деятельность, моделирование.

Традиционно под взаимодействием в транспортных системах понимают лишь взаимодействие различных видов транспорта. Однако эта научно-практическая категория является более широкой по своему содержанию и смыслу. И сегодня в условиях глубокой интеграции всех видов транспорта и транспортных систем различных уровней во имя повышения эффективности их совместной деятельности требуется более четко обосновать суть теоретических положений, которыми руководствуется глобализующаяся практика.

ПОТРЕБНОСТИ И КРИТЕРИИ

Многие отечественные ученые и практики на разных этапах развития транспортной отрасли и транспортной науки внесли существенный вклад в разработку и реализацию принципов функционирования транспортной системы как единого народно-хозяйственного комплекса. Системные аспекты функционирования транспорта были в поле зрения Е. В. Казанского [1], В. Н. Образцова [2] и других исследователей. С середины 50-х годов прошлого столетия эта научная тематика стала прерогативой Инсти-

тута комплексных транспортных проблем.

Основной причиной необходимости добиваться взаимодействия различных видов транспорта чаще всего называют ограниченность сфер их отдельного рационального использования, поскольку каждый из видов имеет как преимущества, так и недостатки.

Существует немало критериев, по которым можно сравнить виды транспорта: стоимость перевозки, комфорт, стоимость страховки, скорость перевозки, частота движения подвижного состава, безопасность перевозки пассажиров, сохранность груза и др. [3]. Наиболее распространенные критерии оценки: стоимость, скорость, безопасность транспортировки (перевозки).

Считается, что ни один вид транспорта не обеспечивает наилучших показателей одновременно по всем трем критериям. Например, водный транспорт является безопасным, дешевым, но медленным. Воздушный транспорт гарантирует наибольшую скорость сообщения, но стоимость перевозки на нем грузов и пассажиров пока остается высокой. Если появляется быстрый и дешевый транспорт, то встает вопрос о безопасности передвижений. При обеспечении надлежащего уровня безопасности выбор способа транспортировки основывается либо с учетом экономического, либо временного фактора.

Технико-экономические особенности (преимущества и недостатки) различных видов транспорта предопределяют области их рационального использования, ограничивают собственные возможности каждого и стимулируют целесообразность их взаимодействия.

В общенаучном смысле взаимодействия — это естественная форма существования любых объектов и осуществления любой деятельности.

С фундаментальной точки зрения взаимодействия в транспортных системах следует рассматривать в двух аспектах, которые характеризуют две формы реализации взаимодействия:

1. Взаимное действие может проявляться во взаимном воздействии отдельных компонентов транспортных систем

друг на друга, которое приводит к изменениям либо в них самих, либо в результатах их деятельности. Наиболее общим примером такого взаимодействия выступает конкуренция между отдельными видами транспорта или транспортными компаниями.

2. Взаимное действие может проявляться во взаимной согласованной деятельности отдельных компонентов транспортных систем, направленной на повышение их общей эффективности. Допустим, разные виды транспорта могут совместно доставлять грузы путём комбинирования перевозок на отдельных участках маршрута.

Следует различать понятия «взаимодействие в транспортных системах» и «взаимодействие видов транспорта». Взаимодействие видов является частным случаем взаимодействия в транспортных системах.

Важнейший момент для взаимодействия в транспортных системах заключается в том, что оно берет на себя функцию системообразующего механизма, посредством которого происходит объединение частей системы в определенный тип целостности, сопровождаемый интеграционными (системными) эффектами — например, в виде снижения издержек, сокращения времени доставки и пр.

Причём не в результате любого взаимодействия в транспортных системах образуются интеграционные (системные) эффекты, а только на основе (или при условии) взаимной согласованной деятельности их частей.

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ЦЕЛОСТНОСТИ

Ее главное отличие — выступать в качестве основной закономерности для систем любой природы. Закономерность целостности (эмерджентности) проявляется в возникновении у системы новых интегративных качеств, несвойственных ее компонентам [4]. Целостность системы определяется соблюдением двух правил:

1) свойства системы A не являются простой суммой свойств составляющих ее элементов a :

$$\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\} \subset A, \quad (1)$$

$$A \neq \sum_{i=1}^n a_i, \quad i = (1, 2, \dots, n); \quad (2)$$



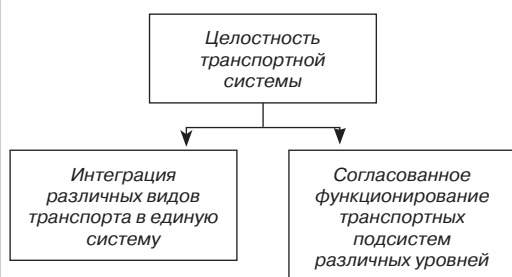


Рис. 1. Способы образования закономерности целостности в транспортных системах.

2) свойства системы зависят от свойств составляющих ее элементов:

$$A = f(a_i). \quad (3)$$

Система и целостность два неотделимых понятия. Система считается таковой до тех пор, пока ее элементы в результате взаимодействия обеспечивают нечто большее, чем все они — действуя раздельно.

Условная разница между эффектом деятельности системы и суммой эффектов ее элементов, действующих раздельно, представляет величину дополнительного системного эффекта E :

$$E = A - \sum_{i=1}^n a_i. \quad (4)$$

Противоположным по отношению к состоянию целостности системы является состояние физической аддитивности (суммативности), когда её составные части не образуют в результате совместной деятельности дополнительного системного эффекта. Такая «система» есть обычная «сумма» её частей, и результативность A такого множества объектов равна результативности любой системы после её «распада» на составные части a_i :

$$A = \sum_{i=1}^n a_i. \quad (5)$$

Для формирования целостности транспортной системы требуется эффективное взаимодействие ее частей. Однако процесс объединения элементов в единую систему противоречив. Любая развивающаяся система — техническая, социальная и пр. (транспортная — социотехническая) — имеет одновременные стремления к состоянию целостности и аддитивности.

С одной стороны, объединение элементов в систему, как правило, приводит к утративанию элементами своих свойств,

присущих им вне системы. То есть система как бы подавляет самостоятельность ее элементов. Поэтому в сложных системах часто отмечается стремление к аддитивному состоянию. Такая тенденция характерна и для транспортных систем, в которых практически всегда отмечаются проявления конкуренции между различными видами транспорта.

С другой стороны, объединение элементов в систему обеспечивает им дополнительные возможности, что рассматривается в качестве стимула к формированию и сохранению целостности системы. Например, когда отдельные виды транспорта не конкурируют, но согласованно распределяя между собой сферы деятельности, концентрируют на них свои усилия, то это дает им возможность снижать свои издержки и повышать общую эффективность деятельности.

Целостность любой системы обеспечивается своеобразным механизмом, который основан на системных связях и процессах взаимодействия между ее элементами (компонентами, подсистемами). Структура транспортных систем имеет сложный видовой и многоуровневый состав. Поэтому их целостность будет поддерживаться:

1) как в результате интегрированной деятельности различных видов транспорта;

2) так и благодаря согласованному функционированию транспортных подсистем различных уровней.

Соответственно можно выделить два способа образования системных эффектов (свойства целостности) в транспортных системах:

1) интеграция транспортных подсистем различных видов транспорта (либо просто — интеграция различных видов транспорта);

2) согласованное функционирование транспортных подсистем различных функциональных уровней [5].

ИНТЕГРАЦИЯ В ЕДИНУЮ СИСТЕМУ

Обеспечение целостности транспортной системы за счет интеграции различных видов транспорта в единую систему в процессе их взаимной согласованной деятельности — важное условие повыше-

ния эффективности производственной деятельности транспортных компаний. Работа транспортной отрасли на единых началах позволяет получать дополнительный системный эффект, который с учетом межотраслевого характера деятельности транспорта повышает конкурентоспособность всей отечественной экономики.

То есть взаимная согласованная деятельность видов транспорта — это «механизм», посредством которого они объединяются (интегрируются) в единую систему для повышения эффективности совместной транспортной деятельности за счет рационального использования своих преимуществ и снижения влияния присущих им недостатков.

Необходимо различать понятия: «единая транспортная система» и «единство транспортной системы». Термин «единство транспортной системы» характеризует особый принцип организации совместной деятельности различных видов транспорта, в результате чего отрасль получает дополнительный эффект, как правило, за счет снижения совокупных удельных затрат. Причем такой эффект ни одним видом транспорта, действующим изолированно, не может быть достигнут. Например, доставка сборных грузов в смешанном сообщении с использованием укрупнения грузовых единиц и их перевозки различными видами транспорта на отдельных участках маршрута обеспечивает низкую стоимость услуги по сравнению с прямым сообщением. Поэтому принцип единства транспортной системы можно рассматривать в качестве обязательного условия образования системного свойства целостности транспортной отрасли.

Единство в работе видов транспорта обеспечивает следующие эффекты для транспортной системы:

- ускорение движения потоков грузов и пассажиров и снижение транспортных издержек в экономике;
- укрепление связей между регионами страны;
- повышение конкурентоспособности и эффективности других отраслей экономики (за счёт снижения уровня транспортных издержек в конечной стоимости продукции);

- рост предпринимательской и деловой активности;
- повышение доступности услуг транспортного комплекса для населения;
- повышение конкурентоспособности транспортной системы России на международном рынке транспортных услуг и реализации её транзитного потенциала [6];
- эффективность аварийно-спасательных служб, гражданской обороны, снижение террористических рисков;
- улучшение инвестиционного климата и развитие рыночных отношений в транспортном комплексе.

Термин «единая транспортная система» характеризует такое состояние транспортной отрасли, при котором ее функционирование (при безусловном «единстве работы видов транспорта») достигает наивысшей эффективности с точки зрения транспортного обслуживания потребностей экономики и населения в соответствии с установленными критериями и путём рационального использования ресурсов всех видов транспорта в процессе их взаимодействия.

Эффективность функционирования транспортных систем оценивается различными критериями: низкие стоимостные затраты, полное удовлетворение спроса, минимальное воздействие на окружающую среду и т. д.

На основе рассмотренных теоретических положений может быть предложено следующее определение: единая транспортная система страны — это совокупность эффективно взаимодействующих независимо от формы собственности и ведомственной подчиненности различных видов транспорта, обеспечивающих погрузочно-разгрузочные работы, *перевозку людей и грузов с использованием современных прогрессивных технологий*, наиболее полное удовлетворение спроса населения и грузовладельцев на транспортные услуги за счет оптимизации времени и общей стоимости транспортировки.

УРОВНИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Взаимодействие в транспортных системах осуществляется в целях:

- оказания более качественных услуг клиентам;



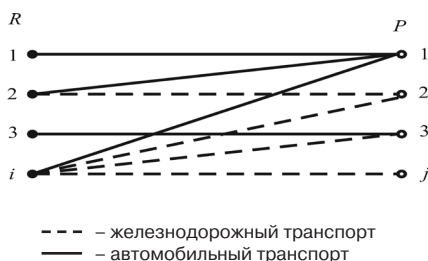


Рис. 2. Схема альтернативного замещения.

- повышения эффективности работы отдельных видов транспорта и перевозчиков;
- повышения скорости сообщений за счет перераспределения транспортных потоков по дорожной сети;
- привлечения или удержания отдельных клиентов, когда тем требуется доставка груза или пассажира «от двери до двери», а отдельный перевозчик по объективным причинам не может осуществить весь процесс доставки в одиночку.

При любом из перечисленных мотивов взаимодействия различных видов транспорта отдельная транспортная компания «вынуждена» уступать свою долю на рынке транспортных услуг, либо какую-то часть транспортной работы в цепи поставок другим перевозчикам (своим конкурентам).

Методологически целесообразно выделять два уровня взаимодействия в транспортных системах транспорта:

- 1) взаимодействие на рынке транспортных услуг (экономический уровень);
- 2) взаимодействие в технологическом процессе (технологический уровень).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ЭКОНОМИЧЕСКОМ УРОВНЕ

Такое взаимодействие в транспортных системах предполагает деление на два вида: альтернативное замещение и рациональное дополнение.

Альтернативное замещение

Когда отдельные виды транспорта взаимно воздействуют друг на друга путём рационального использования своих конкурентных преимуществ с учётом условий эксплуатации и индивидуальных требований клиентов, то они предлагают альтернативные и наиболее эффективные варианты транспортировки. Например, авто-

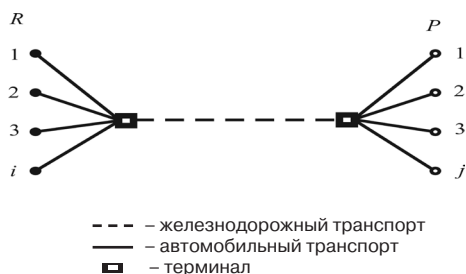


Рис. 3. Схема рационального дополнения.

мобильный транспорт обеспечивает больший эффект по сравнению с железнодорожным при транспортировке небольших партий грузов на короткие расстояния.

При альтернативном замещении взаимодействие видов транспорта несколько абстрактно, так как процесс транспортировки выполняется только одним видом (прямое сообщение). Допустим, имеется множество отправителей R и получателей P грузов. Альтернативное замещение означает перераспределение заказов на перевозки между различными видами транспорта с учетом экономической эффективности каждой схемы доставки грузов по каждому маршруту и имеющихся ограничений. Как правило, для выбора схемы перераспределения транспортной работы по маршрутам используются оптимизационные методы линейного программирования.

Рациональное дополнение

Осуществление отдельными видами транспорта взаимной согласованной деятельности путем рационального распределения транспортной работы на участках маршрута транспортировки обеспечивает как повышение эффективности их совместной деятельности, так и более эффективные результаты для их клиентов.

Виды транспорта рационально дополняют друг друга при осуществлении единого технологического процесса транспортировки (смешанное сообщение). Можно выделить различные варианты смешанных сообщений, например, автомобильно-железнодорожные контейнерные перевозки [7]. В этом случае весь путь транспортировки разбивается на отдельные участки, которые обслуживаются каким-либо одним видом транспорта. Причем обычно комбинирование органи-

зудется с таким расчетом, чтобы общая стоимость транспортировки была минимальной.

Смешанные сообщения также могут использоваться, когда работа одного вида транспорта невозможна по причинам объективного характера. Скажем, необходимость в сухопутно-водных сообщениях возникает при наличии водных преград в движении наземного транспорта.

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДОВ

При альтернативном замещении

Здесь отправитель груза имеет возможность безусловного выбора любого i -го вида транспорта для перевозки партии груза в объеме Q на расстояние L . В этой ситуации целевая функция задачи оптимизации затрат C^* на транспортировку формулируется как:

$$C^* = \min_{s_i} C(Q, L, s_i); i \in I, s \in S, \quad (6)$$

где s_i — стоимость транспортировки единицы груза на i -м виде транспорта, при этом $i = \{1, \dots, n\}$.

В подобной задаче в явном виде ограничения не сформулированы, хотя в конкретной ситуации в решении могут учитываться дополнительные параметры: предельные размеры расходов на транспортировку, время доставки и др.

Значение функции C^* в выражении (6) зависит от одной переменной s_i . Для такого случая минимизация может быть выполнена посредством полного перебора возможных решений и выбора из них минимального. Учитывая небольшую размерность задачи (количество видов транспорта, типов их подвижного состава, которые могут использоваться для транспортировки груза в заданном направлении), решение может быть найдено за приемлемое время даже без использования программных вычислений, однако разработка компьютерных программных продуктов ускорит процесс расчётов.

Стоимость транспортировки единицы груза s_i (тариф на перевозку) зависит от величины эксплуатационных затрат, скорости сообщений, безопасности перевозки и прочих факторов. Величина тарифа формируется из условия превышения величины удельных затрат $З_{ед}$ на единицу

перевезенного груза (грузоподъемности транспортного средства) q или выполненной транспортной работы P . При увеличении грузоподъемности транспортного средства и, как следствие, объема перевозимого груза удельные затраты на единицу транспортной работы также снижаются. Однако данная зависимость имеет индивидуальный характер как для разных видов транспорта, так и разных типов подвижного состава одного вида транспорта (например, для грузовых автомобилей малой и большой грузоподъемности).

Снижение удельных затрат при увеличении объема оказываемых транспортных услуг (или перевозимого груза) в связи с ростом грузоподъемности транспортного средства обусловлено опять же уменьшением величины постоянных затрат, приходящихся на единицу перевозимого груза. Поэтому виды транспорта с низкими удельными затратами имеют, как правило, более низкие тарифы. Соответственно высокие удельные затраты обусловлены чаще всего высокой величиной постоянных затрат, приходящихся на малые объемы перевозок: заработной платой водителей, нулевыми пробегами, накладными расходами и т. д.

Во всем диапазоне изменения грузоподъемности выбирается тот вид транспорта, у которого тарифы (низкие удельные затраты) при прочих равных условиях будут ниже. Тогда обеспечивается минимальная величина затрат C^* , образуемых при транспортировке груза. Поэтому такой вид транспорта с грузоподъемностью q позволяет рационально перевезти груз в объеме Q .

Рассмотренный подход идеализирован, так как не учитывает возможные зависимости удельных затрат от расстояния перевозки L , вида груза и других условий транспортировки. Кроме того, стоимостный фактор не всегда является преобладающим, ибо при низкой стоимости транспортировки, как правило, низкой бывает и скорость сообщения.

При рациональном дополнении

Механизм образования системного эффекта от взаимодействия различных видов транспорта в форме рационального дополнения образуется в виде снижения совокупных затрат при комбинированной





транспортировке груза несколькими видами транспорта.

К комбинированным (смешанным) сообщениям часто прибегают, когда нет возможности напрямую воспользоваться услугами наиболее эффективного с экономической точки зрения вида транспорта, например железнодорожного, если отсутствуют подъездные пути.

При смешанном сообщении весь путь транспортировки L разбивается на участки в количестве $j = \{1, \dots, m\}$, на каждом из которых задача может выполняться каким-либо одним i -м видом транспорта на соответствующее расстояние l_{ij} . При этом тарифы на транспортировку i -м видом транспорта на участках различной длины могут различаться (дифференциация по расстояниям). Поэтому используется множество тарифов $s_{ij} \in S$ для i -х видов транспорта, дифференцированных по расстоянию транспортировки l_{ij} на j -х участках.

Тогда расстояние транспортировки груза в смешанном сообщении i -м видом транспорта на всех участках, где он используется, составит:

$$\sum_j l_{ij} = L_i, j = \{1, \dots, m\}, \quad (7)$$

а условия непрерывности пути транспортировки формулируются как:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij} = L, i \in I, j \in J. \quad (8)$$

Выражение (8) может рассматриваться в качестве ограничения задачи оптимизации.

Оптимальный вариант образуется при сочетании маршрутов транспортировки i -ми видами транспорта груза в объеме Q_{ij} на расстояния l_{ij} при стоимости s_{ij} :

$$C^* = \min_{l_{ij}, s_{ij}} C(Q_{ij}, L_i, s_{ij}), s \in S, \quad (9)$$

при ограничениях по расстоянию (8) и объему транспортировки:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} = Q, i \in I, j \in J. \quad (10)$$

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УРОВНЕ

На этом уровне взаимодействие видов транспорта предполагает их совместное участие в процессе транспортировки гру-

зов или пассажиров в рамках эффективного варианта рационального дополнения, сформированного на экономическом уровне.

Если на экономическом уровне взаимодействие достаточно абстрактно, то на технологическом оно становится более реальным и состоит в координации работы различных видов транспорта преимущественно в рамках единого технологического процесса транспортировки, что особенно четко проявляется в транспортных узлах.

Эффективность реализации каждого рационального варианта взаимодействия отдельных видов транспорта зависит от согласования параметров такого взаимодействия. Традиционно выделяют планово-экономические, технические, технологические, организационные, правовые, информационные [8].

Планово-экономические параметры включают согласование: численности и структуры парка транспортных средств; объемов и периодичности перевозок; тарифов и стоимости операций транспортного процесса и т.д.

Согласование *технических параметров* имеет в виду: унификацию и стандартизацию: транспортных средств, инфраструктуры, погрузочно-разгрузочных средств, контейнеров, создание совмещенных терминалов, средств пакетирования грузов и т. п. Транспортным организациям следует определять с грузовладельцами параметры подвижного состава по габаритам, грузоподъемности, вместимости, наличию оборудования с учетом свойств груза и условий его перевозки.

Согласование *технологических параметров* осуществляется с целью обеспечения непрерывности перевозочного процесса и включает: координацию грузовой и перевозочной работы; организацию движения разных видов транспорта по совмещенным графикам; внедрение единых технологических процессов работы разных видов транспорта в пунктах перевалки грузов и пересадки пассажиров; применение единых систем обмена информацией о местонахождении и времени подхода судов, вагонов, автомобилей; стыковку распи-

саний и графиков движения видов транспорта, порядка работы и документооборота грузоотправителей, перевозчиков, транспортных узлов и грузополучателей и др.

Согласование *организационных параметров* взаимодействия видов транспорта является сложнейшей задачей, что связано с незавершенностью институциональных и структурных реформ, сохранением ведомственной и территориальной разобщенности, отсутствием полноценной конкуренции [9]. Для выполнения текущих организационных и координационных задач создаются, как правило, единые структуры, наделенные полномочиями по контролю и регулированию процесса транспортировки: диспетчерские службы, центры управления транспортировкой и т. д. Решение стратегических вопросов могут брать на себя различные интегрированные структуры: альянсы, союзы, ассоциации, стратегические партнерства, объединяющие как национальные, так и международные транспортные организации.

Правовые параметры согласованного взаимодействия видов транспорта определяются с учетом требований действующего законодательства. Транспортные организации на договорной основе закрепляют юридические условия совместного участия в едином перевозочном процессе: права, обязанности, ответственность.

Информационные ресурсы играют ключевую роль в эффективной организации и оперативном регулировании процесса транспортировки, а также при координации всех параметров согласованного взаимодействия видов транспорта, поэтому имеют межсистемный характер.

КОНКУРЕНЦИЯ НА РЫНКЕ УСЛУГ

Под конкуренцией в наиболее общем смысле понимается предложение:

- одного и того же товара (одной и той же услуги);
- на одном и том же рынке (месте);
- одному и тому же покупателю (клиенту).

Критериями оценки перевозчиков клиентами могут быть: цена, продолжительность, безопасность, комфорт и пр.

Примеры вариантов конкурентной борьбы перевозчиков:

1) транспортные компании предлагают клиенту перевозку его груза по требуемому маршруту по одинаковой цене, но с различной продолжительностью;

2) транспортные компании предлагают клиенту перевозку его груза по требуемому маршруту с одинаковой продолжительностью, но по различной цене;

3) транспортные компании предлагают клиенту перевозку его груза по требуемому маршруту с разной продолжительностью и по различной цене.

Конкуренция различных видов транспорта — это любая форма их перевозочной деятельности, которая приводит к изменению ее состояния или результатов, в том числе к прекращению работы каких-либо предприятий или отдельных видов транспорта в целом, в частности — к банкротству.

Реализуется конкуренция в виде альтернативного замещения варианта транспортировки груза одним видом транспорта (или перевозчиком) вариантом транспортировки того же груза другим перевозчиком. При этом *основой функционирования и развития рынка транспортных услуг является конкуренция независимых негосударственных транспортных организаций*.

В структуре же этого рынка выделяются:

1. *Услуги общего назначения* — конкурентный (свободный) рынок с самофинансированием.

2. *Услуги, имеющие федеральное значение* — неконкурентный рынок с государственной поддержкой бюджетным финансированием расходов на содержание и модернизацию систем и объектов, обеспечивающих безопасное функционирование транспорта (внутренних водных путей и гидросооружений на них, атомного ледокольного флота, систем навигации и организации воздушного движения, инфраструктуры железнодорожного транспорта, поисковых аварийно-спасательных и других специальных служб).

3. *Услуги на социально значимые перевозки* — конкурентный рынок с компенсацией потерь в связи с перевозкой льготных категорий населения, завозом продукции в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности с ограниченными сроками навигации и т. д.





В зависимости от принадлежности перевозчиков к национальной транспортной системе конкуренция бывает:

1) **внутренняя** — между отечественными перевозчиками:

- **внутривидовая** — между перевозчиками одного вида транспорта;

- **межвидовая** — между перевозчиками различных видов транспорта;

2) **внешняя** — между транспортными системами и перевозчиками разных стран:

- на рынке внешнеэкономических перевозок;

- на рынке перевозок других стран;

- на рынке международных транзитных перевозок;

- на рынке транзитных перевозок по международным транспортным коридорам [10].

В зависимости от условий допуска на рынок существуют:

- **прямая конкуренция** — на рынке работает множество самостоятельных перевозчиков как одного, так и разных видов транспорта (перевозка грузов и пассажиров в междугородном и международном сообщениях);

- **конкуренция «за рынок»** (если прямая конкуренция невозможна или носит деструктивный характер) — организуется на основе проведения публичных конкурсов операторов, победитель которых один работает на рынке (например, в некоторых регионах железнодорожные и автомобильные внутримunicipальные и межмunicipальные перевозки пассажиров).

Виды конкуренции в секторе пассажирских перевозок на регулярных маршрутах:

1) **конкуренция на маршруте** — несколько перевозчиков обслуживают один и тот же маршрут (отрицательно влияет на доходную базу всех перевозчиков);

2) **конкуренция между маршрутами** — может принимать две формы:

- **конкуренция на альтернативных маршрутах** — положительно отражается на обслуживании населения и стимулирует развитие рынка пассажирских перевозок;

- **конкуренция на дублирующих маршрутах** — вредит эффективности функцио-

нирования системы пассажирского транспорта.

ВЫВОДЫ

Повышение качества транспортного обслуживания на конкурентном рынке транспортных услуг возможно за счет консолидации транспортного бизнеса. Такая консолидация — объединение перевозчиков в крупную компанию для оказания услуг в качестве единого оператора потребителям определенного рыночного сегмента. Подобный вариант допускается в тех сегментах рынка, где деятельность большого количества мелких неэффективных операторов снижает стандарты транспортного обслуживания и уровень безопасности, препятствует нормальному обновлению основных фондов. Государство стимулирует консолидацию бизнеса путем ужесточения качественных требований к операторам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанский Е. В. Актуальные задачи в области теории использования перевозочных средств // Социалистический транспорт. — 1932. — № 4. — С. 28–31.
2. Образцов В. Н. Московский узел и основные идеи его переустройств // Труды XXII совещательного съезда представителей службы эксплуатации железных дорог. — М., 1926. — С. 1–65.
3. Сюй Ю. А., Вакуленко С. П., Широков А. В. Взаимодействие видов транспорта. — М.: МИИТ, 2006. — 21 с.
4. Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа: учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. — 512 с.
5. Миротин Л. Б., Ларин О. Н. Интегрированная модель транспортной системы регионов Российской Федерации // Транспорт: наука, техника, управление. — 2008. — № 1. — С. 25–27.
6. Ларин О. Н. Концепция транзитного потенциала транспортной системы // Известия Челябинского научного центра РАН. — 2006. — Вып. 4 (34). — С. 125–127.
7. Вакуленко С. П., Куренков П. В., Зайцев Т. А. Контрейлерные перевозки в России: история, проблемы, перспективы // Экономика железных дорог. — 2013. — № 1. — С. 34–38.
8. Ларин О. Н. Методологические аспекты интеграции различных видов транспорта в единую систему // Вестник транспорта. — 2007. — № 7. — С. 10–13.
9. Вакуленко С. П. Бережливое производство в системе смешанных перевозок / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков, А. А. Сечкарёв, А. И. Асатуров // Вестник государственного морского университета им. адм. Ф. Ф. Ушакова. — 2013. — № 2. — С. 9–17.
10. Ларин О. Н. Некоторые особенности оценки провозных возможностей автотранспортных систем регионов при обслуживании международных грузопотоков // Транспорт: наука, техника, управление. — 2008. — № 9. — С. 24–27. ●

THEORETICAL ASPECTS OF INTERACTION MECHANISMS IN TRANSPORT SYSTEMS

Vakulenko, Sergey P. – Ph.D. (Tech.), professor, director of Institute of Management and Information Technologies of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Larin, Oleg N. – D. Sc. (Tech.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Lievin, Sergey B. – Ph.D. (Tech.), doctoral student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article investigates fundamental mechanisms of the functioning of transport systems. Interaction of participants of transport processes is predetermined by competition and coordinated activities. They can lead to different economic outcomes, but they are always based on interdependent connections and relationships – mechanisms of systemic effects. The authors propose a conceptual model of display of interaction mechanisms that characterizes methodological principles of competition and integration of various transport modes at the transportation market.

ENGLISH SUMMARY

Background. Traditionally, the interaction in transport systems refers only to interaction of different modes of transport. However, this scientific-practical category is broader in its content and meaning. And today, following deep integration of all modes of transport and transport systems at various levels for the sake of improving the efficiency of their joint activity it is necessary to justify more accurately theoretical propositions that guide the globalized practice.

Objective. The objective of the authors is to investigate fundamental mechanisms of transport systems functioning and to propose a conceptual model of display of interaction mechanisms that characterizes methodological principles of competition and integration of various transport modes at the transportation market.

Methods. The authors use system and functional analysis, descriptive method and comparison, mathematical apparatus, methods of solution of optimization tasks.

Results.

Needs and criteria

Many domestic scholars and practitioners at different stages of development of the transport industry and transport science contributed significantly to the development and implementation of the principles of operation of the transport system as of an integrated economic complex. System aspects of transport functioning were within eyeshot of E. V. Kazansky [1], V. N. Obratsov [2] and other researchers. Since the mid 50-ies of the last century, this research theme was elaborated in Institute of Complex Transport Problems.

The main reason for the need to achieve interaction between different modes of transport mostly refers to limitations on the scope of their efficient use, because each mode has both advantages and disadvantages.

There are many criteria for comparison of transport modes: transportation cost, comfort, cost of insurance, transportation speed, traffic frequency, the safety of passenger transportation, cargo safety and others [3]. The most common evaluation criteria are: cost, speed, transportation safety.

It is believed that none of transport modes can provide the best performance simultaneously on all three criteria. For example, water transport is safe, cheap, but slow. Air transport provides high speed of communication, but the cost of transportation of goods and passengers is still high. If there is a fast and cheap transport mode, the question

arises about the safety of movement. While ensuring an adequate level of security selection of transportation type is based on either economic or temporary factors.

Technical and economic characteristics (advantages and disadvantages) of various modes of transport determine the area of their efficient use, limit their own capacity and stimulate the desirability of their interaction.

In general scientific sense, interaction is a natural form of existence of any objects and any activity.

From a fundamental point of view interaction in transport systems should be considered in two aspects that characterize two forms of realization of their interaction:

1. The mutual action can appear in mutual effects of individual components of transport systems on each other, which leads to changes either in themselves or in their performance. The most common example of such cooperation is competition between different modes of transport or transport companies.

2. Mutual action may become apparent during mutually coordinated activities of individual components of transport systems, aimed at improving their overall effectiveness. To be admitted that different modes of transport can deliver goods jointly by combining traffic on some sections of the route.

It is necessary to distinguish the concept of «interaction in transport systems» and «interaction of transport modes». The interaction of transport modes is a special case of interaction in transport systems.

The most important point for cooperation in transport systems is that it assumes the function of a core mechanism by which parts of the system are combined in a certain type of integrity, followed by integration (systemic) effects – for example, in the form of lower costs, reduction in delivery time, etc.

Integration (systemic) effects are formed not as a result of any interaction in transport systems, but only on the basis of (or subject to) mutually coordinated activities of their parts.

Regularity of integrity

Its main difference is to act as a main regularity for systems of any nature. Regularity of integrity (emergence) is manifested in the appearance of new integrative qualities in a system, which are alien to its components [4]. Integrity of the system is determined by the following two rules:

1) The properties of the system A are not just the sum of properties of its constituent elements a :

$$\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\} \subset A, \quad (1)$$

$$A \neq \sum_{i=1}^n a_i, \quad i = (1, 2, \dots, n); \quad (2)$$

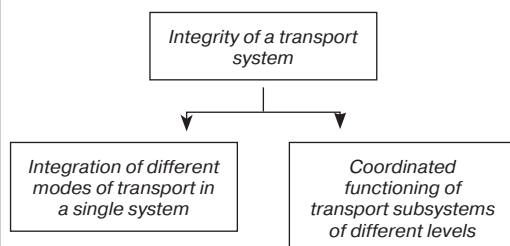
2) the properties of the system depend on properties of its constituent elements:

$$A = f(a). \quad (3)$$

System and integrity are two inseparable concepts. The system is considered per se as long as its elements as a result of interaction provide more than if they act separately.

Conditional difference between the effect of system performance and the sum of effects of its elements, acting separately, is a value of additional systemic effect E :





Pic. 1. Ways of forming regularity of integrity in transport systems.

$$E = A - \sum_{i=1}^n a_i. \quad (4)$$

Opposite with respect to the integrity of the system is a state of physical additivity (summativity) when its components do not form an additional systemic effect as a result of joint activity. This «system» is a usual «sum» of its parts, and effectiveness A of such a set of objects is equal to the effectiveness of any system after its «decomposition» into its component parts a_i :

$$A = \sum_{i=1}^n a_i. \quad (5)$$

For formation of integrity a transport system requires effective interaction of its parts. However, the process of combining elements into an integrated system is contradictory. Any evolving system – technical, social, etc. (transport is deemed to be socio-technical system) is simultaneously striving for integrity and additivity.

On the one hand, the combination of elements in a system usually leads to the loss by the elements of their properties, which are inherent outside the system. That is, the system somewhat suppresses the independence of its elements. Therefore, in complex systems the striving for additivity can be observed. This trend is typical for transport systems, in which there are almost always manifestations of competition between different modes of transport.

On the other hand, combination of elements in a system provides them with additional opportunities, that is considered as an incentive to build and maintain the integrity of the system. For example, when individual modes of transport do not compete, but consistently distribute areas of activity, concentrate their efforts on them, it gives them an opportunity to reduce their costs and improve overall performance.

Integrity of any system is provided by a unique mechanism, which is based on systemic relationships and processes of interaction between its elements (components, subsystems). The structure of transport systems has a complex and multi-level structure. Therefore, their integrity will be maintained:

1) as a result of integrated activities of various modes of transport;

2) and because of the coordinated operation of transport subsystems at different levels.

Accordingly, there are two ways of formation of systemic effects (integrity property) in transport systems:

1) integration of transport subsystems of different modes of transport (or simply – the integration of different modes of transport);

2) the coordinated functioning of transport subsystems of different functional levels [5].

Integration into an integrated system

Ensuring the integrity of transport system by integrating different transport modes into an integrated system in the process of mutually coordinated activities is an important condition for improving the efficiency of opera-

tions of transport companies. The operation of transport industry on the basis of uniform principles makes it possible to receive an additional systemic effect that taking into account the cross-sectoral nature of transport increases the competitiveness of entire national economy.

It means that mutually coordinated activity of transport is a «mechanism» by which they are combined (integrated) into a single system to improve the efficiency of joint transport activity due to efficient use of its advantages and reduction of the impact of their inherent disadvantages.

It is necessary to distinguish the concept of «integrated transport system» and «integrity of a transport system». The term «integrity of a transport system» describes a specific principle of organization of joint activities of the various modes of transport; as a result the industry receives an additional effect, as a rule, by reducing total unit costs. Moreover, such an effect cannot be achieved by any mode of transport, acting in isolation. For example, delivery of joint cargoes in mixed traffic with the use of transport units and their transportation by different modes of transport in some parts of the route provides a low cost service as compared with direct traffic. Therefore, the principle of integrity of a transport system can be considered as a prerequisite for formation of system property which is integrity of a transport industry.

Integrity in the operation of transport modes provides the following effects for the transport system:

- acceleration of flows of goods and passengers, and the reduction of transport costs for the economy;
- strengthening links between regions of the country;
- increase in the competitiveness and efficiency of other sectors of the economy (due to the reduction of the part of transport costs in the final cost of the product);
- growth of entrepreneurial and business activity;
- increase in availability of transport complex services to the public;
- increase in the competitiveness of transport system at the international market of transport services and implementation of its transit potential [6];
- effectiveness of emergency services, civil defense, reduction of the risk of terrorism;
- improvement of the investment climate and development of market relations in the transport complex.

The term «integrated transport system» describes a state of the transport sector, in which its operation (with unequivocal «integrity of modes of transport») achieves the highest performance in terms of transport servicing the needs of the economy and the population in accordance with established criteria and by the efficient use of resources of all modes of transport during their interaction.

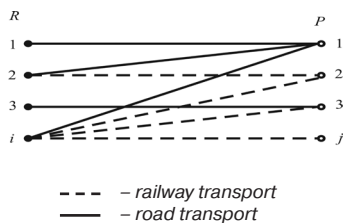
The efficiency of transport systems is evaluated by various criteria: low costs, complete satisfaction of the demand, minimum impact on the environment, etc.

On the basis of the theoretical positions the following definition can be offered: an integrated transport system of the country is a set of various modes of transport interacting effectively regardless of ownership and departmental subordination, providing handling operation, transportation of people and goods with the use of modern advanced technologies, the most complete satisfaction of demand of the population and cargo owners as for transport services by optimizing time and total cost of transportation.

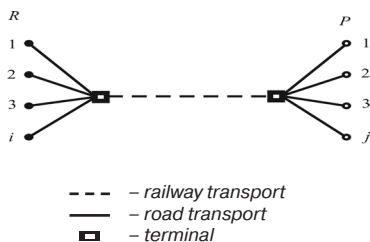
Levels of interaction

Interaction in transport systems is carried out for the purposes of:

- provision of better services to clients;
- increase in efficiency of individual modes of transport and carriers;
- growth of traffic speed due to redistribution of traffic flows within the road network;



Pic. 2. Scheme of alternate substitution.



Pic. 3. Scheme of rational addition.

• attraction and retention of individual customers when they need delivery of cargo or passenger «from door to door», and an individual carrier for objective reasons cannot carry out the whole shipping process alone.

Under any of the motives of interaction between different modes of transport an individual transport company is «forced» to concede its share at the transport services market, or any part of the transport operation in the supply chain to other carriers (its competitors).

Methodologically, it is advisable to distinguish two levels of interaction in the transport systems:

- 1) interaction at the transport services market (economic level);
- 2) interaction in the technological process (technological level).

Interaction at the economic level

Such interaction in transport systems is divided into two types: alternative substitution and rational addition.

Alternative substitution

When individual modes of transport mutually influence each other through the efficient use of its competitive advantages, taking into account operating conditions and individual requirements of customers, they offer alternative and more efficient transportation options. For example, road transport provides a greater effect as compared to railway transport in transportation of small shipments over short distances.

In an alternative substitution interaction of transport modes is somewhat abstract, as the transportation process is performed by only one mode (direct communication). Assume, there is a plurality of consigners R and consignees P . Alternative substitution means redistribution of orders for transportation between different modes of transport with account for cost-effectiveness of each scheme of delivery of goods for each route and existing restrictions. As a rule, optimization methods of linear programming are used for selection of schemes of operations' redistribution on routes.

Rational addition

Carrying out of mutually coordinated activities by various modes of transport via rational allocation of operations in the sections of the transportation route provides both increase in the effectiveness of their joint activities, and better results for their clients.

Modes of transport efficiently complement each other in the implementation of a single process of transportation (mixed traffic). It is possible to distinguish various options of mixed traffic, such as road-rail piggyback traffic [7]. In this case, the entire transportation route is divided into separate sections, which are serviced by one mode of transport. And combination is organized usually in such a way that the total cost of transportation is minimum.

Mixed traffic can also be used when the work of a single mode of transport is not possible for objective reasons. For instance, the need for land-water communications occurs in the presence of water obstacles im-

peding the use of land transport.

Features of cost optimization

Within alternative substitution

Here, the consignor has the ability to select any i -th mode of transport for transportation of the consignment of Q volume over transport distance L . In this situation, the objective function of the optimization of costs C^* for transportation is formulated as:

$$C^* = \min_{s_i} C(Q, L, s_i); i \in I, s \in S, \quad (6)$$

where s_i is the cost of transportation of cargo unit on the i -th mode of transport, when $i = \{1, \dots, n\}$.

The problem formulated in that manner doesn't set up limits explicitly, although in a particular situation additional parameters may be taken into account for its decision: limits of transportation costs, delivery time, and others.

The value of the function C^* in the expression (6) is dependent on a variable s_i . For this case minimization can be performed by complete enumeration of possible solutions and selection of the minimum one out of them. Given the small dimension of the problem (number of modes of transport, type of rolling stock that can be used to transport cargo in a given direction), the solution can be found within a reasonable time, even without program calculations, but the development of computer software to find solutions will speed up the calculation process.

The cost of transporting cargo unit s_i (freight rate) depends on the operating costs, speed of communications, safety of transportation, and other factors. Tariffs are formed from the condition of the excess of the unit cost C_{unit} per unit of cargo transported (vehicle capacity) q or performed transport work R . By increasing the load capacity of the vehicle and, as a consequence, the volume of cargo there is also a decrease in unit costs per unit of transport work. However, this dependence is individual for different modes of transport, as well as for different types of rolling stock of one mode of transport (for example, truck of low and high capacity).

The decrease in unit costs with increase in the volume of transport services provided (or transported cargo) due to increased load-carrying capacity of the vehicle occurs due to the decrease in fixed costs per unit of transported cargo. Therefore, modes of transport with low unit costs have usually lower rates. Accordingly, high unit costs are associated with a high value of fixed costs attributable to small volume of traffic: wages of drivers, zero runs, overhead costs, etc.

In the entire range of load-carrying capacity a mode of transport is selected, whose rates (lower unit costs), all other things being equal, will be lower. This provides the minimum value of costs C^* , formed during freight transportation. Therefore, this mode of transport with load-carrying capacity q enables to carry goods rationally in volume Q .

The approach is idealized, since it ignores the possible dependence on unit costs of transport distance L , type of cargo and other transportation conditions. Fur-





thermore, the cost factor does not always prevail, because with low cost of transportation speed is usually also low.

Within rational addition

Mechanism of formation of a systemic effect on the interaction of various modes of transport in the form of rational addition is generated in the form of reduction of total costs for combined freight transportation cargo by several modes of transport.

Combined (mixed) traffic is often applied when there is no possibility to use directly the services of more effective, from an economic point of view, mode of transport, such as rail, if there are no approaching lines.

In mixed traffic the entire transportation route L is divided into sections of an amount $j = \{1, \dots, m\}$, at each of which a task can be performed by a single i -th mode of transport over the appropriate distance l_{ij} . In this case, the transportation tariffs of i -th mode of transport in sections of varying lengths may vary (differentiation by distance). Therefore, a variety of tariffs $s_{ij} \in S$ is used for the i -th modes of transport differentiated by transportation distance l_{ij} on the j -th sections.

Then the distance of transportation of cargo in inter-modal traffic by i -th mode of transport at all sections, where it is used, will be:

$$\sum_j l_{ij} = L_i, j = \{1, \dots, m\}, \quad (7)$$

and conditions of continuity of transportation route are formulated as:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij} = L, i \in I, j \in J. \quad (8)$$

Expression (8) can be considered as a limitation of the optimization task.

Optimal variant is formed by the combination of transportation routes of i -th modes of transport of cargo in the volume Q_{ij} over distance l_{ij} at a cost s_{ij} :

$$C^* = \min_{l_{ij}, s_{ij}} C(Q_{ij}, L_i, s_{ij}), s \in S, \quad (9)$$

with restrictions on the distance (8) and the volume of transportation:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{ij} = Q, i \in I, j \in J. \quad (10)$$

Interaction at the technological level

At this level interaction of transport modes involves their joint participation in the process of transporting goods or passengers within the effective variant of rational addition formed at the economic level.

If at the economic level, the interaction is abstract enough, then at the technological level it becomes more real and involves coordination of various modes of transport mainly in the framework of an integrated transportation process, which is especially clearly manifested in the transport hubs.

The effectiveness of the implementation of each rational option of interaction between individual modes of transport depends on the coordination of parameters of such interaction. Traditionally we distinguish economic planning, technical, technological, organizational, legal, information parameters [8].

Economic planning parameters include coordination of: size and structure of vehicle fleet; volume and frequency of traffic; tariffs and cost of operations of the transport process, other parameters of joint activities.

Coordination of technical parameters includes: unification and standardization of: vehicles, infrastructure, handling equipment, containers, creation of combined terminals, unit load devices, etc. Transport organizations should coordinate with freight owners parameters of rolling stock in size, load-carrying capacity, capacity, avail-

ability of equipment with account of cargo properties and conditions of its transportation.

Coordination of technological parameters is carried out in order to ensure the continuity of the transportation process and includes: coordination of freight and transport operations; traffic organization of different modes of transport within combined schedules; common technological processes of different modes of transport in cargo transshipment points and transfer of passengers; use of common information exchange systems on the location and arrival time of ships, cars, automobiles; coordination of schedules and timing of modes of transport, the order of operation and workflow of consignors, carriers, consignees and transport hubs, etc.

Coordination of organization parameters of transport modes interaction is an extremely difficult task due to the incompleteness of institutional and structural reforms, preservation of departmental and territorial fragmentation, lack of full competition [9]. To solve current organizational and coordination tasks integrated structures are usually created, with authority to control and regulate the transportation process: traffic control services, transportation control centers, etc. Strategic issues can be solved by a variety of integrated structures: alliances, unions, associations, strategic partnerships, bringing together both national and international transport organizations.

Legal parameters of coordinated interaction of transport modes are determined with account for requirements of current legislation. Transport organizations on a contractual basis fix legal conditions for joint participation in a single transportation process: rights, duties, responsibilities.

Information resources play a key role in the effective organization and operational management of the transportation process, as well as the coordination of all parameters of coordinated interaction of transport modes, so they have intersystem character.

Competition at the service market

In the most general sense, competition refers to the proposal of:

- the same product (same service);
- at the same market (place);
- to the same buyer (client).

Criteria for evaluation of carriers by clients can be: price, duration, safety, comfort and so on.

Examples of competitive struggle between carriers:

- 1) Transport companies offer customer transportation of its cargo to the desired route at the same price, but with different duration;
- 2) Transport companies offer customer transportation of his cargo to the desired route of the same duration, but at a different price;
- 3) Transport companies offer customer transportation of his cargo to the desired route with different duration and different price.

Competition between various modes of transport is any form of transportation activity, which leads to a change in its conditions or results, including termination of functioning of any business or individual modes of transport as a whole, in particular - bankruptcy.

Competition is realized in the form of an alternative replacement of option for transporting cargo by one mode of transport (or carrier) with the variant of the same cargo transportation by another carrier. At the same time the basis for functioning and development of transport services market is competition of independent private transport organizations.

The structure of this market involves:

1. Services of general purpose – a competitive (free) market with self-financing.

2. Services of federal significance (in the case of Russia) – a non-competitive market with state support in the form of budget funding for maintenance and upgrading of systems and facilities, ensuring safe operation of transport (inland waterways and hydraulic structures on them, nuclear icebreaker fleet, navigation and air traffic systems, railway infrastructure, search, emergency rescue and other special services).

3. Services for socially important transportation – a competitive market with compensation of losses in connection with the carriage of privileged categories of the population, delivery of products to the Far North areas and equated localities with limited terms of navigation, etc.

Depending on carriers' belonging to the national transport system, the competition can be:

1) internal – between domestic carriers:

- intraspecific – between carriers of one mode of transport;

- interspecific – between carriers of different modes of transport;

2) external – between transport systems and carriers from different countries:

- at the market of foreign operations;
- at the transport market of other countries;
- at the market of international transit traffic;
- at the market of transit traffic for international transport corridors [10].

Depending on the conditions of access to the market, there are:

- direct competition – at the market there are many independent carriers of both one and different modes of transport (freight and passenger transportation in long-distance and international communications);

- competition «for the market» (if direct competition is impossible or is destructive) is organized on the basis of a public competition of operators, the winner of which

works alone at the market (for example, in some regions, rail and road intramunicipal and intermunicipal transportation of passengers).

Types of competition in passenger transportation sector on regular routes:

1) competition on the route – a few carriers serve the same route (a negative impact on the revenue base of all carriers);

2) competition between routes - can take two forms:

- competition on alternative routes – has a positive impact on service of population and encourages the development of passenger transportation market;

- competition on duplicating routes – harms the efficiency of the public transport system.

Conclusions. The authors investigated fundamental mechanisms of the functioning of transport systems. The authors highlighted different types of interaction of participants of transport processes, which are predetermined by competition and coordinated activities. The authors proposed a conceptual model of display of interaction mechanisms that characterizes methodological principles of competition and integration of various transport modes in the transportation market.

Increase in the quality of transport services in the competitive market of transport services is possible due to consolidation of the transport business. This consolidation is merging of carriers within in a large company to provide services as an integrated operator to customers of a certain market segment. Such an option is allowed in those market segments where the activity of a large number of small inefficient operators reduces standards of transport service and level of safety, interferes with the normal renewal of fixed assets. The state encourages the consolidation of business by enhancing the quality requirements for operators.

Keywords: transport system, interaction of transport modes, concept, system properties, transport services market, competition, coordinated activity, modeling.

REFERENCES

1. Kazanskiy, E. V. Recent problems in the theory of vehicles use [Aktual'nye zadachi v oblasti teorii ispol'zovaniya perevozchnykh sredstv]. *Sotsialisticheskii transport*, 1932, Iss. 4, pp. 28–31.

2. Obratsov, V. N. Moscow node and the basic ideas of its reconstruction [Moskovskiy uzel i osnovnye idei ego pereustroystv]. Works of XXII advisory congress of representatives of railway operation service. Moscow, 1926, pp. 1–65.

3. Syuy, Yu. A., Vakulenko, S. P., Shirokov, A. V. Interaction of modes of transport [Vzaimodeystvie vidov transporta]. Moscow, MII, 2006, 21 p.

4. Volkova, V. N., Denisov, A. A. Fundamentals of the theory of systems and system analysis: a textbook. 2nd ed., rev. and enl. [Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza: uchebnik. 2-e izd., pererab. i dop.]. St. Petersburg, Izd-vo SPbGTU, 2001, 512 p.

5. Mirotin, L. B., Larin, O. N. An integrated model of the transport system of regions of the Russian Federation [Integrirovannaya model' transportnoy sistemy regionov Rossiyskoy Federatsii]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2008, Iss. 1, pp. 25–27.

6. Larin, O. N. The concept of transit capacity of the transport system [Kontseptsiya tranzitnogo potentsiala

transportnoy sistemy]. *Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences*, 2006, Iss. 4 (34), pp. 125–127. //

7. Vakulenko, S. P., Kurenkov, P. V., Zaytsev T. A. Piggyback traffic in Russia: history, problems and prospects [Kontreylemye perevozki v Rossii: istoriya, problemy, perspektivy]. *Ekonomika zheleznynkh dorog*, 2013, Iss. 1, pp. 34–38.

8. Larin, O. N. Methodological aspects of the integration of different modes of transport in an integrated system [Metodologicheskie aspekty integratsii razlichnykh vidov transporta v edinuyu sistemu]. *Vestnik transporta*, 2007, Iss. 7, pp. 10–13.

9. Vakulenko, S. P., Kurenkov, P. V., Sechkarev, A. A., Asaturov A. I. Lean Manufacturing in the multimodal transport [Berezhlivoe proizvodstvo v sisteme smeshannykh perevozok]. *Herald of State Marine University n. a. adm. F. F. Ushakov*, 2013, Iss. 2, pp. 9–17.

10. Larin, O. N. Some features of the evaluation of transport opportunities of motor systems in regions serving international freight flows [Nekotorye osobennosti otsenki provoznykh vozmozhnostey avtotransportnykh sistem regionov pri obsluzhivani mezhdunarodnykh gruzopotokov]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2008, Iss. 9, pp. 24–27.

Координаты авторов (contact information): Вакуленко С. П. (Vakulenko, S. P.) – k-gdsu@mail.ru, Ларин О. Н. (Larin, O. N.) – larin_on@mail.ru, Лёвин С. Б. (Lievin, S. B.) – info@a-trans.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 19.06.2014
Принята к публикации / article accepted 22.09.2014





ЦОД в неустановившемся режиме работы



Марина ЗОТОВА

Marina A. ZOTOVA

Исследование неустановившегося (нестационарного) режима работы центра обработки данных. При этом центр с учетом определенных предположений и условий рассматривается как система массового обслуживания типа $M/M/1/\infty$. Численное интегрирование системы уравнений Колмогорова показывает, что стационарный режим достигается через 1,5 секунды после начала операции.

Ключевые слова: теория массового обслуживания, центр обработки данных, нестационарный режим, корпоративная сеть, запрос, входной поток, интегрирование, система уравнений Колмогорова.

Зотова Марина Александровна – технолог 1-й категории проектно-конструкторско-технологического бюро по системам информатизации ОАО «РЖД», аспирант кафедры «Вычислительная техника» Российской открытой академии транспорта Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Центр обработки данных (ЦОД), работающий в составе сложной системы – корпоративной сети, при предположении о том, что случайные потоки запросов имеют экспоненциальное распределение между моментами поступления запросов, а также при экспоненциальном распределении времени их обработки можно представить как автономно функционирующую систему массового обслуживания (СМО) типа $M/M/1/\infty$.

Условное $M/M/1/\infty$ означает пуассоновский входной поток, экспоненциальное распределение времени обслуживания, одно обслуживающее устройство, причем сама система – разомкнутая. Тогда смену состояний СМО есть основание представить графом, изображенном на рис. 1 (S_i , $i=0,1,2,3, \dots$ – состояние СМО, при котором в системе находится i запросов).

На рис. 1 символом λ обозначена интенсивность потока событий – моментов поступления запросов на обработку, в котором длительности интервалов между моментами наступления событий имеют экспоненциальное распределение с плотностью распределения вероятностей:

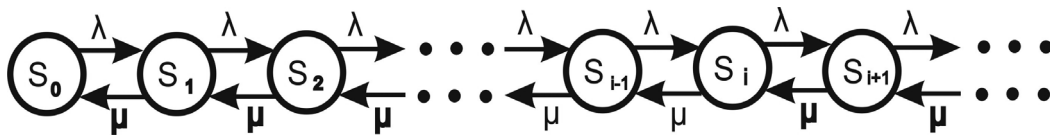


Рис. 1. Граф состояний СМО М/М/1/∞.

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (1)$$

где λ – параметр распределения потока. Средний интервал входного потока – $1/\lambda$.

Символ μ обозначает интенсивность распределения времени обслуживания. Интенсивность имеет плотность распределения вероятностей:

$$f(x) = \mu e^{-\mu x}, \quad (2)$$

где μ – параметр распределения (интенсивность обслуживания). Среднее время обслуживания – $1/\mu$.

В неустойчивом (нестационарном) режиме работы система массового обслуживания описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова [1, 2]:

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t);$$

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = -\lambda p_i(t) - \mu p_i(t) + \mu p_{i+1}(t) + \lambda p_{i-1}(t),$$

$$i = 1, 2, 3 \dots \quad (3)$$

Здесь $p_i(t)$ – вероятность нахождения СМО в состоянии S_i в момент времени t .

При $t \rightarrow \infty$ левые части уравнений Колмогорова стремятся к 0; другими словами, в установившемся (стационарном) режиме работы, когда $\lambda/\mu < 1$, система дифференциальных уравнений превращается в систему алгебраических уравнений:

$$0 = -\lambda p_0 + \mu p_1;$$

$$0 = -\lambda p_i - \mu p_i + \mu p_{i+1} + \lambda p_{i-1}, i = 1, 2, 3 \dots \quad (4)$$

Здесь p_i – стационарная вероятность нахождения СМО в состоянии S_i .

Существует [1] решение системы уравнений (4):

$$p_0 = (1 - \lambda/\mu);$$

$$p_i = p_0 (\lambda/\mu)^i, i > 0. \quad (5)$$

При решении системы дифференциальных уравнений (3) вероятности $p_i(t)$ при $t \rightarrow \infty$ должны стремиться к $p_i, i = 0, 1, 2, 3, \dots$, что может служить проверкой правильности полученного результата.

Время, за которое производные от вероятностей состояний становятся равными 0, есть время, в течение которого ЦОД работает в неустойчивом режиме. Поэтому, решив систему уравнений (1) и построив графики изменения вероятностей состояний как функции времени, мы ответим на вопрос, насколько долго после включения ЦОД устанавливается стационарный режим.

Систему уравнений (3) можно решить численно, применив один из известных методов для систем дифференциальных уравнений. Наиболее зарекомендовавшим себя является метод Рунге–Кутты 4-го порядка [3, 4]. Выполним расчет для значений средних времен – времени интервалов во входном потоке и времени обслуживания, взятых из реальных измерений в корпоративной сети ОАО «РЖД». Примем $1/\lambda = 0,504$ с, $1/\mu = 0,03705$ с. Результаты решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова для указанных значений λ и μ приведены на рис. 2 (указаны только функции $p_0(t)$ и $p_1(t)$ – ради экономии площади). Вероятность отсутствия запросов в системе p_0 для установившегося режима работы вычисляется по формуле, взятой из [1]:

$$p_0 = 1 - \lambda/\mu. \quad (6)$$

Для принятых значений λ и μ вероятность равна 0,9264881. Как следует из рис. 2, кривая $p_0(t)$ при увеличении значения времени стремится к данному значению.

На рис. 3 приведены значения среднего числа запросов в системе. Средняя численность запросов в ЦОД $\bar{n}(t)$ вычислялась



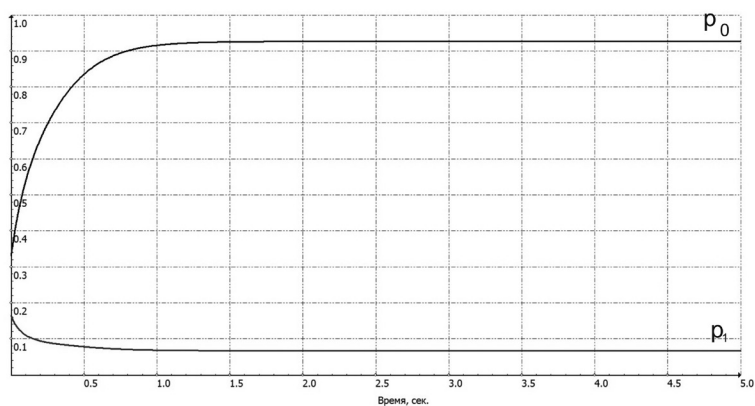


Рис. 2. Вероятности $p_0(t)$ и $p_1(t)$ как функции времени.

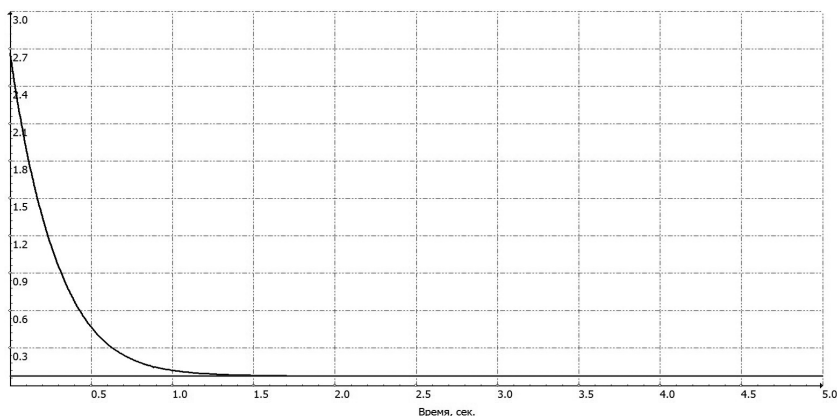


Рис. 3. Средняя численность запросов в системе как функция времени.

по формуле для среднего дискретной случайной величины:

$$\bar{n}(t) = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i(t). \quad (7)$$

В установившемся (стационарном) режиме работы средняя численность запросов в системе вычисляется по формуле из [1]:

$$\bar{n} = \frac{\lambda / \mu}{1 - \lambda / \mu} = \frac{0,03705}{0,96295} = 0,0385. \quad (8)$$

На рис. 3 прямая, параллельная оси t , представляет установившееся значение средней численности запросов в системе, равное 0,0385, к которому асимптотически стремится функция времени $\bar{n}(t)$.

Результаты, приведенные на рис. 2 и 3, показывают, что переходный процесс в ЦОД практически завершается уже после 1,5 секунды после начала интегрирования (включения ЦОД).

ВЫВОДЫ

Выполняя численное интегрирование уравнений (3) при различных начальных условиях, параметрах входного потока и времени обслуживания, можно получать оценки длительности достижения ЦОД установившегося режима работы и средних значений запросов в системе. Это позволит рассчитывать необходимые параметры устройств для хранения запросов, ждущих или находящихся в процессе обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 552 с.
2. Jianjun Zhou, Bin Liu. The existence and uniqueness of the solution for nonlinear Kolmogorov equations. Journal of Differential Equations. Vol. 53, Iss. 11, 1 December 2012, pp. 2873–2915.
3. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на Фортране: Пер. с англ. — М.: Мир, 1977. — 584 с.
4. Агеев М. И., Алиев В. П., Марков Ю. И. Библиотека алгоритмов 16-506. — М.: Советское радио, 1975. — 176 с.

DATA PROCESSING CENTER IN TRANSIENT MODE

Zotova, Marina A. – 1st category technologist at Design-Technological Bureau for Information Systems Development of JSC «Russian Railways», Ph.D. student of department of Computer science at Russian Open Transport Academy of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article provides an investigation of transient (non-stationary) mode of data processing center (hereinafter- DPC). The center, subject to certain assumptions and conditions, is considered as a queuing system of M/M/1/∞ type. Numerical integration of Kolmogorov equations shows that the stationary mode is reached in 1,5 seconds after the start of operation.

ENGLISH SUMMARY

Background. Data Processing Center (DPC), working as part of a complex system – a corporate network, with an assumption that random streams of requests are exponentially distributed between the receipt of the request, as well as the exponential distribution of processing time, can be represented as independently functioning queuing system (hereinafter- QS) of M/M/1/∞ type.

Objective. The objective of the author is to investigate transient mode of data processing center, which is considered as a queuing system of M/M/1/∞ type.

Methods. The author uses mathematical method and analysis.

Results. Conditional M/M/1/∞ is a Poisson input stream, exponential service time distribution, one server; the system itself is open (disconnected). Then change of states of QS should be represented as a graph shown in Pic. 1 ($S_i, i=0, 1, 2, 3, \dots$ is QS state, when there are i requests in the system).

In Pic. 1 symbol λ denotes the intensity of the flow of events – receipt of requests for processing, in which the durations of intervals between times of the events have an exponential distribution with probability density function:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (1)$$

where λ is a parameter of stream distribution. Average interval of the input stream is $1/\lambda$.

Symbol μ denotes the intensity of the service time distribution. The intensity has the probability density function:

$$f(x) = \mu e^{-\mu x}, \quad (2)$$

where μ is distribution parameter (service rate). Average service time is $1/\mu$.

In transient (non-stationary) mode queuing system is described by a system of differential equations of Kolmogorov [1, 2]:

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t);$$

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = -\lambda p_i(t) - \mu p_i(t) + \mu p_{i+1}(t) + \lambda p_{i-1}(t), \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

Here $p_i(t)$ is the probability that QS is in state S_i at time t .

When $t \rightarrow \infty$ left sides of Kolmogorov equation tend to 0, in other words, in the steady (stationary) mode, when $\lambda/\mu < 1$, the system of differential equations is transformed into a system of algebraic equations:

$$\begin{aligned} 0 &= -\lambda p_0 + \mu p_1; \\ 0 &= -\lambda p_i - \mu p_i + \mu p_{i+1} + \lambda p_{i-1}, \quad i=1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (4)$$

where p_i is stationary probability that QS is in state S_i .

There is [1] solution of the system of equations (4):

$$\begin{aligned} p_0 &= (1 - \lambda/\mu); \\ p_i &= p_0 (\lambda/\mu)^i, \quad i > 0 \end{aligned} \quad (5)$$

When solving a system of differential equations (3) the probabilities $p_i(t)$ when $t \rightarrow \infty$ should tend to $p_i, i=0, 1, 2, 3, \dots$, which may serve as a test of correctness of the result.

Time during which the derivatives of the probabilities of the states are set to 0, is a time during which DPC is in a transient state. Therefore, solving the system of equations (1) and building graphs of state probabilities change as a function of time, we answer the question, how long after DPC turns on, a stationary regime is set.

The system of equations (3) can be solved numerically, using one of the known methods for the numerical solution of systems of differential equations. The most proven method is Runge-Kutta method of the 4th order [3, 4]. We perform the calculation for average values of time, i. e. time intervals in the input stream and service time taken from real measurements in a corporate network of JSC «Russian Railways». We take $1/\lambda = 0,504$ s, $1/\mu = 0,03705$ s. The results of solving a system of differential Kolmogorov equations for these values of λ and μ are shown in Pic. 2 (only functions $p_0(t)$ and $p_1(t)$ are indicated – in order to save space). The probability of lack of requests in the system p_0 for steady mode is calculated using the formula, taken from [1]:

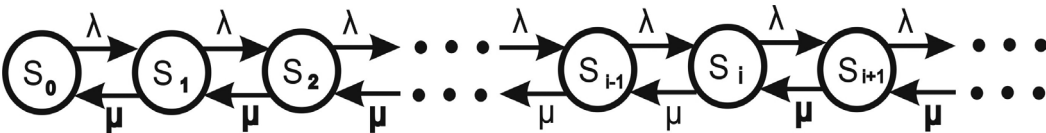
$$p_0 = 1 - \lambda/\mu. \quad (6)$$

For the assumed values of λ and μ probability is 0,9264881. As can be seen from Pic. 2, curve $p_0(t)$ with increasing time values tends to this value.

Pic. 3 shows the values of the average number of requests in the system. Average number of requests in DPC $\bar{n}(t)$ was calculated using the formula for the mean of a discrete random variable:

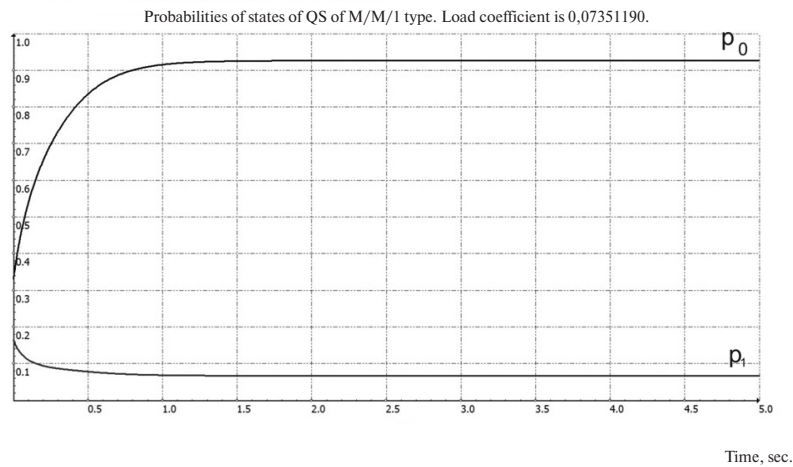
$$\bar{n}(t) = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i(t). \quad (7)$$

In the steady (stationary) mode of operation, the average number of requests in the system is calculated by the formula [1]:

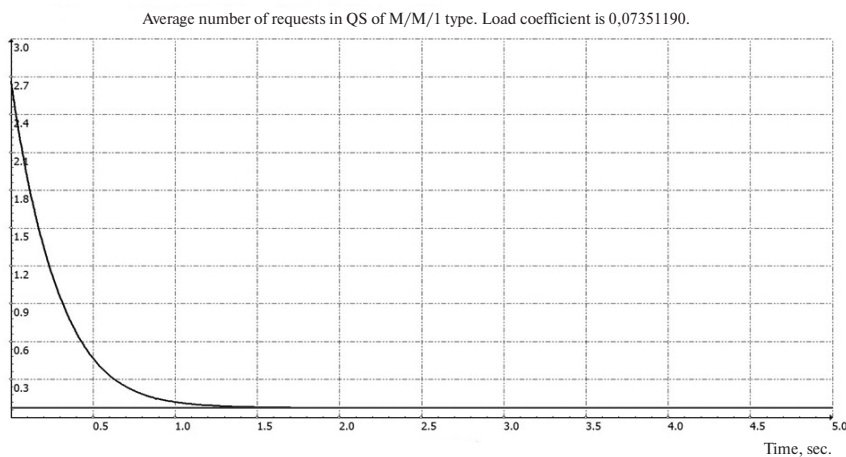


Pic. 1. Graph of states of QS of M/M/1/∞ type.





Pic. 2. Probabilities $p_0(t)$ and $p_1(t)$ as a time function.



Pic. 3. Average number of requests as a time function.

$$\bar{n} = \frac{\lambda / \mu}{1 - \lambda / \mu} = \frac{0,03705}{0,96295} = 0,0385. \quad (8)$$

In Pic. 3 line parallel to the axis t , is the steady value of the average number of requests in the system, equal to 0,0385, which a time function $\bar{n}(t)$ asymptotically tends to.

The results given in Pic. 2 and 3 show that the transition process in DPC is almost completed in

1,5 seconds after the start of integration (DPC turning on).

Conclusions. By proceeding with numerical integration of equations (3) under different start conditions, input flow parameters, and service time it is possible to obtain assessment of the time of achievement by DPC of stable operation mode and of mean values of requests in the system. This allows calculating necessary parameters of devices of storage of requests which are queuing or processed.

Keywords: queuing theory, data processing center, corporate network, request, input stream, integration, o system of Kolmogorov equations.

REFERENCES

1. Venttsel, E. S. Operations' research [*Issledovanie operatsiy*]. Moscow, Sovetskoe radio publ., 1972, 552 p.
2. Jianjun Zhou, Bin Liu. The existence and uniqueness of the solution for nonlinear Kolmogorov equations. Journal of Differential Equations, Vol. 53, Iss.11, 1 December 2012, pp.2873–2915.

3. McCracken, Daniel D., Dorn, William S. Numerical Methods and Fortran Programming [Russian title: *Chislennyye metody i programmirovaniye na Fortrane*]. Moscow, Mir publ., 1977, 584 p.

4. Ageev, M.I., Alik, V.P., Markov, Yu.I. Library of algorithms 1b-50b [*Biblioteka algoritmov b1–50b*]. Moscow, Sovetskoe radio publ., 1975, 176 p.

Координаты автора (contact information): Зотова М. А. (Zotova, M.A.) – mzotova@zmail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 14.07.2014, rev. 03.12.2014
Принята к публикации / article accepted 05.12.2014



ЭЛЕКТРОВОЗ 34

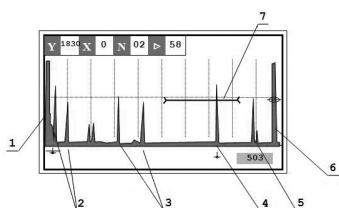
Гибкий типаж для рельсового «грузовика».

ТЯГОВАЯ СЕТЬ 48

Компенсация на посту секционирования.

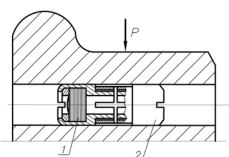
ЭКИПАЖ-ПУТЬ 58

Лучше измерить так.



ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ 68

К показателям – свой подход.



ВИБРОАКУСТИКА 78

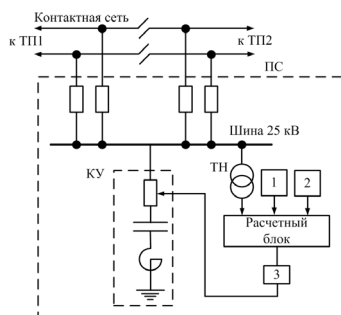
Контроль многослойных конструкций.

ELECTRIC LOCOMOTIVE 34

Flexible type of rail engine.

MODEL NETWORK 48

Equalization at the partitioning post.



ROLLING STOCK V. TRACK 58

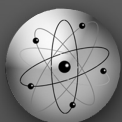
It is better to measure in that manner.

ROLLING STOCK 68

How to deal with the rates.

VIBROACOUSTICS 78

Controlling multilayer constructions.



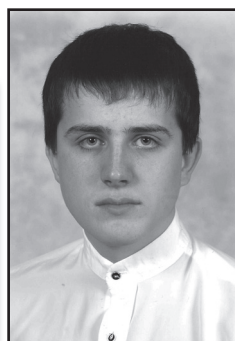
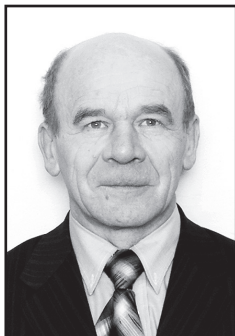


Выбор параметров двухсистемного грузового электровоза



Юрий ИНЬКОВ
Yuri M. INKOV

Виктор ЛИТОВЧЕНКО
Viktor V. LITOVCHENKO



Дмитрий НАЗАРОВ
Dmitry V. NAZAROV

Валерий ФЕОКТИСТОВ
Valery P. FEOKTISTOV



В статье приведены классификация параметров электровозов с комментарием по поводу действующих ограничений и структурная схема двухсистемного электровоза. Показаны способы формирования его грузового варианта на базе гибкого типажа с учетом различных групп параметров. При этом подчеркивается, что надежность локомотива оценивают по большому количеству показателей, но главным среди них остается коэффициент готовности, который вычисляется за фиксированный промежуток времени между капитальными ремонтами и на уровне нормы предполагает сейчас 0,95. Эту цифру авторы считают пригодной и на перспективу.

Ключевые слова: двухсистемный электровоз, параметры, структурная схема, гибкий типаж, железная дорога.

Иньков Юрий Моисеевич — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Литовченко Виктор Васильевич — кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия. Назаров Дмитрий Валерьевич — аспирант МИИТ, Москва, Россия.

Феоктистов Валерий Павлович — доктор технических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.

Классификация параметров электровозов с учётом действующих ограничений дана в таблице 1. Фактически многие из них достаточно инерционны с точки зрения каких-либо изменений в перспективе или закреплены действующими нормативными документами и опытом эксплуатации. Анализ развития железнодорожного транспорта, между тем, позволяет обосновывать базовые параметры на перспективу, что связано в первую очередь с задачей установить нормативный срок эксплуатации (ресурс).

Первые электровозы имели ресурс 50 лет, потом он был снижен до 30–35 лет, что объясняется моральным старением оборудования, в основном электрического. Однако его замену можно выполнить при

заводских ремонтах. Кроме того, начали широко применять капитальный ремонт с продлением ресурса на 15 лет (КРП). Сейчас КРП выполняется для электровозов ЧС2 и ВЛ10. И эти факторы должны быть учтены при обосновании ресурса.

Особо сложно будет учесть разнообразные условия эксплуатации с учётом того, что вся сеть дорог с электрической тягой должна обслуживаться минимальным числом типов электровозов, в идеале — одним типом. Важным здесь является то, что изначально задан двухсистемный электровоз, поскольку обе системы электрической тяги (постоянный ток 3 кВ и переменный ток 25 кВ) сохраняются и в дальнейшем. При этом опыт зарубежного и отечественного электровозостроения (ЭП10, ЭП20, 2ЭС5) показывает, что современная электротехника в сочетании с асинхронными тяговыми двигателями способна обеспечивать выпуск грузовых локомотивов с мощностью до 1200–1300 кВт/ось. Причем проектирование двухсистемного электровоза должно учитывать возможность производства на его базе односистемных электровозов постоянного и переменного тока, как на базе ЭП10 были предусмотрены варианты ЭП2 и ЭП3.

ВАРИАНТЫ ГИБКОГО ТИПАЖА

Проблема универсального электровоза, то есть приспособляемого к различным условиям грузового движения, решается на базе гибкого типажа (таблица 2). При этом можно формировать электровоз из различного числа однотипных секций. Между крайними секциями, которые имеют кабины управления, могут быть установлены одна-две такие же секции (ВЛ11, ВЛ80С) или бустерные секции без кабин управления, но полностью унифицированные с крайними секциями. (2ЭС5К). Применение бустерных секций характерно для железных дорог США (в тепловозной тяге). Это дает определенные преимущества, поскольку бустер дешевле секции с кабиной управления на 15–20%, но имеются и недостатки. Они связаны с ситуацией, когда 3-секционные электровозы передислоцируют в другие депо, где необходимо перестраивать их в 2-секционные.

В конечном счете принятие решения по бустерам для перспективных электро-

возов зависит не столько от экономических соображений, сколько от фактора стабильности грузопотоков во времени и пространстве. Поэтому при выборе типажа нужно учесть и прогноз развития основных грузообразующих отраслей промышленности (металлургия, тяжелое машиностроение, заготовка леса). В любом случае рассматривать варианты гибкого типажа следует, принимая во внимание всю совокупность существующих сегодня условий.

Вариант на базе 4-осных секций фактически уже реализован с абсолютно идентичными секциями (ВЛ11, ВЛ80С) и применением бустерных секций в середине сцепа (2ЭС5К). При этом возможное число осей электровоза 8, 12, 16. Широко используют составность 8 и 12 осей, то есть две или три секции. 12-осные электровозы 2ЭС5 с бустерной секцией также имеют большой полигон эксплуатации (Транссибирская магистраль и БАМ). Поскольку здесь отмечается самый большой рост перевозок, потребность в них будет стабильной.

Вариант на базе 6-осных секций обеспечивает формирование 2-секционных 12-осных электровозов (ВЛ85, ВЛ15). Возможно подключение третьей секции (18 осей), но здесь накладывается ограничение по прочности автосцепки 120 тс. Поэтому при необходимости увеличения силы тяги на горных участках следует использовать подталкивание с подстановкой дополнительного электровоза в хвост состава, что делается обычно на Транссибирской магистрали.

В программах развития ОАО «РЖД» предусмотрено введение составных поездов со схемами формирования ЭСЭС (Э — электровоз, С — состав из грузовых вагонов) массой до 2·6000 т или массой до 3·6000 т. Для реализации идеи составных поездов в большинстве случаев достаточны 8-осные электровозы с телеуправлением по радиоканалу (СМЕТ-Р), которое было опробовано на Московско-Рязанском отделении на поездах Э2СЭ, где 2С — 12 тыс. т.

Если на горных участках ($i = 16–25\%$) будет фигурировать указанная весовая норма, то требуются 12-осные электровозы. То есть сфера применения электровозов на базе 6-осных секций (ВЛ85 и ВЛ15)





сохраняется в перспективе для горных участков, которые имеются на большинстве тяговых плеч Транссибирской магистрали и БАМа, а также на уральских перевалах. Но при этом заводам придется выпускать два типа электровозов постоянного и два типа переменного тока или два типа двухсистемных электровозов, что отразится на их цене.

Вариант на базе совместного использования 4- и 6-осных секций тоже рассматривается в научных работах по гибкому типу. Причем можно формировать электровозы с числом осей 8 (4+4), 10 (4+6), 12 (6+6), 14 (4+4+6), 16 (6+6+4), 18 (6+6+6), для всех этих случаев типажный шаг равен 2. Однако такой вариант сложен с точки зрения производства, ремонта и эксплуатации.

Вариант на базе 8-осной секции не включен в классификацию в таблице 2 ввиду достаточно редкой его реализации на локомотивах, хотя 8-осное исполнение используется для грузовых вагонов. Что касается локомотивов, то единственным примером серийного исполнения являются тепловозы ТЭП-80 с осевой формулой (2+2—2+2); их выпущено более 100 единиц. Тот же Коломенский завод изготовил два электровоза ЭП200 с такой же осевой формулой. Зарубежных precedентов нет, кроме проекта завода «Шкода» (электровоз ЧС12, реализованный только в макетном образце).

Для грузовых электровозов этот вариант не годится из-за невозможности формирования гибкого типажа.

Таким образом, на перспективу следует рекомендовать вариант на базе 4-осных секций.

ПОСТОЯННЫЕ ПАРАМЕТРЫ (ГРУППА 1)

Вернемся к таблице 1, где согласно классификации параметры перспективного грузового электровоза делятся на постоянные, условно-постоянные и варьируемые. Постоянные, имея в виду их отношение к физической природе, включают коэффициент сцепления и температурный диапазон.

Коэффициент сцепления отражает процессы в зоне контакта колеса и рельса. Он во многом зависит от формы контактируе-

мых поверхностей, скорости вращения колеса (точнее, скорости перемещения контактной зоны), силы сжатия в этой зоне и др. Существенно влияние загрязнения контактируемых поверхностей, в том числе их увлажнение. Теоретически этот коэффициент можно измерить только на лабораторном стенде, где удастся задавать силу нажатия колеса на рельс, скорость перемещения контактной зоны, загрязнение контактируемых поверхностей, форму головки рельса и рабочей поверхности колеса.

Реально на электровозе имеем коэффициент тяги K_T , то есть отношение максимальной силы тяги на ободу колес к весу локомотива:

$$K_T = \frac{F_{\kappa-\max}}{P}; K_{i-сц} = \frac{F_{i-кп}}{q_{i-кп}}; K_T < K_{сц},$$

где K_T — коэффициент тяги;

$K_{i-сц}$ — коэффициент сцепления для i -й оси;

$F_{\kappa-\max}$ — максимальная касательная сила тяги локомотива;

P — вес локомотива;

$F_{i-кп}, q_{i-кп}$ — максимальная сила тяги колесной пары и нагрузка от нее на рельсы.

Снижение K_T по отношению к $K_{сц}$ связано с изменением осевых нагрузок (качество развески локомотива, динамическое перераспределение нагрузки колес при движении из-за неровностей пути и по причине опрокидывающего момента при действии сил тяги и торможения). Заметно также влияние загрязнений контактной зоны, колебаний в рессорном подвешивании, поперечных усилий — например, в кривых участках пути. Однако в инструкциях МПС и РЖД, а также в учебной литературе и даже часто в научных изданиях обычно употребляют только термин «коэффициент сцепления», в том числе и имея в виду «коэффициент тяги». Допустим, в правилах тяговых расчетов (1985 г.) приведены разные формулы для коэффициента сцепления, включая

$$\psi = \frac{1}{A + BV},$$

где A, B — постоянные коэффициенты, полученные путем аппроксимации результатов испытаний; V — скорость электровоза.

Результаты по этой формуле получают-ся более высокими для электровозов пере-

Таблица 1

Классификация параметров электровозов

Параметры перспективного грузового электровоза		
1. Постоянные по физической природе (коэффициент сцепления, температурный диапазон)	2. Условно-постоянные (вагонный парк, автосцепка, путь, электроснабжение)	3. Варьируемые (число осей, секций, номинальные значения мощности, силы тяги, скорости)

Таблица 2

Классификация возможных решений по гибкому типу

Базовая секция электровоза		
4-осная 2–2	6-осная 2–2–2 или 3–3	4- и 6-осные секции
Только секции с кабиной управления		
Секции с кабиной и бустерные секции		

менного тока по сравнению с электровозами постоянного тока. Дело в жестких характеристиках $F(V)$ и $I(V)$ на переменном токе, поскольку тяговые двигатели электровоза соединены параллельно.

На перспективных электровозах целесообразно использовать асинхронные тяговые двигатели, которые имеют более жесткие характеристики, чем коллекторные двигатели. Кроме того, в тяговом электроприводе обязательно предусмотрены системы автоматики и защиты от боксования-юза. С учетом этого, а также результатов испытаний можно принять (рис. 1) значение расчетного коэффициента сцепления при трогании ($V = 0$, точка 1) $\Psi_T = 0,4$, а при расчетной скорости V_p , то есть при движении по руководящему подъёму – $\Psi_p = 0,28–0,32$ [9]. Это значение зависит от V_p , а величина V_p связана с номинальной мощностью электровоза N_n соотношением

$$N_n = F_p \cdot V_p = \Psi_p \cdot P \cdot V_p,$$

где F_p – сила тяги на расчетном подъеме; P – вес электровоза.

Из формулы следует, что с повышением мощности электровоза, которая пропорциональна мощности тягового двигателя N_d , примерно так же растет V_p и незначительно снижается Ψ_p . В зоне правее точки 2 находится точка расчетного (номинального) режима. У эксплуатируемых электровозов (ВЛ11, ВЛ85) $N_d = 800–900$ кВт и $V_p = 43–48$ км/ч. Соответственно при АД $N_d = 1100–1200$ кВт можно принять $V_p = 55–60$ км/ч, но уменьшение Ψ_p будет компенсировано улучшением противобоксовых свойств АД, так что с учетом всех факторов $\Psi_p = 0,28–0,32$.

Величина V_p , особенно при длинных руководящих подъемах, оказывает большое влияние на величину пропускной способности тягового плеча. Поэтому увеличение V_p выгодно с точки зрения организации движения поездов.

Температурный диапазон отражает реальные условия эксплуатации на всем полигоне железных дорог с шириной колеи 1520 мм. При температуре наружного воздуха от -50°C до $+40^\circ\text{C}$ этот диапазон имеет существенное значение при выборе элементной базы аппаратуры и изоляции высоковольтных цепей и обмоток электрических машин.

Принципиальных сложностей при решении подобной задачи нет, но ряд позиций требует внимания. Сюда относятся:

- повышение надежности изоляции тяговых электродвигателей путем автоматического регулирования мотор-вентилаторов с непрерывным регулированием их производительности по воздуху;
- улучшение стойкости наиболее напряженных стальных конструкций к низким температурам (холодостойкость), в первую очередь это касается рам тележек и осей колесных пар;
- совершенствование системы климатического контроля для кабины машиниста во всем диапазоне температур наружного воздуха.

УСЛОВНО-ПОСТОЯННЫЕ ПАРАМЕТРЫ (ГРУППА 2)

Постоянность этих параметров объясняется не их физической природой, а решениями, принимаемыми при проектировании подсистем железнодорожного



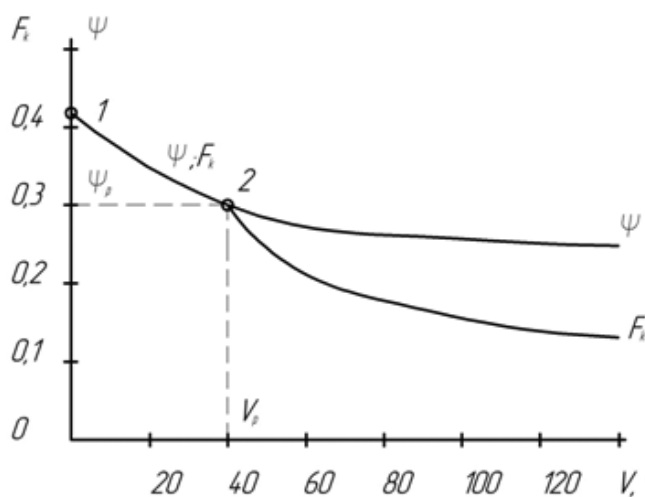


Рис. 1. Определение параметров электровоза для характерных режимов: 1 — трогание поезда; 2 — движение по руководящему подъему.

транспорта. Наиболее стабильны параметры, определяющие взаимодействие электровоза с путевой структурой, а именно:

- ширина колеи 1520 мм;
- габарит подвижного состава, причем на линиях с электрической тягой используют только габарит 0-Т;
- профиль рабочей поверхности головки рельса, определяющий профиль поверхности катания колес электровоза;
- допустимая нагрузка от каждой оси электровоза на рельсы — сейчас для грузовых электровозов она равна 25 т/ось, но в программных документах ОАО «РЖД» предусматривается 28 т/ось для отдельных наиболее загруженных направлений;
- руководящие подъемы для разных тяговых плеч, причем на этапе проектирования все участки разделены на шесть категорий с предельными уклонами 10–20 пром.;
- минимальный радиус кривых участков пути принят равным 300 м, что оказывает влияние на конструкцию ходовой части электровоза.

Парк грузовых вагонов определяет следующие параметры локомотива:

- предельная сила тяги, зависящая от автосцепки, составляет 120 тс (предел прочности 200 тс). Разработка перспективных сцепок ориентирована не на повышение ее прочности, а на улучшение динамики при резких изменениях продольных усилий;

— конструктивная скорость большинства грузовых вагонов — 120 км/ч, что предопределяет и конструкционную скорость грузовых локомотивов. Имеется тенденция к повышению конструкционной скорости отдельных типов вагонов, например контейнерных платформ, но доля их в вагонном парке не превышает 1,5%. В перспективе возможна эксплуатация ускоренных контейнерных поездов, как в ЕС, но они будут иметь небольшую длину (до 40 вагонов) и соответственно вес не более 2000 т. Поэтому для них следует использовать специальные грузопассажирские или пассажирские электровозы;

— норма осевой нагрузки, как уже отмечалось, соотносится с путевой структурой — основная доля грузовых вагонов имеет предельную осевую нагрузку 25 т/ось, что является дополнительным соображением при обосновании аналогичной нормы для электровозов.

Энергоснабжение электрифицированных железных дорог оказывает влияние на концепцию перспективного электровоза следующим образом: он должен быть двухсистемным, что при современном уровне развития силовой электроники и систем управления вполне реализуемо. Переключение электровоза с одной системы на другую возможно на ходу, при прохождении нейтральной вставки в контактной сети — это существенно упростит станции стыкования (Вязьма, Владимир,

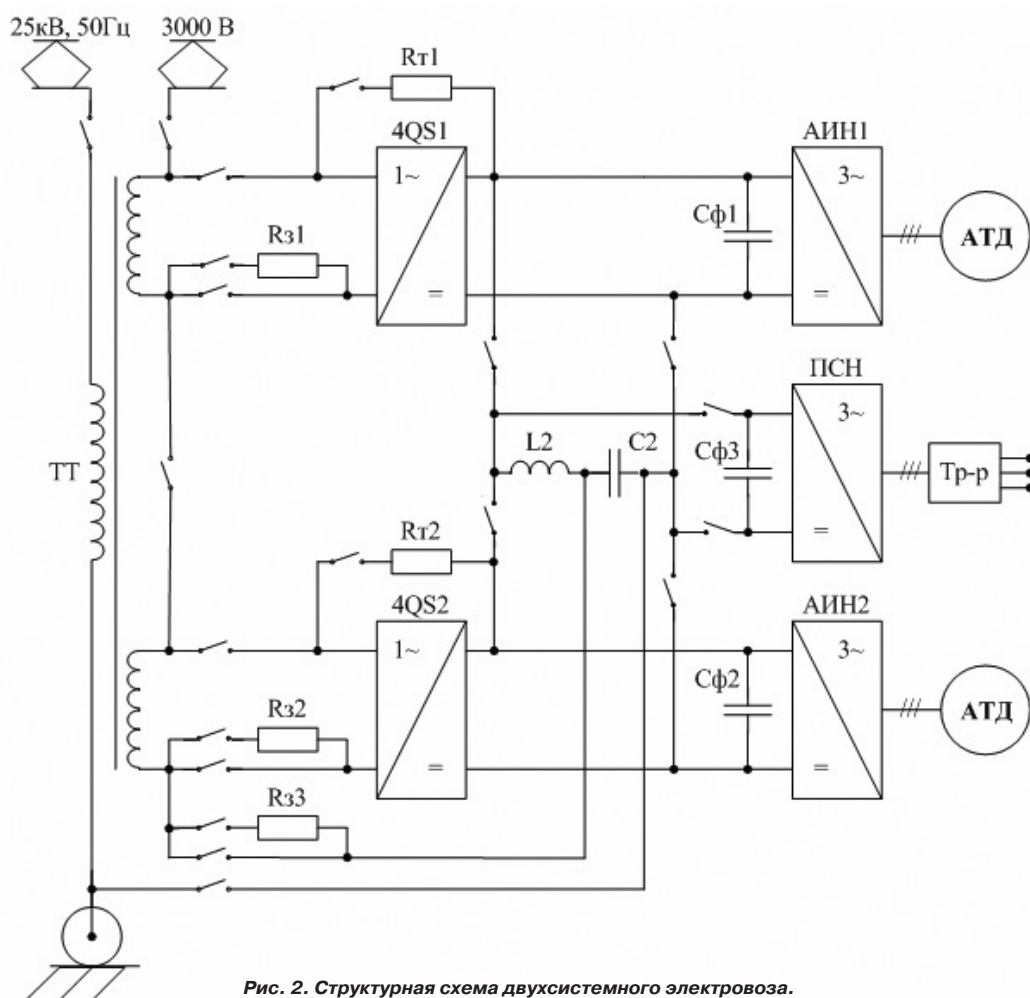


Рис. 2. Структурная схема двухсистемного электровоза.

Мариинск и др. — всего около 20 станций) и позволит удлинить тяговые плечи. Учитывая, что предусматривается создание гибкого типажа, целесообразно в качестве базового тягового модуля для двухсистемного электровоза принять комплект оборудования двухосной тележки с индивидуальным приводом каждой оси от собственного тягового двигателя. При этом модульность конструкции не должна ограничиваться только механической частью. Этот принцип необходимо распространить и на электрическое оборудование.

В состав тягового модуля, кроме двух АТД, должны входить тяговый преобразователь, обеспечивающий индивидуальное осевое управление тяговыми двигателями, а также преобразователь для питания собственных нужд при работе от контактной сети как постоянного, так и переменного

тока. В отличие от тяговых преобразователей двухсистемного электропоезда «Сапсан», для электровоза ЭП10 предлагается использовать вторичные обмотки тягового трансформатора и дроссель резонансного 100-герцового фильтра в качестве дросселей входного фильтра при работе от контактной сети постоянного тока, как это было предусмотрено силовой схемой тягового привода электропоезда «Сокол».

С системой энергоснабжения тесно связана реализация электрического торможения. На переменном токе 25 кВ тяговые подстанции всегда готовы к приему энергии рекуперации. При этом на электровозе АТД работают в генераторном режиме, АИН в режиме управляемого выпрямителя, а УВ в режиме зависимого инвертора. На постоянном токе необходимо рекуперативно-реостатное торможение. При рекуперации АТД и АИН





опять же работают, а *ИП* реверсируют. Если отсутствуют приемники энергии рекуперации, автоматически включается бесконтактный выключатель и энергию гасят на реостате.

ВАРЬИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ (ГРУППА 3)

В основном эти параметры однозначно определяются или ограничиваются уже рассмотренными параметрами групп 1–2. В ходе эксплуатации двухсистемных электровозов локомотивное хозяйство организует свою работу в соответствии со следующими заданными нормативными параметрами.

Весовая норма состава рассчитывается по величине руководящего подъема с учетом усредненных характеристик состава, то есть вагонов. Среди этих характеристик главной является средняя осевая нагрузка в составе поезда q'' . Тогда сопротивление движению поезда на руководящем подъеме

$$i_p' = w_o(V_p) + w_i = (P \cdot w_o' + Q \cdot w_o'') + (P + Q) \cdot i_p,$$

где P, Q — вес локомотива и состава;
 w_o', w_o'' — основное удельное сопротивление для локомотива и состава, причем

$$w_o' = a_1 V_p^2 + a_2 V_p + a_3;$$

$$w_o'' = (b_1 V_p^2 + b_2 V_p + b_3) / q.$$

Эти расчеты выполняют на этапе взаимодействия заказчика (ОАО «РЖД») и изготовителя электровозов, включая разработчика. Заключительный этап расчетов имеет цельную реализацию унифицированных весовых норм для протяженных магистральных направлений со стабильными грузопотоками (Транссибирская магистраль, Москва — Воронеж — Ростов и др.).

Например, для Транссибирской магистрали установлена норма в 6000 т, но поскольку входящие в него тяговые плечи включают разные руководящие подъемы и соответственно разные индивидуальные весовые нормы, то унифицированная норма должна удовлетворять ограничениям:

— тяга состава электровозом в голове поезда (8- или 12-осный электровоз) при необходимости с добавлением подталкивающего электровоза;

— соответствие длины поезда длине станционных путей, по крайней мере, на участковых станциях.

Идея унифицированных весовых норм существует около 30 лет. Ее реализация начата на базе электровозов с коллекторными тяговыми двигателями. Перспективные электровозы с АТД проектируются с мощностью на ось на 20% больше, чем при коллекторных двигателях. Это позволяет сделать вывод, что перспективные электровозы не будут лимитировать реализацию унифицированных норм.

Но при эксплуатации многоосных электровозов существует проблема использования их мощности. Дело в том, что полностью мощность электровоза реализуется только в том случае, если вес состава соответствует норме; но и при этом полная мощность имеет место только в небольшом диапазоне скорости — при V_p и несколько более высоких скоростях. Поэтому была реализована **система посекционного регулирования**, которая при токе и соответственно силе тяги электровоза меньше номинальных отключает часть тяговых двигателей, а у остальных увеличивает ток, чтобы сохранить силу тяги на уровне до отключения. Такая система в виде блоков управления ОРМЛ внедрена на электровозах ВЛ80С, где можно отключать двигатели попарно. Здесь энергосбережение осуществляется за счет перевода двигателей в зону максимального КПД, которая соответствует номинальному току.

Дополнительная экономия обеспечивается путем регулирования производительности (частоты вращения) мотор-вентиляторов (МВ) силового оборудования, в зависимости от их нагруженности. Идеальным является регулирование по температуре якоря или ротора тягового двигателя, но замеры во вращающихся частях весьма сложны. Поэтому в реализованных системах регулируют МВ по току тяговых двигателей с учетом температуры наружного воздуха. Это дает экономию электроэнергии до 16–18%.

На перспективных электровозах в качестве МВ целесообразно использовать асинхронные двигатели с питанием от автономных инверторов; это позво-

ляет плавно регулировать частоту вращения МВ. Здесь необходимо не снижать эту частоту меньше чем на 12–14% от номинальной, чтобы обеспечить подпор воздуха при вентиляции тяговых двигателей (во избежание поступления наружного воздуха в двигатель).

Надежность электровозов оценивают по большому количеству показателей, но главным является коэффициент готовности, всегда указываемый в нормативных документах ОАО «РЖД» (ТУ и ТЗ). Его вычисляют за фиксированный промежуток времени между капитальными ремонтами по формуле

$$K_r = \frac{\Sigma T_{\text{сп}} + \Sigma T_{\text{нд}}}{\Sigma T_{\text{сп}} + \Sigma T_{\text{тор}} + \Sigma T_{\text{нд}} + \Sigma T_{\text{нр}} + \Sigma T_{\text{по}}},$$

где $\Sigma T_{\text{сп}}$ — сумма отрезков времени, в течение которых электровоз находится в распоряжении службы перевозок, будучи в рабочем состоянии;

$\Sigma T_{\text{нд}}$ — суммарное время нахождения электровоза в депо в рабочем состоянии;

$\Sigma T_{\text{тор}}$ — суммарное время нахождения электровоза на плановом техническом обслуживании и ремонте, включая их ожидание;

$\Sigma T_{\text{нр}}$ — продолжительность неплановых ремонтов, включая их ожидание;

$\Sigma T_{\text{по}}$ — суммарное время нахождения электровоза в состоянии полного отказа вне депо.

В идеальном случае имеем $\Sigma T_{\text{нр}} = 0$; $\Sigma T_{\text{по}} = 0$, так что на коэффициент готовности можно влиять, только увеличивая $\Sigma T_{\text{сп}}$ и уменьшая $\Sigma T_{\text{тор}}$ и $\Sigma T_{\text{нд}}$. Увеличивать дальше коэффициент удастся лишь путем улучшения использования электровозов в службе перевозок и сокращения затрат времени на техническое обслуживание и ремонт.

Сейчас коэффициент готовности на заказываемых электровозах принят за 0,95. Эту норму можно сохранить и на перспективу.

Межремонтные пробеги следует увеличить за счет повышения надежности лимитирующих компонентов электровоза. Базовым видом планового ремонта является подъемочный; его периодичность определяется сменой бандажей колесных пар при достижении ими предельного износа. Сейчас соответст-

вующий пробег составляет 350–550 тыс. км, но в директивных документах ОАО «РЖД» поставлена задача увеличить его до 1–1,15 млн км. Это достигается упрочнением поверхности катания бандажа (лазерное, плазменное упрочнение).

Автоматизация электровоза грузового движения призвана базироваться на:

- ограничении тока тяговых двигателей и стабилизации скорости движения в соответствии с уставками, заданными на контроллере машиниста (система МСУД разработки ВЭЛНИИ);

- системах автоведения САВПЭ или РПДА.

Бортовая система технической диагностики необходима:

- для обнаружения предотказных состояний наиболее ответственных узлов (буксы, изоляция силовых цепей, особенно тяговых двигателей);

- для регистрации фактического состояния основного оборудования при движении электровоза под полной нагрузкой (эта информация должна быть использована при планировании очередных ремонтов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубенко А. А. Сцепление колеса с рельсом. — Киев: ВИПОЛ, 1993. — 296 с.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы. — М.: Транспорт, 1985. — 287 с.
3. Феоктистов В. П. Концепция грузовых и грузопассажирских электровозов нового поколения // Материалы международного симпозиума Eltrans. — СПб.: ПГУПС, 2002. — С. 200–202.
4. Осипов С. И., Осипов С. С., Феоктистов В. П. Теория электрической тяги. — М.: УМЦ, 2005. — С. 436
5. Коломийченко В. В. Автосцепное устройство подвижного состава железных дорог. — М.: Транспорт, 2002. — 230 с.
6. Лещев А. И. Электровоз двойного питания ЭП10 // Локомотив. — 1999. — № 11. — С. 28–32.
7. Грунтов П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1994. — С. 543.
8. Бакланов А. А., Мурзин Д. В., Талызин А. С. Параметры перспективных электровозов для питания участка Мариинск-Карымская Транссибирской магистрали // Тезисы докладов третьего международного симпозиума Eltrans 2007. — СПб., 2007. — С. 497–499.
9. Литовченко В. В., Широченко Ю. Н. Расчет предельных характеристик для электровозов // Мир транспорта. — 2009. — № 3. — С. 58–65.
10. Иньков Ю. М., Литовченко В. В., Феоктистов В. П. Двухсистемный грузовой электровоз для железных дорог Российской Федерации // Электротехника. — 2014. — № 3. — С. 57–64.





SELECTION OF PARAMETERS FOR DUAL-SYSTEM FREIGHT ELECTRIC LOCOMOTIVE

Inkov, Yuri M. – D. Sc. (Tech.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Litovchenko, Viktor V. – Ph.D. (Tech.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Nazarov, Dmitry V. – Ph. D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Feoktistov, Valery P. – D. Sc. (Tech.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The paper presents a classification of parameters of electric locomotives with comments about existing restrictions and a block diagram of a dual-system electric locomotive. Variants for formation of a train of freight electric locomotives (multiple locomotive section) are shown based on a flexible type, taking into account different groups of parameters.

The authors underline that locomotive's reliability is assessed by a number of parameters but availability index is most important. This index is calculated for a given period of time between overhauls and is now considered to be normally equal to 0,95. The authors consider this value effective for future as well.

ENGLISH SUMMARY

Background. Classification of electric locomotives' parameters with account of existing restrictions is given in Table 1. In fact, many of them are very slow to change in terms of any changes in future, or are secured by applicable regulations and operating experience. Analysis of rail transport development, meanwhile, allows us to justify basic parameters for a long term, which is associated primarily with the objective to establish a normative service life (working life).

First electric locomotives had a working life of 50 years, and then it was reduced to 30–35 years, due to obsolescence of equipment, mainly electrical. However, it could be replaced during factory repairs. In addition, overhaul was widely used with prolongation of a working life for 15 years (hereinafter-OPWL). Now OPWL is carried out for electric locomotives CHS2 and VL10. These factors must be taken into account when justifying the working life time.

It will be especially difficult to take into account a variety of operating conditions, given the fact that the entire network of railways with electric traction should be serviced by a minimum number of types of electric locomotives, ideally – by one type. The important thing here is that originally a dual-system electric locomotive should be taken as sample type, since both electric traction systems (3 kV DC and 25 kV AC) will remain in future. The experience of foreign and domestic electric locomotive construction (EP10, EP20, 2ES5) shows that modern electrical engineering based on asynchronous traction motors is capable of providing a release of freight electric locomotives with a capacity of up to 1200–1300 kW / axle. And the design of dual-system electric locomotive must take into account the possibility of production on its basis of single-system AC and DC electric locomotives, as on the basis of EP10 variants EP2 and EP3 were produced.

Objective. The objective of the authors is to investigate parameters of electric locomotives; to provide their classification; to show possibility of formation of a train of freight electric locomotives based on a flexible type.

Methods. The authors use mathematical and engineering design method, analysis, descriptive method, comparison.

Results.

Options of flexible type

The problem of universal electric locomotive, that is adaptable to different conditions of freight traffic, is solved on the basis of flexible type (Table 2). It is possible to form a multiple electric locomotive section on the basis of a different number of similar sections. Between end sections which have control cabins, one or two homotypic sections (VL11, VL80S) or booster sections without control cabins completely unified with end sections (2ES5K) can be put. The use of booster sections is characteristic of the U.S. railways (for diesel traction). This gives certain advantages as booster is cheaper than a section with control cabin by 15–20%, but there are also disadvantages. They are related to the situation when 3-section electric locomotives are relocated to other depots, where it is necessary to re-shape them in 2-section electric locomotives.

Ultimately, the decision on boosters for prospective electric locomotives depends not only on economic considerations, but also on the stability factor of freight flows in time and space. Therefore, when choosing a type it is necessary to take into account the forecast of the main cargo-industries (metallurgy, heavy engineering, logging). In any case, to consider options of flexible type we should pay attention to a set of existing conditions.

Option on the basis of 4-axle sections has been actually already implemented with absolutely identical sections (VL11, VL80S) and the use of booster sections in the middle of the tractive connection (2ES5K). In this case, the possible number of axes of electric locomotive is 8, 12, 16. Options with 8 and 12 axes are widely used, that is, two or three sections. 12-axle locomotives 2ES5 with booster section are also widely used (Trans-Siberian and Baikal-Amur (BAM) mainlines). As we have noted due to the largest increase in traffic within those mainlines, the need for them will be stable.

Option on the basis of 6-axle sections ensures the formation of 2-section 12-axle electric locomotives (VL85, VL15). It is possible to add the third section (18 axes), but here we get a restriction on the strength of coupler which is of 120 tf. Therefore, in order to increase traction in mountain areas it is necessary to use boosting with substitution of an additional electric locomotive to the tail end of the train that is usually done on the Trans-Siberian main line.

The development programs of JSC «Russian Railways» provide the introduction of composite trains with formation schemes ECEC (E – electric locomotive, C – composite train of freight cars) weighing up to 2-6000 t or weighing up to 3-6000 t. To implement the idea of composite trains in most cases it will be sufficient to use 8-axle electric locomotives with distant control via radio channel (SMET-R), which was tested on Moscow-Ryazan branch on trains E2CE where 2C is 12 th. tons.

Table 1

Classification of parameters of electric locomotives

Parameters of a prospective freight electric locomotive		
1. Constant on the physical nature (adhesion coefficient, temperature range)	2. Relatively constant (car fleet, automatic coupling, track, electric power supply)	3. Varying (number of axes, sections, nominal value of power, traction, speed)

Table 2

Classification of possible solutions for flexible type

Base section of electric locomotive		
4-axle 2-2	6-axle 2-2-2 or 3-3	4- and 6-axle sections
Only sections with control cabin		
Sections with control cabin and booster sections		

If on mountain sections ($i = 16-25\%$), this weighted norm will be featured, 12-axle locomotives are required. That is the scope of the locomotives on the basis of 6-axle sections (VL85 and VL15) is retained in the long term for the mountain areas, which exist on most locomotive runs on Trans-Siberian mainline and BAM, as well as on the Ural mountain passes. But at the same time plants have to produce two types of DC electric locomotives and two types of AC electric locomotives or two types of dual-system electric locomotives, which will be reflected in their price.

Option on the basis of joint use of 4 and 6-axle sections is also considered in some researches on a flexible type. And it is possible to form sections of electric locomotives with a number of axes 8 (4 + 4) 10 (4 + 6) 12 (6 + 6) 14 (4 + 4 + 6) 16 (6 + 6 + 4), 18 (6 + 6 + 6), for all these cases type step is 2. However, this option is complex in terms of production, repair and maintenance.

Option based on 8-axle section is not included in the classification in Table 2 due to its rather rare implementation on locomotives, though 8-axle execution is used for freight cars. As for locomotives, the only example of a serial execution is diesel locomotive TEP-80 with axial formula (2 + 2.2 + 2); more than 100 units were produced. Kolomna factory produced two electric locomotives EP200 with the same axial formula. There are no foreign precedents except for the project of «Skoda» plant (electric locomotive CHS12 implemented only in brassboard).

For freight locomotives, this option is not reasonable because of the impossibility of forming a flexible type of multiple locomotives' section.

Thus, for a long term it is necessary to recommend an option on the basis of 4-axle sections.

Constant parameters (group 1)

Going back to Table 1, according to the classification parameters of prospective freight electric locomotive are divided into constant, relatively constant and varying. Constant parameters, referring to their relationship to the physical nature include adhesion coefficient and temperature range.

Adhesion coefficient reflects processes in the contact zone of the wheel and the rail. It largely depends on the shape of contacting surfaces, the wheel speed (more accurately, the speed of displacement of the contact area), the compression force in the area, etc. Influence of dirtying of the contacting surfaces is significant, including their watering. Theoretically, this ratio can be measured only on a laboratory bench where it is possible to set pressing force of wheels on the rail, the speed of displacement of the contact area, dirtying of the contacting surfaces, the shape of the rail head and the working surface of the wheel.

In reality, on the electric locomotive we have traction coefficient K_T , i. e. the ratio of maximum traction force on the rim of the wheel to the weight of the locomotive:

$$K_T = \frac{F_{\kappa-\max}}{P}; K_{i-\text{adh}} = \frac{F_{i-\text{WS}}}{q_{i-\text{WS}}}; K_T < K_{\text{adh}},$$

where K_T is traction coefficient;

$K_{i-\text{adh}}$ is adhesion coefficient for the i -th axle;

$F_{\kappa-\max}$ is maximum tangential traction force of the locomotive;

P is weight of the locomotive;

$F_{i-\text{WS}}, q_{i-\text{WS}}$ is maximum traction force of the wheel set and its load on rails.

Decrease in K_T in relation to K_{adh} is related to the change of axial loads (quality of locomotive weighting, dynamic redistribution of wheels load when driving due to irregularities of the track and because of overturning moment under the action of forces of traction and braking). Here are also noticeable the impact of dirtying of the contact zone, the oscillations in the spring suspension, transverse forces – for example, in the curved sections of track. However, in the instructions of the former Russian Ministry of Railways and of JSC Russian Railways, as well as in the academic literature and even often in scientific journals usually only the term «adhesion coefficient» is used, deeming at the same time «traction coefficient». For example, in the rules of traction computations (1985) different formulas for adhesion coefficient are shown, including

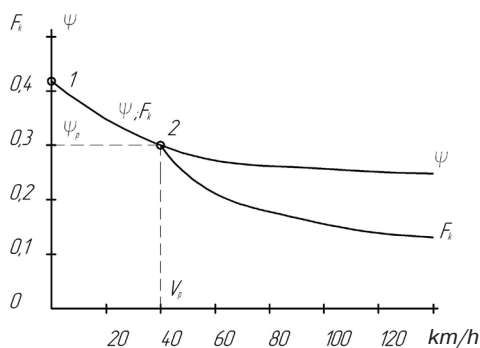
$$\psi = \frac{1}{A + BV},$$

where A, B are constant coefficients, obtained by approximation of the results of the tests; V is speed of an electric locomotive.

The results obtained by this formula are higher for AC electric locomotives as compared to DC electric locomotives. This is due to flat characteristics $F(V)$ and $I(V)$ of alternating current as electric traction motors are connected in parallel.

On prospective electric locomotives it is advisable to use asynchronous traction motors, which have more hardening characteristics than commutator motors. In addition, the traction drive systems have mandatory systems of automation and protection against skidding and sliding of wheels. With this in mind, as well as with account for the results of the tests we can take (Pic. 1) the value of the estimated coefficient of adhesion when starting ($V = 0$, point 1) to be $\Psi_s = 0,4$, and at rated speed V_p , i. e. when driving on the ruling gradient, as equal to $\Psi_p = 0,28-0,32$ [9]. This value depends on V_p and the value of V_p is associated with a nominal capacity of the electric locomotive N_n by ratio





Pic. 1. Determining electric locomotives' parameters for featured modes: 1 – getaway of a train; 2 – movement of a train on a ruling gradient.

$$N_n = F_p \cdot V_p = \psi_p \cdot P \cdot V_p,$$

where F_p is traction force on calculated gradient; P is weight of the electric locomotive.

From the formula it follows that with the increase in electric locomotive power, which is proportional to the traction motor power N_n , V_p increases similarly and ψ_p decreases slightly. In the area to the right of point 2 there is a point of calculated (nominal) mode. In operated electric locomotives (VL11, VL85) $N_n = 800\text{--}900\text{ kW}$ and $V_p = 43\text{--}48\text{ km/h}$. Accordingly, in case of asynchronous traction motor $N_n = 1100\text{--}1200\text{ kW}$ can take $V_p = 55\text{--}60\text{ km/h}$, but the reduction of ψ_p will be offset by improvement of antiskid properties, so that taking into account all factors $\psi_p = 0,28\text{--}0,32$.

The value of V_p , especially on ruling gradients has a great influence on the value of carrying capacity of locomotive run. Therefore an increase in V_p is beneficial in terms of train traffic.

Temperature range reflects actual operating conditions within the entire range of railway network with 1520mm gauge. When outside temperature is from -50°C to $+40^\circ\text{C}$, this range is important for choosing the element base of equipment and insulation type of high-voltage circuits and windings of electrical machines.

There are no fundamental difficulties in solving such a problem, but a number of positions require attention. These include:

- Increasing the reliability of insulation of traction electric motors by automatic control of blower motors with a continuous regulation of their performance in the air;
- Improving the resistibility of the most stressful steel structures at low temperatures (cold resistance), first of all it concerns the bogie frames and axles of wheel sets;
- Improvement of the climate control for the driver's cab in the whole range of ambient temperatures.

Relatively constant parameters (group 2)

Constancy of these parameters is determined not by their physical nature, but by the decisions taken as for the design of subsystems of rail transport. More stable parameters defining the interaction of electric locomotive with track structure are:

- 1520 mm gauge;
- Dimensions of the rolling stock (on lines with electric drive only dimension 0-T is used);
- Profile of the working surface of the rail head, which determines profile of the rolling surface of the wheels of electric locomotive;
- Load capacity of each axle of electric locomotive on rails – now for freight electric locomotives it is 25 t /

axle, but in program documents of JSC «Russian Railways» 28 t / axle is provided for certain most loaded areas;

- Ruling gradients for different locomotive runs, and in the design phase all sections are divided into six categories with maximum descending gradients of 10–20 per mille;

- The minimum radius of curved sections of the track it is taken equal to 300 m, that has an impact on the design of undercarriage of electric locomotive.

Freight car fleet determines the following parameters of the locomotive:

- Maximum traction force, depending on the automatic coupler is 120 tf (stress limit is 200 tf). Development of future-oriented couplers focuses not on the increase in its strength, but on the improvement of dynamics at sharp changes of longitudinal forces;

- Design speed of the majority of freight cars is 120 km / h, thus determining the design speed of freight locomotives. There is a tendency to increase the design speed of certain types of cars, such as container platforms, but their share in the car fleet does not exceed 1,5%. In the future, it will be possible to exploit express container trains, as in the EU, but they will have a short length (up to 40 cars) and, accordingly, the weight of not more than 2000 tons. Therefore, special passenger-freight or passenger locomotives should be used;

- The rate of axial load, as already mentioned, is related to the track structure

- The main share of freight cars has a limit axial load of 25 t / axle, which is an additional argument for justification of similar standards for electric locomotives.

Power supply of electrified railways affects the concept of prospective electric locomotive as follows: it should be dual-system that at the present level of development of power electronics and control systems is quite feasible. Switching of electric locomotive from one system to another is possible in process, during the passage of neutral insert in a contact network – this will significantly simplify operation of splicing stations (Vyazma, Vladimir, Mariinsk and others. – a total of 20 stations) and allow to extend locomotive runs. Given that a creation of a flexible type locomotive is provided, it is appropriate to adopt as a basic traction module for dual-system electric locomotive an equipment set of two-axle bogie with each axis individually driven by its own traction motor. At the same time design modularity should not be limited only to mechanical part. This principle should be extended to the electrical equipment.

The traction unit, except for two asynchronous traction motors, should include a traction converter, providing individual axis control by traction motors, as well as auxiliary converter used when running with a catenary of both DC and AC. In contrast to traction converters of dual-system electric train «Sapsan», for electric locomotive EP10 it is proposed to use secondary windings of traction transformer and inductor of 100-hertz resonant filter as an input filter inductors when running on catenary DC, as it was provided by the main circuit of traction drive of an electric train «Sokol».

The power supply system is closely related to the implementation of electric braking. 25 kV AC traction substations are always ready to receive regenerative power. At the same time, asynchronous traction motors work in generator mode, autonomous voltage invertors work in mode of controlled rectifier, and controlled rectifier works in the mode of grid-controlled inverter. Under DC mode regenerative-rheostatic braking is required. In recovery mode, asynchronous traction motors and autonomous voltage invertors function, and inverter convertors reverse. If there are no receivers of

regenerative energy proximity switch turns on automatically and the power is quenched at the rheostat.

Varying parameters (group 3)

In general, these parameters are uniquely determined or limited by parameters of already considered groups 1–2. During the operation of dual-system electric locomotives the locomotive department organizes its work in accordance with the following specified parameters.

Tonnage rating is calculated by the value of ruling gradient, taking into account the average characteristics of the train, i. e. cars. Among these characteristics the main one is average axial load in the train q'' . Then the resistance to movement of the train on the ruling gradient i_p is:

$$w = w_o(V_p) + w_i = (P \cdot w'_o + Q \cdot w''_o) + (P + Q) \cdot i_p,$$

where P, Q is weight of the locomotive and the train; w'_o, w''_o are values of main specific resistivity for the locomotive and the train, wherein

$$w'_o = a_1 V_p^2 + a_2 V_p + a_3; \quad w''_o = (b_1 V_p^2 + b_2 V_p + b_3) / q.$$

These calculations are performed at the stage of interaction of customer ("Russian Railways") and manufacturer of electric locomotives, including the developer. The final stage of the calculations is considered as an integrated implementation of standardized weighted norms for extended mainlines with stable freight traffic (Trans-Siberian mainline, Moscow – Voronezh – Rostov et al.).

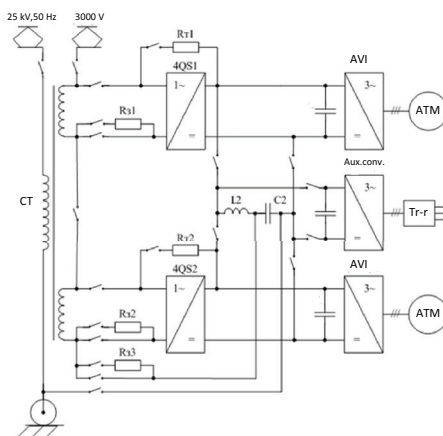
For example, the norm for Trans-Siberian mainline is 6000 t, but as relevant locomotive runs include various ruling gradients and correspondingly different individual weight norms, the uniform rules should satisfy the constraints:

- traction of a train by an electric locomotive in front of the train (8 or 12-axle electric locomotive), if necessary with the addition of pusher locomotive;
- the length of the train corresponds to the length of station tracks, at least on the section stations.

The idea of standardized weight standards has existed for about 30 years. Its implementation started on the basis of electric locomotives with commutator motors. Prospective electric locomotives with asynchronous traction motors are designed with a capacity at axle of 20% more than by collector motors. This suggests that prospective electric locomotives will not limit the implementation of uniform norms.

There is still a problem of comprehensive use of the power of multi-axis electric locomotives. The fact is that capacity of the electric locomotive is fully realized only if the weight of the train complies with the standard; but even those conditions are respected, the full power capacity can be achieved within a small range of running speeds – at V_p and slightly higher speeds. Therefore the system of section-wise regulation was implemented, which, if the current and accordingly traction force of electric locomotive are less than nominal, turns off a part of traction motors, and increases the current of the rest to maintain traction force at the level that existed before turning-off. The system of the kind under the form of control units ORML is implemented on board of electric locomotives VL80S, where it is possible to turn off the engines in pairs. Here, energy saving is performed by putting the engines into the zone of maximum efficiency, which corresponds to the nominal current.

Additional savings are achieved through regulation of performance (rotation speed) of blower motors (hereinafter - BM) of power equipment, depending on their loading. The ideal option is regulation based on the temperature of the armature or rotor



Pic. 2 Block diagram of a dual-system electric locomotive.

of traction motor, but measuring in rotating parts is very complex. Therefore, in the implemented systems BM are regulated by current of traction motors with account of the outdoor temperature. It gives energy savings of up to 16–18%.

On promising electric locomotives it is advisable to use asynchronous motors powered by autonomous inverters as BM; it allows smoothly adjusting the speed of BM. It is necessary not to reduce this frequency to less than 12–14% of the nominal value, to provide air overpressure during ventilation of traction motors (to avoid external air input into the motor).

Electric locomotives reliability is evaluated by a large number of indicators, but the main thing is availability coefficient, always indicated in the regulations of JSC «Russian Railways». It is calculated over a fixed period of time between overhauls by the formula

$$K_r = \frac{\Sigma T_{TS} + \Sigma T_{WS}}{\Sigma T_{TS} + \Sigma T_{SR} + \Sigma T_{WS} + \Sigma T_{NSR} + \Sigma T_{CF}},$$

where ΣT_{TS} is the sum of time intervals, during which the locomotive is at the disposal of traffic service, being in working condition;

ΣT_{WS} is the total time that an electric locomotive spends in the shed in working state;

ΣT_{SR} is the total time spent on the scheduled electric locomotive routine maintenance and repairs, including waiting period;

ΣT_{NSR} is duration of not scheduled emergency repairs, including waiting period;

ΣT_{CF} is the total time spent by electric locomotive in a state of complete failure outside the depot.

In the ideal case we get $\Sigma T_{NSR} = 0$; $\Sigma T_{CF} = 0$, so that availability can be affected only by increasing ΣT_{TS} and decreasing ΣT_{SR} and ΣT_{WS} . Further increase in the coefficient is possible only by improving the use of electric locomotives in transportation service and reducing the time required for maintenance and repair.

Now the availability coefficient of the ordered electric locomotives is 0,95. This norm can be maintained for the future.

Conclusion. Run between overhauls should be increased by improving the reliability of limiting components of electric locomotive. The basic type of planned maintenance is track raising; its frequency is determined by the change of tyres of wheelsets when they reach the limit of wear. Now the appropriate run is 350–550 th. km,





but policy documents of JSC «Russian Railways» provide a task to increase it to 1–1,15 mln km. This is achieved by hardening the rolling surface of the rim (laser, plasma hardening).

Automation of electric locomotives in freight traffic is intended to be based on:

- Limitation of current of traction motors and speed stabilization according to the settings specified on the controller of the driver (microprocessor-based engine control system, developed by Russian Research and Design Institute of Electric Locomotive Building);

Keywords: dual-system electric locomotive, parameters, block diagram, flexible type, railway.

REFERENCES

1. Golubenko, A. A. Wheel-rail adhesion [Stseplenie kolez s rel'som]. Kiev, VIPOL publ., 1993, 296 p.
2. Rules of traction computations for train operations [Pravila tyagovykh raschetov dlya poezdnoy raboty]. Moscow, Transport publ., 1985, 287 p.
3. Feoktistov, V. P. The concept of freight and freight-passenger electric locomotives of new generation [Konseptsiya gruzovykh i gruzopassazhirskikh elektrovozov novogo pokoleniya]. Proceedings of International Symposium ELTRANS. St.Petersburg, PGUPS, 2002, pp. 200–202.
4. Osipov, S.I., Osipov, S.S., Feoktistov, V. P. Theory of electric traction [Teoriya elektricheskoy tyagi]. Moscow, UMTs publ., 2005, pp. 436
5. Kolomiychenko, V. V. Automatic couplers of railway rolling stock [Avtomaticheskoye ustroystvo podvizhnogo sostava zheleznynykh dorog]. Moscow, Transport publ., 2002, 230 p.
6. Leschev, A. I. Electric locomotive of dual power EP10 [Elektrovoz dvoynogo pitaniya EP10]. Lokomotiv, 1999, Iss.11, pp. 28–32.

- Automatic driving systems (System of automatic train driving and energy saving or Recorder of motion parameters and automatic driving of trains).

On-board system of technical diagnostics is required:

- To detect close-to-failure states of the most critical parts (axle-boxes, insulation of power circuits, especially traction motors);
- To register actual condition of major equipment when electric locomotive moves under full load (this information should be used in planning the next repair).

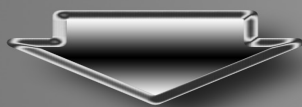
7. Gruntov, P. S. Management of field operation and quality of railway transportation [Upravlenie ekspluatatsionnoy rabotoy i kachestvom perevozok na zheleznodorozhnom transporte]. Moscow, Transport publ., 1994, pp. 543.

8. Baklanov, A.A., Murzin, D.V., Talyzin, A. S. Parameters of prospective electric locomotives adapted for power supply of the section Mariinsk-Karimskaya of Trans-Siberian mainline [Parametry perspektivnykh elektrovozov dlya pitaniya uchastka Mariinsk-Karimskaya Transsibirskoy magistrali]. Theses of reports of the III International Symposium ELTRANS. St.Petersburg, 2007, pp. 497–499.

9. Litovchenko, V.V., Shirochenko Yu.N. Computation of Ultimate Performances of Electric Locomotives *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*. 2009, Iss. 3., Vol. 27, pp. 58–65.

10. Inkov, Yu.M., Litovchenko, V.V., Feoktistov, V. P. Dual-system freight electric locomotive for railways of the Russian Federation [Dvuhsystemnyy gruzovoy elektrovoz dlya zheleznynykh dorog Rossiyskoy Federatsii]. *Elektrotehnika*, 2014, Iss. 3, pp. 57–64.

Координаты авторов (contact information): Иньков Ю. М. (Inkov, Yu. M.) – inkov05@mail.ru, Литовченко В. В. (Litovchenko, V.V.) – litov2002@mail.ru, Назаров Д. В. (Nazarov, D.V.) – (495) 684–24–57, Феоктистов В. П. (Feoktistov, V.P.) – (495) 684–23–90.
Статья поступила в редакцию / article received 21.06.2014
Принята к публикации / article accepted 17.09.2014



ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

Начало эксплуатации первого в мире маршрута без подвесной контактной сети

Шейх Хамдан Бин-Мохаммед Бин-Рашид Аль-Мактум, наследный принц, председатель исполнительного комитета 11 ноября 2014 года торжественно открыл трамвайное сообщение в Дубае в присутствии высокопоставленных представителей ОАЭ и президента Альстом-Транспорт (Alstom Transport) Анри Пупар-Лафаржа.

Проект комплексной системы, реализация которого была поручена концерну Альстом дорожно-транспортным управлением Дубая (РТА), был запущен с целью развития системы интермодальных перевозок и борьбы с заторами и загрязнениями

на автодорогах. По расчетам эта первая трамвайная линия в зоне Персидского залива будет обслуживать около 27000 пассажиров в день, а к 2020 году этот показатель должен вырасти до 66000.

— Трамвай для Дубая, который мы поставили с опережением графика, отлично иллюстрирует стратегию Альстом по обслуживанию рынков на основе предоставления полного набора решений и лидирующего положения в области трамвайных систем. Благодаря нашему тесному сотрудничеству с дубайскими транспортниками жители теперь могут ездить на одном из самых совре-

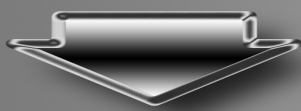
менных и удобных трамваев в мире, — отметил Анри Пупар-Лафарж.

В дубайском проекте воплощены многие прорывные технологии Альстом. Это первый трамвай в мире, который может эксплуатироваться при температуре до +50°C и работать в непростых климатических условиях высокой влажности и высокого содержания песка в воздухе. Система размещенного на уровне земли электроснабжения с автоматическим защитным переключением впервые в истории обходится без подвесной контактной сети на протяжении всей линии из 11 остановок, длина которой составляет 10,6 км. Примененная технология позволяет отлично вписать трамвай в городской пейзаж. Наконец, это первая линия, оснащенная остановками с кондиционированием воздуха и дополнительными автоматическими перронными дверями.

Поездка на дубайском трамвае гарантирует исключительный комфорт. Сочлененный кузов «Citadis» имеет в общей сложности 44 метра в длину; в салонах «золотого», «серебряного» класса, а также в салоне для «женщин и детей» могут разместиться 408 пассажиров. Трамвай оснащен системами информирования пассажиров в режиме реального времени и видеотрансляции. Для большего соответствия образу города передняя часть вагона оформлена в виде алмаза.

Юлия ТИХОНОВА,
менеджер по связям с общественностью
Альстом Россия и СНГ

Использованы также материалы пресс-центра компании Альстом <http://www.alstom.com/press-centre/2014/11/alstoms-tramway-system-starts-operation-on-the-worlds-first-100-catenary-free-line>



EXPRESS INFORMATION

Start of operation of the world's first 100% catenary-free tramway line

On 11 November, His Highness Sheikh Hamdan bin Mohammed bin Rashid Al Maktoum, Crown Prince, Chairman of the Executive Council inaugurated the Dubai Tram, in presence of high representatives of UAE and Henri Poupart-Lafarge, President of Alstom Transport.

This full system project, that was assigned to Alstom by Dubai Roads and Transport Authority (RTA), was launched to foster multimodal transportation use and to reduce traffic congestion and pollution. This first tramway in the entire Gulf region is expected to serve about 27,000 passengers per day and is anticipated to hit about 66,000 by 2020.

— The tram for Dubai, which we have handed over ahead of schedule, illustrates Alstom's strategy to serve all markets with a complete range of solutions while demonstrating our leading position in tramway systems. Thanks to Alstom and RTA's close collaboration on the project, Dubai's citizens can now travel aboard one of the most sophisticated and comfortable tram in the world, said Henri Poupart-Lafarge.

The Dubai Tramway includes many Alstom's technological breakthrough. It is the first tram in the world able to run in temperatures of up to 50 °C and to withstand harsh climate conditions such as humidity and sandy atmosphere. Equipped with APS ground-level power supply, the system is also the first in the world to be catenary-free all along the line which is 10.6 km long and counts 11 stations. This technology enables perfect integration of the tramway into the cityscape. Lastly, it is the first line to be equipped with air-conditioned stations and automatic platform screen doors.

The Dubai Tram offers high-end comfort. The Citadis tram is 44 metres long and can accommodate 408 pas-



Фотография / Photo Alstom Transport / James Chakson

sengers in «gold», «silver» and «women & children» classes. The tram is equipped with real-time passenger information and video broadcasting. To better reflect the city's image, Citadis tram of Dubai has a distinctive diamond-shaped styling on the front end.

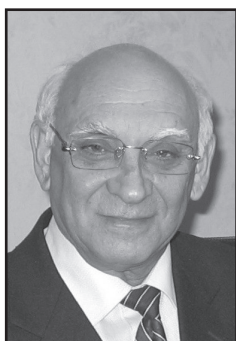
Yulia TIKHONOVA,
Media Relations Manager Alstom Russia and CIS

The following material of Alstom press center <http://www.alstom.com/press-centre/2014/11/alstoms-tramway-system-starts-operation-on-the-worlds-first-100-catenary-free-line/> was also used.





Регулирование мощности установки поперечной компенсации на посту секционирования



Леонид ГЕРМАН
Leonid A. GERMAN

Константин КИШКУРНО
Constantine V. KISHKURNO



Герман Леонид Абрамович — доктор технических наук, профессор кафедры «Электрификация и электроснабжение» Нижегородского филиала Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Нижний Новгород, Россия.

Кишкурно Константин Вячеславович — аспирант МИИТ, Москва, Россия.

Сложность регулирования мощности установки поперечной емкостной компенсации на посту секционирования контактной сети переменного тока имеет свои причины и последствия, которые связаны в том числе и с неполнотой информации о тяговой нагрузке. Предложено оценивать степень загрузки тяговой сети и, следовательно, управлять компенсационной установкой по падению напряжения между тяговой подстанцией и постом секционирования. Рассмотрена возможность повышения точности регулирования мощности установки поперечной емкостной компенсации путем передачи данных по напряжению шин 27,5 кВ тяговых подстанций.

Ключевые слова: контактная сеть, железная дорога, тяговое электроснабжение, поперечная компенсация, пост секционирования, реактивная мощность, потери напряжения, алгоритм.

Регулирование мощности установки поперечной емкостной компенсации (КУ) на посту секционирования (ПС) контактной сети переменного тока осуществляется с целью компенсации реактивной мощности и снижения потерь напряжения. Сложность же процесса в том, что нет информации о значении тяговой нагрузки в тяговой сети межподстанционной зоны [1], и регулирование идет по напряжению на ПС. Однако его уровень, к сожалению, не отражает степень загрузки тяговой сети, поскольку зависит от изменяющегося напряжения шин тяговой подстанции. Вот почему регулирование мощности КУ происходит с погрешностью выбора момента включения и отключения.

Отсюда и предложение оценивать степень загрузки тяговой сети и, следовательно, регулировать мощность КУ по падению напряжения между тяговой подстанцией и ПС. А соответственно и цель статьи — на примере реального участка тягового электроснабжения рассмотреть возможность повышения точности регулирования мощности установки поперечной емкостной компенсации на посту секционирования.

ния путем передачи данных по напряжению шин 27,5 кВ тяговых подстанций.

ПРИНЦИП УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ

Управление установкой поперечной емкостной компенсации отражает рис. 1, на котором приняты следующие обозначения: 1 – блок-контакт выключателя КУ; 2 – приемный полукомплект телемеханики ПС; 3 – реле времени. Характеристика напряжения поста секционирования поступает в расчетный блок от трансформатора ТН.

Потери активной мощности в тяговой сети с КУ на посту секционирования в матричной форме равны

$$\Delta P = \Gamma^T R I, \quad (1)$$

где $I = |I_p, I_2, \dots, I_k|$ – вектор-столбец токов ЭПС ($I_p, I_2, \dots$) и КУ (I_k);

R – квадратная матрица узловых активных сопротивлений контактной сети (узлы 1, 2, ..., k);

Γ^T – сопряженное и транспонированное значение тока.

Минимум потерь мощности определим из (1), вычислив производную dP/dI_k и приравняв её нулю.

В результате получим условие минимальных потерь в тяговой сети:

$$I_k R_{kk} = \sum I_{pi} R_{ik}, \quad (2)$$

то есть потеря напряжения до КУ (узел k) на узловом активном сопротивлении R_{kk} от тока КУ должна быть равна потерям напряжения от реактивных токов I_{pi} тяговой нагрузки до КУ.

Узловые сопротивления R_{kk} , R_{ik} и X_{kk} проще рассчитать по программе РАСТ-05К [2].

На посту секционирования напряжение измеряется с помощью трансформатора ТН, который определяет U_{nc} .

Тогда потери напряжения в тяговой сети от тяговой подстанции и до ПС равны $\Delta U_{nc} = U_o - U_{nc}$, (3) где U_o – напряжение на шинах 27,5 кВ тяговой подстанции.

Если на ПС включена КУ, то потери напряжения до ПС равны

$$\Delta U_{nc(k)} = U_o - U_{nc(k)}, \quad (3a)$$

где индексы (k) указывают на включенную КУ.

Потери напряжения в тяговой сети ΔU_{nc} от тяговой нагрузки равны [2]:

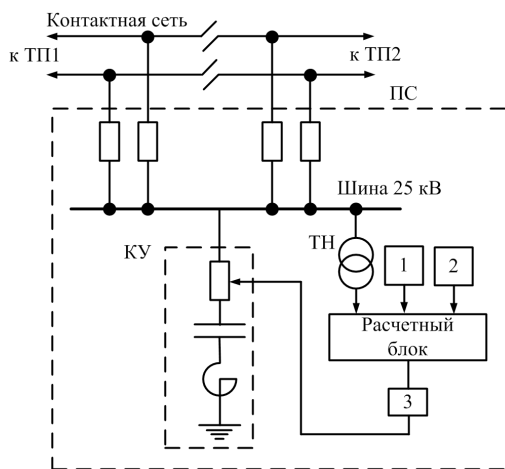


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

$$\begin{aligned} \Delta U_{nc} &= \sum (I_p R_{ik} + I_q X_{ik}) = \\ &= \sum I_i (\cos \phi R_{ik} + \sin \phi X_{ik}) = \\ &= (\sum I_i R_{ik}) (\cos \phi + q \sin \phi) = (\sum I_i R_{ik}) a. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь I_p , I_q – активная и реактивная составляющие токов тяговой нагрузки (считаем, что $\cos \phi$ тяговой нагрузки (всех электровазов) одинаковые). Выражение $(\cos \phi R_{ik} + \sin \phi X_{ik}) = Z_{ik(c)}$ принято называть составным сопротивлением [2], которое может использоваться в расчетах тяговых сетей с установкой поперечной емкостной компенсации в первом приближении по первой гармонике, как это указано в [2].

Если $Z_{ik(c)}$ разделить на R_{ik} , то величину $a = Z_{ik(c)}/R_{ik} = (\cos \phi + q \sin \phi)$ назовем как относительное значение составного сопротивления. Поскольку для практических расчетов обычно принимают $\cos \phi$ всех ЭПС одинаковыми, а соотношение $q = X_{ik}/R_{ik} = \text{const}$, то для любой подстанционной зоны можно считать, что $a = \text{const}$.

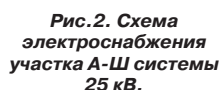
Как видно (4), потерю напряжения $\sum I_i R_{ik}$ можно определить по измеренной потере напряжения ΔU_{nc} :

$$\sum I_i R_{ik} = \Delta U_{nc} / a. \quad (5)$$

Так как для реактивного тока КУ $\cos \phi = 0$, а $\sin \phi = 1$, то потери напряжения до КУ от его реактивного тока, в частности, при одностороннем питании ПС по тяговой сети, будут равны $I_k X_{kk}$, то есть при замеренном токе I_k можно рассчитать потери напряжения $I_k X_{kk}$ при известном сопротивлении X_{kk} .

Что касается потерь напряжения $\sum I_{pi} R_{ik}$ от реактивных тяговых нагрузок, то они рассчитываются по измеренным потерям





По предложенному алгоритму проведены расчеты в программе РАСТ-05К [3]. Для упрощения расчетов рассмотрен участок

Таблица 2

Результаты вычислений

№ опыта	Положение КУ	Падение напряжения до поста секционирования ΔU, кВ	Потери напряжения до поста секционирования ΔU, кВ	Напряжение на подстанции /на посту секционирования (по показаниям вольтметра), кВ	Текущее значение целесообразной мощности КУ, рассчитанной по падению напряжения / по потерям, Q _к	Сигнал управления на КУ
1	откл.	0,983+і 0,612	0,98	27,75 / 26,8	1,802/1,805	Без управления
2	откл.	3,276+і 2,039	3,27	24,8/21,98	3,106/3,099	Включить

тяговой сети с односторонним питанием. В сети двухпутного участка установлены пост секционирования с КУ и пункты параллельного соединения (ППС). Распределенную тяговую нагрузку эквивалентировали в узлы 5 (ППС) и 6 (ПС).

Сопrotивление тяговой сети межподстанционной зоны $Z_{тс1} = 2,775 + j 7,2 \text{ Ом}$.

Нагрузки по 100 А (фаза «–37°») сосредоточены у ППС и ПС. Установим напряжение на ТП А – 27,5 кВ (все параметры сети приводим к напряжению 27,5 кВ, поэтому для тяговой обмотки берем номинальное значение коэффициента трансформации $K_{т}=1$). Принимаем номинальную мощность КУ – 5,5 Мвар.

Далее предполагаем (опыт 3 и 4), что нагрузка на участке изменилась: у ППС – 400 А, а у ПС – 300 А.

Принимая, что пост секционирования находится в середине рассматриваемого участка, получим для составного сопротивления:

$Z_{ik(c)} = \cos\phi \ 2,775 + \sin\phi \ 7,2.$

Полученную мощность КУ сравниваем с $0,5 Q_{ko} = 2,75 \text{ Мвар}$. Опытные данные сведены в таблицу 2.

Как видно (таблица 2), при малой нагрузке КУ остаётся отключенной, а при большой – установку следует включить.

Сравнительная погрешность при расчетах по падению и потерям напряжения составляет десятки долей процентов. Однако главная погрешность целесообразной мощности КУ будет определяться принятым значением $\cos\phi$ ($\sin\phi$).

На магистральных участках железной дороги коэффициент мощности тяговой нагрузки изменяется в сравнительно узких пределах [1]. Поэтому проведем расчеты погрешности при изменении фазы тока от 29° до 45°.

Тогда при тяговой нагрузке 400 А у ППС и 300 А у ПС текущее значение целесообразной мощности КУ, рассчитанной по потерям напряжения, будет изменяться от 3,757 до 2,548 Мвар, что составляет погрешность до 22%. Расчеты выполнены при большой тяговой нагрузке, когда меньше сказывается уравнильный ток на коэффициент мощности.

Полученные результаты свидетельствуют о приемлемости расчетов по предлагаемому алгоритму, так как рассматриваемая погрешность в несколько раз меньше, чем по аналогичному расчету, сделанному по режиму напряжения на шинах КУ поста секционирования. Компьютерный эксперимент показал, что применение алгоритма повышает точность и, следовательно, эффективность регулирования мощности КУ.

Выводы

1. Предложен алгоритм управления установкой поперечной емкостной компенсации поста секционирования тяговой сети переменного тока железной дороги, позволяющий повысить точность регулирования. Алгоритм предусматривает наличие информации о напряжении на шинах тяговой подстанции и поста секционирования.

2. Приведенный пример расчета показал приемлемость управления по разработанному алгоритму.

Литература

1. Бородулин Б. М., Герман Л. А., Николаев Г. А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1983. – 183 с.
2. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
3. Герман Л. А., Морозов Д. А. Расчет типовых задач тягового электроснабжения переменного тока на ЭВМ: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2010. – 59 с.



POWER CONTROL OF SHUNT COMPENSATION INSTALLATION AT SECTION PILLAR

German, Leonid A. – D. Sc. (Tech.), professor at the department of Electrification and power supply at Nizhny Novgorod branch of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Nizhny Novgorod, Russia.

Kishkurno, Constantine V. – Ph. D. student at Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The complexity of power control of shunt capacitive compensation installation at the section pillar of AC catenary has its causes and consequences, which are connected with the incompleteness of information on the traction load. It is proposed to assess the load degree of traction network and therefore control the compensation installation by voltage drop between traction substations and section pillar. The authors consider the possibility of increasing the accuracy of power control of shunt capacitive compensation installation by transmission of busbars' voltage data of 27,5 kV traction substations.

ENGLISH SUMMARY

Background. Power control of shunt capacitive compensation installation (hereinafter-CI) at the section pillar (hereinafter- SP) of AC catenary is conducted to compensate reactive power and reduce the voltage loss. The complexity of the process is due to lack of information on the value of traction load in traction network of between-substations zone [1], and regulation is carried out see the voltage on SP. However, its level, unfortunately, does not reflect the load degree of traction network, since it depends on variable voltage of busbars of traction substation. That is the reason why power control of CI occurs with choice error concerning switch-on and switch-off moments. Hence there is a proposal to assess the load degree of traction network and, therefore, to adjust the power of CI on the basis of data of voltage loss between the traction substation and SP.

Objective. The objective of the authors is, by an example of the real section of the traction power supply, to consider a possibility to improve the accuracy of power control of shunt capacitive installation at section pillar by transmitting the data on voltage of busbars of 27,5 kV traction substations.

Methods. The authors use mathematical method, specific electric engineering calculation methods and techniques, computer simulation.

Results.

Principle of installation control

Control of shunt capacitive compensation installation is shown in Pic. 1, in which the following notations are used: 1 – auxiliary contact of CI switch; 2 – receiver subset of SP remote control; 3 – time relay. Characteristics of voltage of section pillar enters the calculated block from transformer (hereinafter- T).

Active power losses in the traction network with CI at the section pillar in matrix form are equal to $\Delta P = I^T R I$, (1)

where $I = [I_1, I_2, \dots, I_k]$ is a vector column of currents of electric rolling stock ($I_1, I_2, \dots, I_k$) and CI (I_k);

R – square matrix of nodal active resistances of catenary (nodes 1, 2, ..., k);

I^T – conjugate and transpose current value.

Minimum power loss is determined from (1) by calculating the derivative dP/dI_k and equating it to zero.

As a result, we obtain a condition of minimum loss in traction network:

$$I_k R_{kk} = \sum I_{pi} R_{ik} \quad (2)$$

that is, the voltage loss to CI (node k) in the nodal active resistance R_{kk} from current CI should be equal to voltage losses of reactive currents I_{pi} of traction load to CI.

Nodal resistances R_{kk} , R_{ik} and X_{kk} are easier to calculate using a software program RAST-05K [2].

At the section pillar voltage is measured by a transformer T, which defines U_{sp} .

Then the voltage loss in traction network from a traction substation and to SP is equal to

$$\Delta U_{sp} = U_o - U_{sp} \quad (3)$$

where U_o is voltage on busbars of 27,5 kV traction substation.

If CI is turned on at SP, the voltage losses to SP are equal to

$$\Delta U_{sp(k)} = U_o - U_{sp(k)} \quad (3a)$$

where indices (k) indicate that CI is on.

Voltage loss in traction network ΔU_{sp} of traction load is equal to [2]:

$$\Delta U_{sp} = \sum (I_p R_{ik} + I_q X_{ik}) = \sum I_i (\cos \phi R_{ik} + \sin \phi X_{ik}) = (\sum I_p R_{ik}) (\cos \phi + q \sin \phi) = (\sum I_p R_{ik}) a. \quad (4)$$

Here I_p , I_q are active and reactive components of currents of traction load (we state that $\cos \phi$ of traction load (of all electric locomotives) are the same). Expression $(\cos \phi R_{ik} + \sin \phi X_{ik}) = Z_{ik(c)}$ is usually called a composite resistance [2], it can be used in the calculation of traction network with the installation of shunt capacitive compensation in the first approximation by the first harmonic, as specified in [2].

If $Z_{ik(c)}$ is divided by R_{ik} , then the value $a = Z_{ik(c)}/R_{ik} = (\cos \phi + q \sin \phi)$ is called a relative value of the composite resistance. As for practical calculations $\cos \phi$ of all electric rolling stock is taken identical, and the ratio $q = X_{ik}/R_{ik}$ is const, then for each substation zone we can assume that $a = \text{const}$.

As seen in (4), the loss of voltage $\sum I_p R_{ik}$ can be determined by measured loss of voltage ΔU_{sp} :

$$\sum I_p R_{ik} = \Delta U_{sp} / a. \quad (5)$$

As for the reactive current CI $\cos \phi = 0$, and $\sin \phi = 1$, voltage losses to CI of its reactive current, particularly during unilateral power supply of SP by traction network, will be equal to $I_k X_{kk}$, i. e. when measured current is I_k it is possible to calculate voltage losses $I_k X_{kk}$ at a known resistance X_{kk} .

As for voltage losses $\sum I_{pi} R_{ik}$ from reactive traction loads, they are calculated by measured voltage losses from the traction load without CI:

$$\sum I_{pi} R_{ik} = \Delta U_{sp} (\cos \phi) / a. \quad (6)$$

Thus, to calculate $\sum I_{pi} R_{ik}$ it is necessary to measure ΔU_{sp} , which must be multiplied by $\cos \phi / a$. Values X_{kk} , R_{kk} and R_{ik} for each between-substation zone are easier to determine with the program RAST-05K.

If CI is on, voltage losses are:

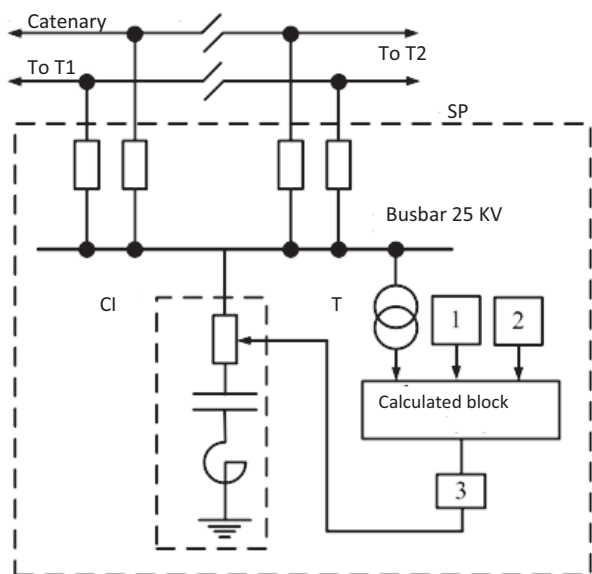
$$\sum I_{pi} R_{ik} = \Delta U_{sp(k)} (\cos \phi) / a.$$

It follows that the procedure for determining an optimal value of the current CI is based on measurements of voltage losses, which is expressed as algorithm.

CI is off

It is necessary to proceed with a set of steps, namely to:

1. Measure voltage on SP without CI U_{sp} .



Pic. 1. Schematic diagram of the installation.

2. Obtain information on telemechanics of voltage on busbars of 27,5 kV traction substations, supplying zone – U_o . If voltages are different, their average value is taken.

3. Determine ΔU_{ps} by the expression (3).

4. Calculate (6):

$$\sum I_{pl} R_{ik'} = \Delta U_{ps} \cos \phi / a.$$

5. Calculate I_k from (2) and (6):

$$I_k = (\sum I_{pl} R_{ik}) / R_{kk} = \Delta U_{ps} \cos \phi / a R_{kk} = \Delta U_{ps} \cos \phi / Z_{kk(c)} \quad (7)$$

where $Z_{kk(c)} = Z_k k_{(c)}$ is a composite resistance of connection node CI.

6. Calculate the power of CI, which would be optimal for the measured voltage loss (i. e. in this case power losses, when CI is on, would be the lowest (7)).

$$Q_k = 27,5 I_k \quad (8)$$

7. If the resulting $Q_k \geq 0,5 Q_{ko}$ (where Q_{ko} is power of CI), a command is given with a time delay for switching on CI.

CI is on

It is necessary to proceed with a set of steps, namely to:

1. Measure the voltage on SP with CI – $U_{sp(k)}$.

2. Obtain information on telemechanics of voltage of busbars of 27,5 kV traction substations, feeding the zone. If voltages are different, their average value is taken.

3. Determine $\Delta U_{sp(k)}$ by the expression (3a).

Table 1
Baseline data on the parameters of the scheme (Pic. 2)

Resistance BOO, Ohm
$Z1 = 0,35 + j 0,89$
Resistance of double circuit HV line- 110 kV
$Z2 = 0,6 + j 1,1$
$ZT = 0,1 + j 1,886$

4. Calculate the voltage loss, if CI has been switched off (i. e. excluding CI):

$$\Delta U_{sp} = U_o - U_{sp(k)} - I_k X_{kk'} \quad (9)$$

5. Calculate the current CI by analogy with (7)

$$I_k = (U_o - U_{sp(k)} - I_k X_{kk} \cos \phi) / Z_{k(c)} \quad (10)$$

6. The current value of the appropriate power CI is defined by the formula (8).

7. If the resulting $Q_k \leq 0,5 Q_{ko}$ (where Q_{ko} is power of CI), a command is given with a time delay for switching off CI.

Computer experiment

According to the proposed algorithm calculations were conducted within software RAST-05K [3]. To simplify the calculations a section of traction network with single power supply was considered. In a circuit of double-track section section pillar with CI and parallel connection points (hereinafter- PCP) are in-

Table 2

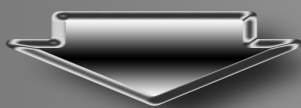
Calculation results

Nº of experiment	State of CI	Voltage drop to section pillar U, kV	Voltage losses to the section pillar U, kV	Voltage at the substation /section pillar (on the voltmeter), kV	The current value of appropriate power of CI calculated from the voltage drop / losses, Q_k	Control signal at CI
1	off	0,983+i 0,612	0,98	27,75 / 26,8	1,802/1,805	without control
2	off	3,276+i 2,039	3,27	24,8/21,98	3,106/3,099	switch on





● МИР ТРАНСПОРТА 06'14



«Авгурь» стал обладателем «Золотой колесницы»



С 23 по 26 сентября 2014 года в Берлине прошла крупнейшая международная транспортная выставка InnoTrans. В дни форума состоялась 10-я юбилейная церемония награждения лучших транспортных компаний премией «Золотая колесница», ставшей за минувшие годы своеобразным Оскаром в мире транспорта.

В номинации «Самая инновационная компания в создании устойчивого транспорта» премия вручена ЗАО «Воздухоплавательный центр «Авгурь» (Россия) за разработку проекта «АТЛАНТ» (Atlantos).

Об этом проекте «МТ» ранее сообщал (2012, № 6, С.101). «АТЛАНТ» — летательный аппарат нового поколения, который способен совершить революцию в области грузовых перевозок. Он сохраняет уникальные преимущества дирижаблей — большую дальность и грузоподъемность, экономическую и экологическую эффективность, но вместе с тем дает возможность избавить-

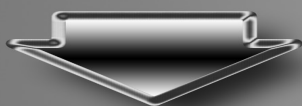
ся от потребности в наземном комплексе обслуживания, эллинге и балластировке дирижабля при разгрузке.

Технические характеристики аппарата в будущем позволят обеспечить создание инновационной транспортно-логистической системы, которая сделает экономически целесообразной разработку малых и средних месторождений полезных ископаемых, наладить бесперебойное круглогодичное снабжение заполярных регионов, вывести из обихода понятие «северный завоз».

Аппараты серии «АТЛАНТ» предназначены для использования в неблагоприятных климатических условиях на территориях с отсутствующей транспортной инфраструктурой, что делает их практически безальтернативными для решения многих задач.

Алексей МИТРОФАНОВ,
пресс-атташе ЗАО «Воздухоплаватель-
ный центр «Авгурь»
mitrofanov@rosaerosystems.com ●





О ПРЕМИИ «ЗОЛОТАЯ КОЛЕСНИЦА»

Международная транспортная премия «Золотая колесница» — конкурс для тех, кто занимается вопросами транспорта и транспортной инфраструктуры. «Золотой колесницей» награждаются во всем мире организации, компании и частные лица, которые внесли наибольший вклад в развитие отрасли. Премия объединяет компании-операторы всех видов транспорта, занимающиеся транспортной инфраструктурой, сервисные, обслуживающие, логистические компании, транспортные образовательные организации, средства массовой информации, ассоциации и союзы, видных профессионалов транспортной отрасли.

Идея, положенная в основу «Золотой колесницы», была направлена на учреждение международной премии со статусом, аналогичным транспортному Оскару.

Впервые «Золотая колесница» появилась в 2004 году как национальная российская транспортная премия, учрежденная министерством транспорта России и комитетом по транспорту Государственной думы Российской Федерации. К 2010 году «Золотая колесница» приобрела международный статус. Последующие годы доказали, что транспортная отрасль во всем мире высоко оценивает учреждение такой международной премии, привлекающей к участию все большее число предприятий транспортного бизнеса. За десять лет существования «Золо-

тая колесница» стала настоящим всемирным транспортным Оскаром.

В числе ее победителей за прошедшие годы — более 700 компаний, организаций и частных лиц из 57 стран Европы, Азии, Америки, Ближнего Востока, СНГ. Церемонии вручения премии проходили в Стамбуле, Москве, Женеве, Дубае, Праге, Одессе, Тель-Авиве, Гданьске, Берлине, Будапеште. Церемонии 2014 года состоялись в Триесте, Москве, Сиднее, Берлине и других городах.

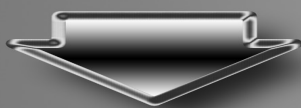
Список номинаций и кандидаты на награждения готовятся экспертным советом, состоящим из признанных профессионалов транспортной отрасли из различных стран. Выдвигают кандидатов также транспортные союзы и ассоциации, транспортные ведомства.

Органом, принимающим решения, является президиум, который в настоящее время возглавляет Ева Молнар, директор транспортного департамента Европейской экономической комиссии ООН. В состав президиума входят 16 известных руководителей транспортного сектора, включая генерального директора Международного союза железных дорог Ж.-П. Лубину и председателя комитета ОСЖД Т. Шозду. Экспертный совет возглавляет ректор МИИТ, профессор Б. А. Лёвин.

Сайт премии

<http://www.transportaward.com> ●





EXPRESS INFORMATION

Augur decorated with Golden Chariot

The 10th Jubilee award ceremony of Golden Chariot was organized during the largest international transport expositions InnoTrans, held that year in Berlin from September, 23 to September, 26.

Russian closed joint stock company Aeronautical center «Augur» (RosAeroSystems) was awarded as Most Innovative in Sustainable Transport Engineering for the development of Atlant (Atlantos) project.

Mir Transporta (World of Transport and Transportation) Journal informed the readers on that project in Iss.6 (Vol.44, p. 101) in 2012. Atlant is an aircraft of a new generation capable to make a sort of revolution in freightage. It maintains the advantages of airships (long range, large load, economic and ecological efficiency), but allows to get rid of land maintenance facilities, services, hangars (elling), ballasting of an airship while unloading it.

Technical features of the airship will permit to create innovative transport-logistics system, which will make economically feasible exploitation of small and medium mineral fields and deposits, all-year-round delivery of goods to arctic regions. Atlant airships are deemed to be used under severe climatic conditions in the zones without transport infrastructure.

Alexey MITROFANOV,
press representative of CJSC Aeronautical
center Augur
mitrofanov@rosaerosystems.com



EDITORIAL REFERENCE

The Golden Chariot international transport award

The Golden Chariot international transport award is a contest for those who are associated with transport and infrastructure all over the world. The Golden Chariot rewards organizations, companies and people worldwide that make the biggest contributions to the industry. It brings together transport operators of all modes of transportation; transport infrastructure, maintenance, support and logistics companies, transport-related education and legislation organizations, mass media, associations and unions, and prominent transport professionals who have contributed the most to the development of the transport sector and its branches.

The idea behind the Golden Chariot was to set up an international award of a Transport Oscar status that would be presented by the sector, and for the sector.

Golden Chariot was initially started in 2004 as a national transport award of Russia, established under the auspices of the Transport Committee of the Russian State Duma (lower chamber of Parliament) and the Russian Ministry of Transport. By 2010 Golden Chariot had gained an international status of a growing importance. The years that followed have proved that the transport sector of the economy worldwide highly appreciates the establishment of such an international award attracting more and more transport-related businesses. During the ten years since its

establishment, Golden Chariot has grown to become a true and unique Transport Oscar of the World.

To present, its winners in various categories have been over 700 companies, organizations and individuals from 57 countries from Europe, Asia, America, the Middle East and the CIS countries. The Award presentation ceremonies were held in such cities as Istanbul, Moscow, Geneva, Dubai, Odessa, Prague, Tel-Aviv, Gdańsk, Berlin and Budapest. 2014 events were conducted in Trieste, Moscow, Sydney, Berlin and other cities.

The list of nominations is set up, and the Award winners are proposed by the Expert Council made up of recognized transport professionals representing different transport segments of different countries. The Golden Chariot Award winners are also named by transport unions and associations, as well as transport authorities from the countries represented on the Golden Chariot World map.

Its highest decision making body is the Presidium currently chaired by Éva Molnár, Director of Transport Division, United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), and comprises among 16 top-level prominent names in the transport sector Jean-Pierre Loubinoux, Director General of International Union of Railways (UIC) and Tadeusz Szozda, chairman of OSJD Committee. The Expert Council is headed by Dr. Boris A. Lievin, rector of MIIT University.

Web-site of the award
<http://www.transportaward.com>





Неразрушающий контроль: анализ надёжности ПС



Александр ВОРОБЬЁВ
Alexander A. VOROBIEV

Валерий КАРПОВ
Valery A. KARPOV



Сергей СОКОЛОВ
Sergey A. SOKOLOV

Воробьев Александр Алексеевич — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Карпов Валерий Александрович — начальник лаборатории метрологического центра Приволжской железной дороги, Аткарск, Россия.

Соколов Сергей Андреевич — инженер, руководитель группы программирования, МИИТ, Москва, Россия.

В статье изложена методика расчёта показателей безотказности и долговечности деталей подвижного состава по результатам неразрушающего контроля. Апробация ее осуществлена на примере осей колесных пар электровозов ВЛ80. Для расчетов использовались данные, полученные при проведении технического обслуживания электровозов в локомотивных депо Приволжской железной дороги в 2010-2011 гг. Из полученных материалов следует, что наработка до отказа осей колесных пар подчиняется экспоненциальному закону распределения, интенсивность отказов постоянна, и это не предполагает ухудшения их технического состояния с увеличением наработки в пределах до 4,5 млн км, а сами отказы носят случайный (внезапный) характер.

Ключевые слова: железная дорога, тяговый подвижной состав, неразрушающий контроль, колесная пара, локомотив, электровоз ВЛ80, надежность, методика расчета.

На современном этапе развития железнодорожного транспорта с увеличением скоростей движения, ростом интенсивности перевозок и веса поездов обеспечение безопасности движения во многом связано с созданием новых типов тягового подвижного состава (ТПС). Увеличение эксплуатационной надежности, которая достигается за счет необходимого запаса прочности, закладывается при проектировании, а также поддерживается действующей в ОАО «РЖД» планово-предупредительной системой технического обслуживания и ремонта, предусматривающей применение в технологических процессах методов и средств неразрушающего контроля (НК) ответственных узлов и деталей. Обеспечение безопасности движения за счет своевременного обнаружения заводских и усталостных эксплуатационных дефектов в ответственных элементах подвижного состава приносит огромный экономический эффект.

Одним из наиболее распространенных методов НК при производстве ремонта тягового подвижного состава является ультразвуковой. Он основан на изучении и последующем анализе параметров высокочастотных упругих механических колебаний

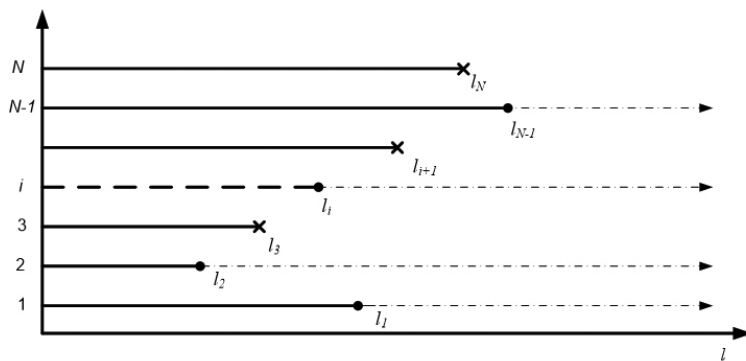


Рис. 1. Представление информации о наработках выборки N деталей в процессе их неразрушающего контроля:
• – деталь работоспособна;
× – неработоспособна (отказ).

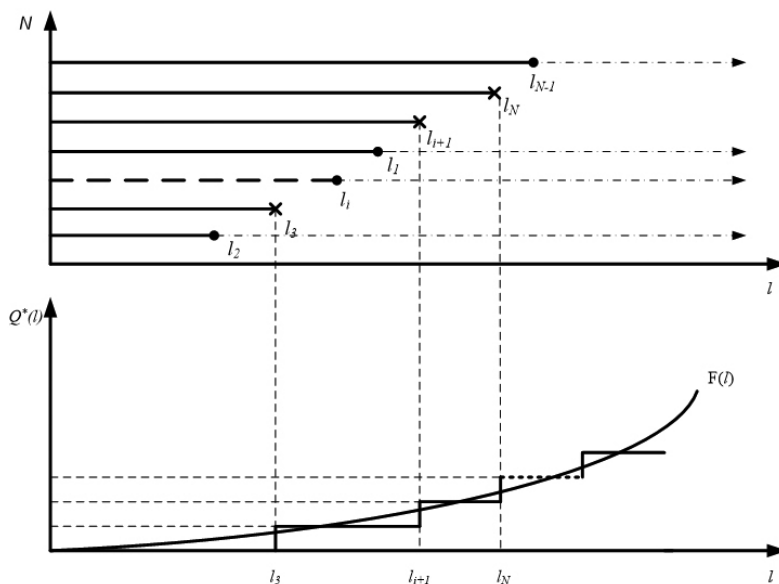


Рис. 2. Вариационный ряд наработок выборки N деталей, подвергнутых неразрушающему контролю, и эмпирическая функция вероятности отказа.

(ультразвуковых волн), прошедших через контролируемое изделие. Ультразвуковой метод применяют для контроля элементов колесной пары: оси, ступицы, бандажа, большого зубчатого колеса. В ходе изготовления, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта подвижного состава железных дорог технологическим процессом предусмотрен немалый объем НК деталей и узлов. Анализ показывает, что его результаты, как правило, ограничиваются оценкой процента брака (вероятности отказа) конкретной детали, обусловленного той или иной причиной.

Партия проконтролированных деталей (выборка) перед или по мере восстановления подвижного состава имеет обычно разную наработку от момента изготовления. Поэтому по информации о результатах НК детали невозможно определить зависимость вероятности отказа от ее наработки. В этом случае

значение процента брака (вероятности отказа) является усредненной точечной оценкой, не позволяющей прогнозировать техническое состояние детали. Если же известна наработка каждой проконтролированной детали из выборки N от момента её изготовления, то информацию о наработках всех N деталей в процессе контроля во времени можно вполне представить графически (рис. 1).

Если наработки на момент контроля N деталей выстроить в вариационный ряд (рис. 2), то полученная информация позволит оценивать точечную оценку вероятности отказа Q^* [1] для конкретного значения наработки.

Вероятность отказа $Q^*(l_i)$ при наработке l_i проконтролированных i деталей, k из которых оказались дефектными, будет:

$$Q^*(l_i) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{N(l_i)}, \quad (1)$$



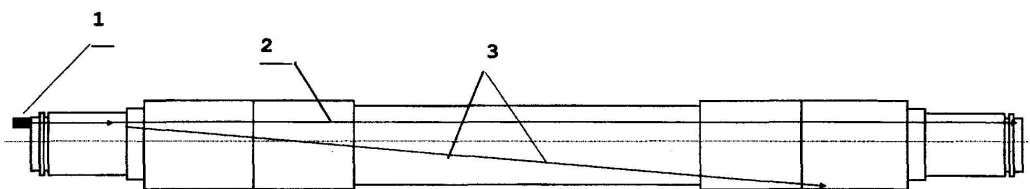


Рис. 3. Акустическая схема контроля дальней подступичной части оси колесной пары электровоза ВЛ 80 и оценка оси на «прозвучиваемость»:
1 – прямой преобразователь; 2 – ось ультразвукового луча; 3 – «боковые» лучи.

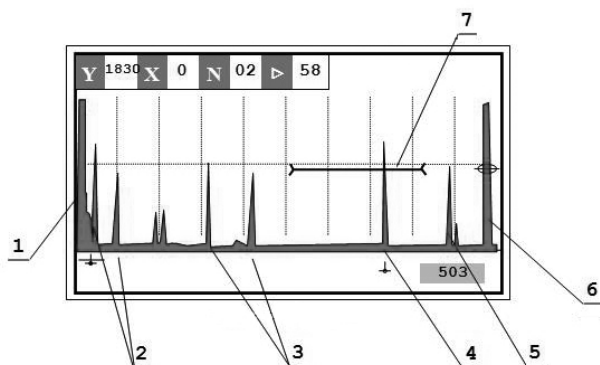


Рис. 4. Сигналы на экране ультразвукового дефектоскопа УД2–102:
1 – передний фронт зондирующего импульса; 2 – сигналы от кромок колец подшипников на шейке оси; 3 – помехи от кромок колесного центра и внутренней галтели подступичной части оси (с учетом трансформации луча продольной волны в поперечную); 4 – сигнал от трещины в зоне под внутренней кромкой ступицы дальнего колеса; 5 – сигнал от галтели шейки оси; 6 – «донный» сигнал; 7 – зона контроля.

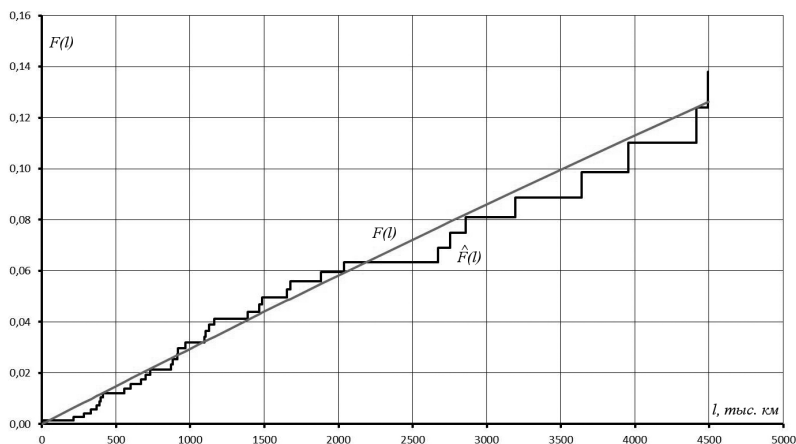


Рис. 5. Эмпирическая и теоретическая экспоненциальная функция распределения наработки до отказа оси колёсной пары.

где i – номер (в вариационном ряду) отказавшей детали;

l_i – наработка до отказа детали;

$N(l_i)$ – количество деталей, находящихся под наблюдением при наработке l_i и с учётом отказавших до наработки l_i ;

k – количество деталей, отказавших до наработки l_i .

Совокупность точечных оценок вероятности отказа детали, полученных при разных наработках, позволяет построить эмпирическую зависимость её от наработки (эмпирическую функцию распределения наработки до отказа $\hat{F}(l)$). При объединении информации n выборок, каждая из которых представляет N одноимённых дета-

Таблица 1

Расчётные значения показателей безотказности осей колёсных пар электровозов ВЛ 80

Наработка до от-каза I , тыс. км	Кол-во осей ко-лёсных пар $N(I)$	Приращение наработки ΔI , тыс. км	Приращение эмпирической функции распре-деления $\Delta F(I)$	Приращение эмпирической функции плот-ности наработки до отказа $\Delta f(I)$, 1/тыс. км	Расчётное значение интенсивности отказов $\lambda(I)$, 1/тыс. км
1	2	3	4	5	6
4,849	734	4,849	0,001362398	0,00028096	0,00028135
213,57	701	208,721	0,001426534	0,00000683	0,00000685
283	679	69,43	0,001472754	0,00002121	0,00002130
332,291	663	49,291	0,001508296	0,00003060	0,00003078
372	635	39,709	0,001574803	0,00003966	0,00003995
390,117	629	18,117	0,001589825	0,00008775	0,00008854
398,5	625	8,383	0,0016	0,00019086	0,00019289
414,9	619	16,4	0,001615509	0,00009851	0,00009972
558,114	581	143,214	0,00172117	0,00001202	0,00001219
601,45	568	43,336	0,001760563	0,00004063	0,00004127
670,432	543	68,982	0,001841621	0,00002670	0,00002717
702,517	532	32,085	0,001879699	0,00005858	0,00005974
732,9	522	30,383	0,001915709	0,00006305	0,00006442
873,329	484	140,429	0,002066116	0,00001471	0,00001506
882,6	480	9,271	0,002083333	0,00022472	0,00023058
914,798	470	32,198	0,00212766	0,00006608	0,00006795
920,366	468	5,568	0,002136752	0,00038376	0,00039550
969,95	458	49,584	0,002183406	0,00004403	0,00004548
1097,209	429	127,259	0,002331002	0,00001832	0,00001897
1107,16	428	9,951	0,002336449	0,00023480	0,00024370
1129,356	422	22,196	0,002369668	0,00010676	0,00011108
1163,952	414	34,596	0,002415459	0,00006982	0,00007283
1388,631	376	224,679	0,002659574	0,00001184	0,00001238
1467,024	354	78,393	0,002824859	0,00003603	0,00003780
1486,241	352	19,217	0,002840909	0,00014783	0,00015556
1652,679	316	166,438	0,003164557	0,00001901	0,00002007
1675,37	315	22,691	0,003174603	0,00013991	0,00014820
1884,324	281	208,954	0,003558719	0,00001703	0,00001811
2039,842	256	155,518	0,00390625	0,00002512	0,00002682
2672,298	178	632,456	0,005617978	0,00000888	0,00000954
2754,921	174	82,623	0,005747126	0,00006956	0,00007518
2857,441	163	102,52	0,006134969	0,00005984	0,00006511
3194,424	130	336,983	0,007692308	0,00002283	0,00002505
3640,6	101	446,176	0,00990099	0,00002219	0,00002462
3957,154	86	316,554	0,011627907	0,00003673	0,00004128
4414,488	72	457,334	0,013888889	0,00003037	0,00003467
4494,158	72	79,67	0,013888889	0,00017433	0,00020223

лей, подвергнутых неразрушающему контролю, получим выборку $n \times N$ достаточ-но большого объема, что даст существенно повысить достоверность оценки эмпири-ческой функции распределения наработки до отказа.

По полученной в процессе контроля усеченной справа представительной выборке наработок до отказа рассматриваемой детали необходимо определить вид и пара-

метры закона распределения наработки до отказа [1], то есть построить теоретиче-скую функцию её распределения $F(I)$.

Усечение выборки обуславливается тем, что вероятность того, что в выборке про-контролируемых деталей все они ока-жутся бракованными, практически равна нулю.

По теоретической функции распреде-ления наработки до отказа становится



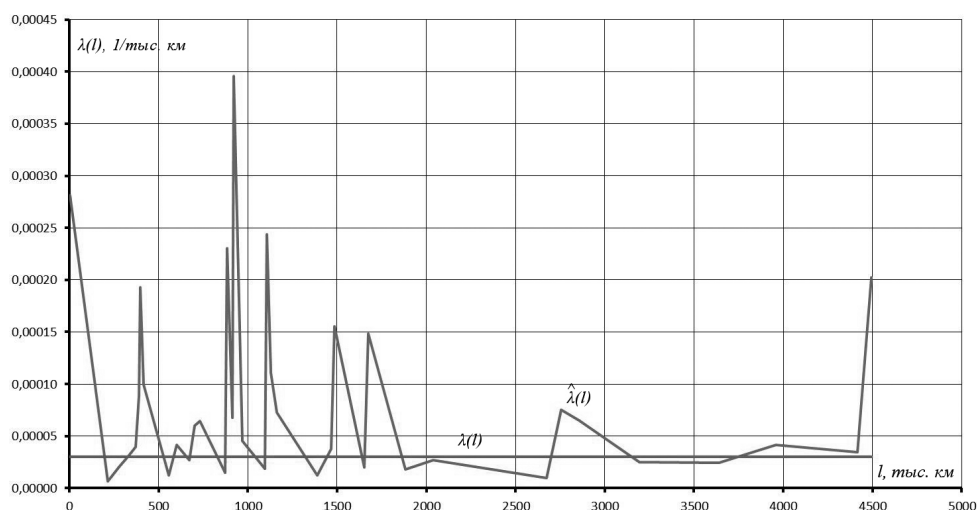


Рис. 6. Зависимости от наработки интенсивности отказов осей колёсных пар.

возможным определять показатели безотказности и долговечности [2] рассматриваемой детали. Апробация предложенной методики осуществлена по информации о результатах НК осей колёсных пар электровозов. Из 734 проконтролированных деталей, имеющих различную наработку (от 5 до 4,5 млн км), обнаружено 37 дефектных. Контроль на предприятиях проводился в соответствии с нормативной документацией, технологической картой, которая создана на основе стандартов ОАО «РЖД» и типовых инструкций по НК. Современные ультразвуковые дефектоскопы, в частности УД2–102, позволяют достоверно определять координаты залегания и условные размеры дефекта. Технология контроля заключается в подготовке дефектоскопа, настройке на определенную зону оси, установке преобразователя на поверхность контролируемого участка и его перемещении по заданной траектории (рис. 3).

При наличии брака на пути распространения ультразвуковой волны часть её отражается от дефекта и попадает на преобразователь, вследствие чего на экране дефектоскопа отображается сигнал в виде амплитуды (рис. 4).

На основании выборки наработок осей колёсных пар электровозов ВЛ 80 от начала их эксплуатации до момента проведения НК рассчитана усечённая эмпирическая функция распределения (таблица 1, рис. 5).

По эмпирической функции (рис. 5) методом наименьших квадратов определены вид и параметры закона распределения $F(l)$, наилучшим образом описывающего экспериментальные данные наработок до отказа [1] по результатам неразрушающего контроля осей колёсных пар электровозов.

Установлено, что полученная выборка наработок до отказа колёсных пар на интервале их контроля от 0 до 4,5 млн км подчиняется экспоненциальному закону распределения с постоянной интенсивностью отказа $\lambda=0,00003$ 1/тыс. км (рис. 6).

При достижении наработки осей колёсных пар 4,5 млн км примерно 14% их отказывает. Так как скорость отказов на рассматриваемом интервале остаётся постоянной, есть основание сделать вывод, что срок службы осей колёсных пар не исчерпан, при наработке они не достигают предельного состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горский А. В., Воробьёв А. А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. — М.: Транспорт, 1994. — 208 с.
2. Горский А. В., Воробьёв А. А. Надёжность электроподвижного состава. — М.: Маршрут, 2005. — 302 с.
3. Скрипник В. М., Назин А. Е. Оценка надёжности технических систем по цезурированным выборкам. — Минск: Наука и техника, 1981. — 143 с.
4. Смит Д. Дж. Безотказность, ремонтпригодность и риск: Пер. с англ. — М.: Группа ИДТ, 2007. — 432 с.
5. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям: Пер. с англ. — М.: Статистика, 1980. — 95 с. ●

NON-DESTRUCTIVE CONTROL: ANALYSIS OF ROLLING STOCK RELIABILITY

Vorobiev, Alexander A. – D. Sc. (Tech.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Karpov, Valery A. – head of laboratory of metrology center of Privolzhskaya railway – a subsidiary to JSC Russian railways, Atkarsk, Russia.

Sokolov, Sergey A. – engineer, head of programming group, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

In the article the authors evaluate critically the existing calculation method of reliability and durability of rolling stock's component parts basing on the results of non-destructive control and propose corrections which can make it more effective. Probability of failures at different running time, their empirical correlations were determined taking into account the distribution function. Results of testing of wheel set axles reliability calculations are given at the example of locomotives VL80 using the described technique. For calculations the authors used data obtained during maintenance of electric locomotives at locomotive depots of Privolzhskaya railway in 2010-2011. The calculations show that the running time to failure of wheel set axles obeys an exponential distribution law, the failure rate is constant, which means that the deterioration of their technical condition with increasing operating time of up to 4.5 million km does not occur, and failures are of random (sudden) character.

ENGLISH SUMMARY

Background. At the present stage of railway transport development, with increasing speeds, growth of intensity of transportation and weight of trains, the crucial task of ensuring safety is solved via the introduction of a new type of traction rolling stock (hereinafter-TRS). Increase in operational reliability, which is achieved through the necessary safety margin, is laid at the design stage, as well as is ensured by schedule preventative system of maintenance and repair implemented by JSC «Russian Railways», providing the application of methods of nondestructive control (hereinafter- NC) of main units and parts in technological processes. The formation and growth of defects during the operation threaten trouble-free

operation of the rolling stock. Ensuring of traffic safety through the timely detection of fatigue and factory operational defects in the critical elements of the rolling stock brings a huge economic impact. The solution to this problem is achieved by modern physical methods of NC.

One of the most common NC methods in maintenance of traction rolling stock is an ultrasonic method. This method is based on the emission and the subsequent analysis of the parameters of high-frequency elastic mechanical oscillations (ultrasound waves) passed through a controlled product. Ultrasonic method is used to control elements of the wheel set: axle, spider centre, rim, large gear. During manufacture, operation, maintenance and repair of railway rolling stock technological process provides a considerable amount of NC control tests of component parts and assemblies. The analysis shows that its results are usually limited to the assessment of defect ratio (probability of failure) of a specific part, due to one reason or another.

Objective. The objective of the authors is to calculate the parameters of reliability and optimal timing of repair based on the results of diagnostic of units and component parts of the rolling stock with the use of various types of non-destructive control.

Methods. The authors use analytical method, engineering methods, and method of non-destructive control.

Results. Any set of inspected component parts (sample) before or while repair of the rolling stock usually has different running time from the date of manufacture. Therefore, according to the information on the results of NC of a part it is impossible to determine the dependence of probability of failure on its running time. In this case, the defect ratio (probabil-

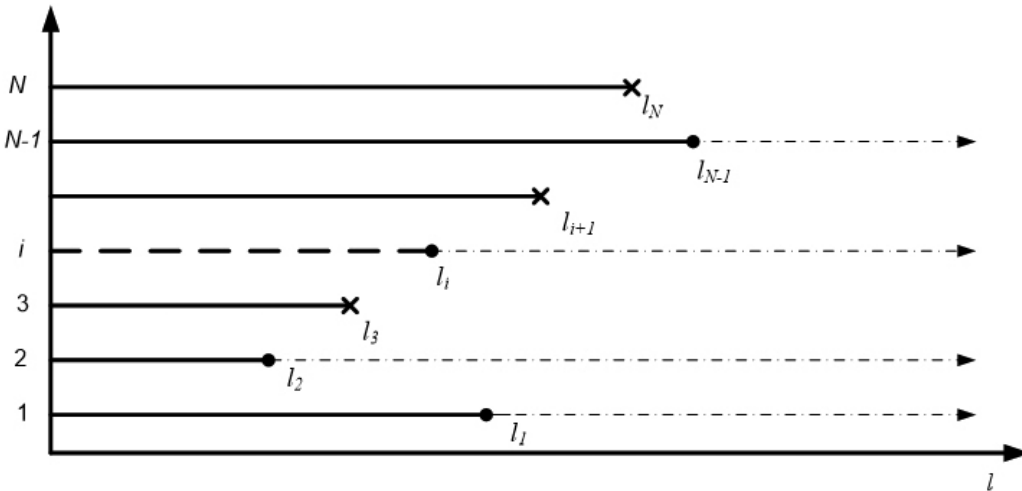


Fig. 1. Information on the running time of the sample of N component parts in the process of non-destructive control:

• – functioning component part; x – nonfunctioning component part (failure).



ity of failure) is the average point estimate, which does not allow us to predict the technical condition of a component part. If we know running time of each inspected component part out of a sample N from the moment of its production, the information on the running time of all N component parts in the process of monitoring over time can be presented graphically (Pic. 1).

If the running time to the moment of control of N component parts are presented as an ordered series (Pic. 2), the resulting information will assess point estimate of failure probability Q^* [1] for a particular value of running time.

The failure probability $Q^*(l_i)$ at running time l_i of i inspected component parts, k of which proved to be defective, will be:

$$Q^*(l_i) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{N(l_i)}, \quad (1)$$

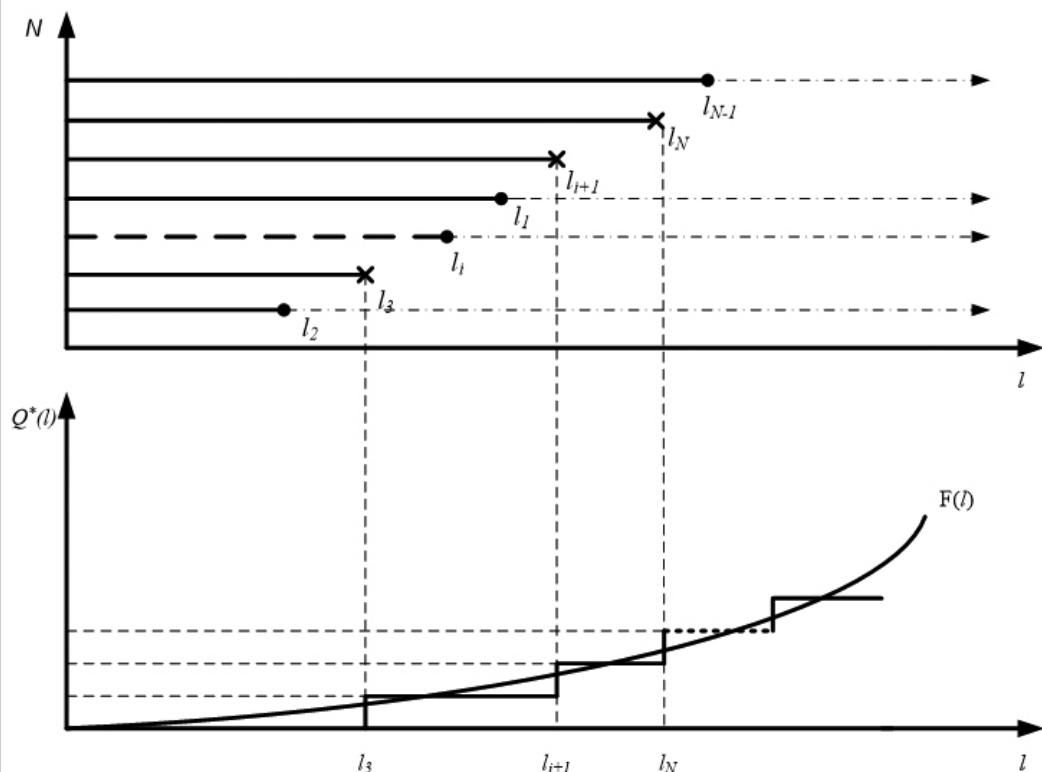
where i is a serial number (in the ordered series) of a failed component part;

l_i is running time to failure of a component part;

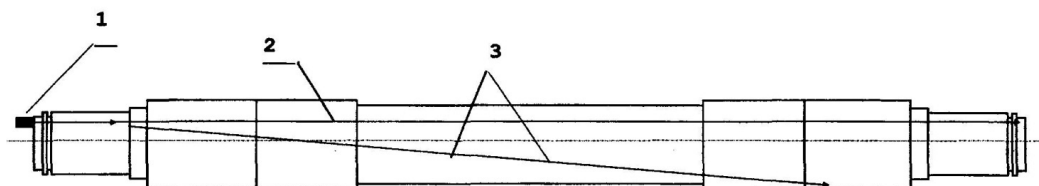
$N(l_i)$ is a number of component parts under observation at running time l_i and with account of component parts failed to running time l_i ;

k is a number of component parts, failed to running time l_i .

A set of point estimates of the probability of failure of a component part, obtained at different running time, makes it possible to construct an empirical dependence on its running time (empirical function of distribution of running time to failure $F(l)$). When combining information of n samples, each of which represents N component parts of the same name submitted to non-destructive control, we obtain a sample $n \times N$ of sufficiently large volume,

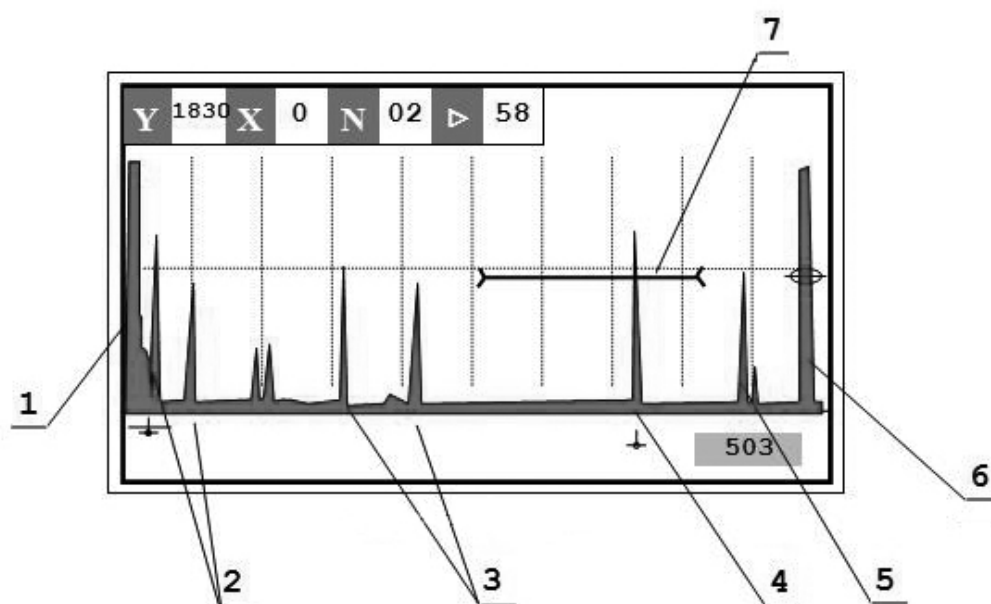


Pic. 2. Ordered series of running time of sample of N component parts submitted to non-destructive control, and empirical function of probability of failure.

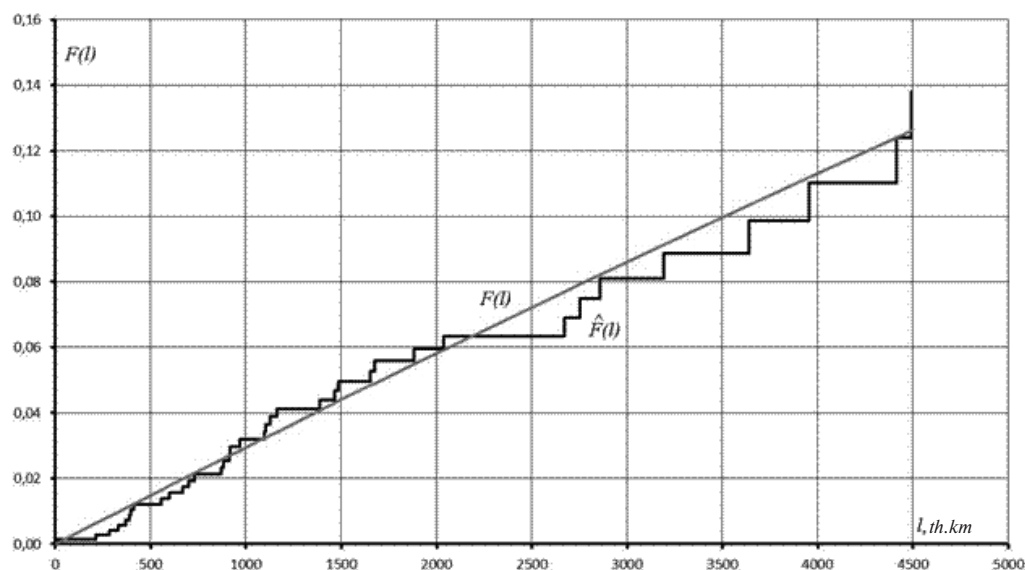


Pic. 3. Acoustic control scheme of a far axle set of a wheel set of an electric locomotive VL80 and evaluation of an axle on «ensoundness» (ed.note: term of the authors to define the level of propagation of sound signal through the controlled axle).

1 – direct converter; 2 – axis of an ultrasonic beam; 3 – «side» beams.



Pic. 4. Signals on the screen of the ultrasonic flaw detector UD2-102:
 1 – leading edge of the probe pulse; 2 – signals from the edges of the bearing rings on the axle neck; 3 – interference from the edges of the wheel center and the inner fillet of an axle set (given transformation of a beam of a longitudinal wave to a cross wave); 4 – a signal from a crack in the area below the inner edge of a spider centre of a far wheel; 5 – a signal from a fillet of axle neck; 6 – «bottom» signal; 7 – control zone.



Pic. 5. Empirical and theoretical exponential function of running time distribution to failure of the wheel set axle.

which will significantly improve the accuracy of the estimation of the empirical function of running time distribution to failure.

According to representative sample of running time to failure of a considered component part, which is right truncated and received in the control process, it is necessary to determine a type and parameters of the distribution of running time to

failure [1], that is to construct a theoretical function of its distribution $F(l)$.

Truncation of a sample is determined by the fact that the probability, that in a sample of inspected component parts all of them will be defective, is practically zero.

With the use of the theoretical function of running time distribution to failure, it becomes possible



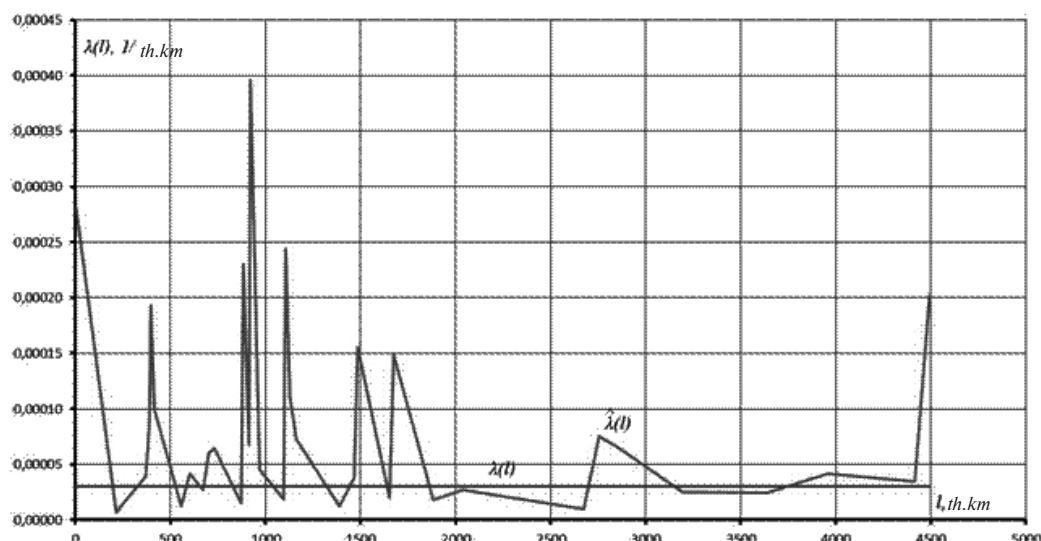


66

Table 1

Calculated values of reliability parameters of wheelsets axes of electric locomotives VL80

Running time to failure I , th. km	Number of wheel sets axes $N(I)$	Increment of running time ΔI , th. km	Increment of empirical distribution function $\Delta F(I)$	Increment of the empirical function of running time density to failure $\Delta f(I)$, 1 / th. km	Calculated value of failure rate $\lambda(I)$, 1 / thousand. km
1	2	3	4	5	6
4,849	734	4,849	0,001362398	0,00028096	0,00028135
213,57	701	208,721	0,001426534	0,00000683	0,00000685
283	679	69,43	0,001472754	0,00002121	0,00002130
332,291	663	49,291	0,001508296	0,00003060	0,00003078
372	635	39,709	0,001574803	0,00003966	0,00003995
390,117	629	18,117	0,001589825	0,00008775	0,00008854
398,5	625	8,383	0,0016	0,00019086	0,00019289
414,9	619	16,4	0,001615509	0,00009851	0,00009972
558,114	581	143,214	0,00172117	0,00001202	0,00001219
601,45	568	43,336	0,001760563	0,00004063	0,00004127
670,432	543	68,982	0,001841621	0,00002670	0,00002717
702,517	532	32,085	0,001879699	0,00005858	0,00005974
732,9	522	30,383	0,001915709	0,00006305	0,00006442
873,329	484	140,429	0,002066116	0,00001471	0,00001506
882,6	480	9,271	0,002083333	0,00022472	0,00023058
914,798	470	32,198	0,00212766	0,00006608	0,00006795
920,366	468	5,568	0,002136752	0,00038376	0,00039550
969,95	458	49,584	0,002183406	0,00004403	0,00004548
1097,209	429	127,259	0,002331002	0,00001832	0,00001897
1107,16	428	9,951	0,002336449	0,00023480	0,00024370
1129,356	422	22,196	0,002369668	0,00010676	0,00011108
1163,952	414	34,596	0,002415459	0,00006982	0,00007283
1388,631	376	224,679	0,002659574	0,00001184	0,00001238
1467,024	354	78,393	0,002824859	0,00003603	0,00003780
1486,241	352	19,217	0,002840909	0,00014783	0,00015556
1652,679	316	166,438	0,003164557	0,00001901	0,00002007
1675,37	315	22,691	0,003174603	0,00013991	0,00014820
1884,324	281	208,954	0,003558719	0,00001703	0,00001811
2039,842	256	155,518	0,00390625	0,00002512	0,00002682
2672,298	178	632,456	0,005617978	0,00000888	0,00000954
2754,921	174	82,623	0,005747126	0,00006956	0,00007518
2857,441	163	102,52	0,006134969	0,00005984	0,00006511
3194,424	130	336,983	0,007692308	0,00002283	0,00002505
3640,6	101	446,176	0,00990099	0,00002219	0,00002462
3957,154	86	316,554	0,011627907	0,00003673	0,00004128
4414,488	72	457,334	0,013888889	0,00003037	0,00003467
4494,158	72	79,67	0,013888889	0,00017433	0,00020223



Pic. 6. Dependencies of failure rate of wheelsets axes on running time.

to determine parameters of reliability and durability [2] of a considered component part. Testing of the proposed method was performed on information about the results of NC of wheel sets axes of electric locomotives. 37 defective component parts were found out of 734 inspected component parts with different running time (from 5 to 4,5 million km). NC at the enterprises was carried out in accordance with the regulatory documentation, process chart, which is based on the standards of JSC «Russian Railways» and standard instructions for NC. Modern ultrasonic flaw detectors, in particular UD2–102 allow us to reliably determine the location of occurrence and conventional dimensions of a defect. Technique of control test provide for how to prepare a flaw detector, to tune it to a certain control zone of an axle, to install a converter on the surface of a controllable section and move it along the desired path (Pic. 3).

When there is a defect in the propagation path of the ultrasonic wave, a part of it is reflected from the defect and enters the converter, whereby a signal is displayed on a flaw detector screen as amplitude (Pic. 4).

Keywords: railway, traction rolling stock, non-destructive control, wheel set, locomotive, reliability, method of calculation.

REFERENCES

1. Gorskiy, A.V., Vorobiev, A. A. Optimization of locomotives repair system [Optimizatsiya sistemy remonta lokomotivov]. Moscow, Transport publ., 1994, 208 p.
2. Gorskiy, A.V., Vorobiev, A. A. Reliability of electric rolling stock [Nadezhnost' elektropodvizhnogo sostava]. Moscow, Marshrut publ., 2005, 302 p.
3. Skripnik, V.M., Nazin, A. E. Assessment of reliability of technical systems on censored samples

Based on a sample of running time of wheel set axles of electric locomotives VL80 from the beginning of their operation to the time of NC, truncated empirical distribution function was calculated (Table 1, Pic. 5).

The empirical function (Pic. 5) together with the method of least squares make it possible to determine a kind and parameters of the distribution law $F(t)$, best describing the experimental data of running time to failure [1] as a result of non-destructive control of wheel sets axes of electric locomotives.

It is found that the obtained sample of running time to failure of wheel sets on the range of their control from 0 to 4,5 million km abides by an exponential distribution law with a constant failure rate $\lambda = 0,00003$ 1 / th. km (Pic. 6).

Conclusion. When running time of wheel sets axes reaches 4,5 million km about 14% of wheel sets axes fail. Since the speed of failures in the interval of running time under consideration remains constant, we can conclude that service lifetime of the axes of wheel sets within that range is not exhausted; they do not reach the limit state of their technical reliability.

[Otsenka nadezhnosti tekhnicheskikh sistem po tsenzurirovannym vyborkam]. Minsk, Nauka i tekhnika publ., 1981, 143 p.

4. Smith, David J. Reliability, maintainability and risk [Translated from English. Russian title: Bezotkaznost', remontoprigradnost' i risk]. Moscow, Gruppya IDT publ., 2007, 432 p.

5. Hastings, N., Peacock, J. Statistical distributions [Translated from English. Russian title: Spravochnik po statisticheskim raspredeleniyam]. Moscow, Statistika publ., 1980, 95 p.

Координаты авторов (contact information): Воробьев А. А. (Vorobiev, A.A.) – vorobyov-a@yandex.ru, Карпов В. А. (Karpov, V.A.) – karpova_va@mail.ru, Соколов С. А. (Sokolov, S.A.) – ssa@raps.edu.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 02.07.2014, rev. 09.09.2014
Принята к публикации / article accepted 15.10.2014





Непрерывные измерения вертикальных сил взаимодействия пути и подвижного состава



Зиновий ШУЛЬМАН

Zinovy A. SHULMAN

Разработаны и доведены до практического применения методика непрерывных измерений и динамометрические колесные пары, позволяющие с достаточно высокой степенью точности определять динамические вертикальные нагрузки железнодорожного подвижного состава на путь (взаимодействие элементов системы «экипаж-путь»).

Ключевые слова: железная дорога, система «экипаж-путь», силы взаимодействия, методика измерений, магнитоупругий датчик, динамометрическое колесо.

Шульман Зиновий Александрович – кандидат технических наук, технический директор корпорации «Промстальконструкция», Днепропетровск, Украина.

Актуальность изучения сил взаимодействия пути и подвижного состава определяется необходимостью изыскания резервов в работе системы «экипаж-путь», повышения прочности и надежности всех ее звеньев, а также корректировки норм содержания и оценки состояния пути.

Один из подходов к решению этого вопроса (предложен проф. М. Ф. Вериго и разработан А. К. Шафрановским [1]) заключался в том, что о величине действующих сил между колесом и рельсом можно судить по деформациям некоторых участков спицы или диска железнодорожного колеса.

Анализ эффективности подхода выявил ряд существенных недостатков, главные из которых следующие: погрешности, вызванные одновременным действием на колесо поперечных (горизонтальных) сил; погрешности из-за изменения эксцентриситета контакта колеса с рельсом; значительное удаление мест размещения тензорезисторов от точки контакта колеса с рельсом, что сказывается на точности измерения при больших скоростях движения вертикальных сил взаимодействия.

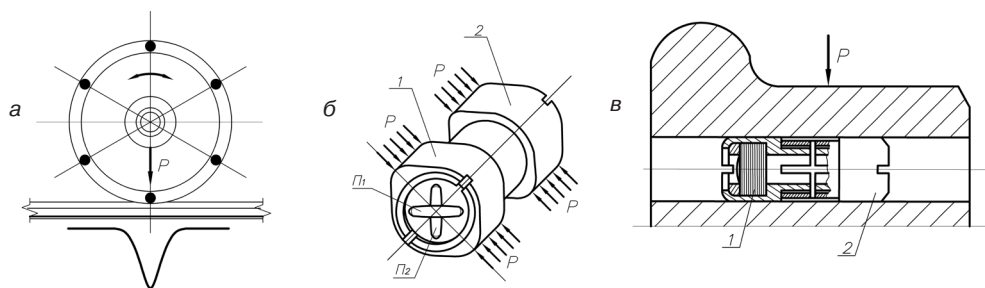


Рис. 1. Динамометрическая колесная пара:
а – функциональная схема; б – магнитоупругий силоизмерительный датчик; в – положение датчика в ободке колеса; 1, 2 – упругие элементы датчика; П1, П2 – обмотки преобразователя.

Разработанная нами методика и созданные для ее реализации средства измерений позволяют не только получать информацию о вертикальных силах взаимодействия практически на неограниченных по длине участках пути, но и значительно повысить точность самих измерений.

Предложенную методику отличает то, что с целью непрерывной регистрации вертикальных сил, действующих между колесом и рельсом, силоизмерительный датчик устанавливается (запрессовывается) в отверстие, рассточенное в ободке колеса. При этом датчик регистрирует силы в зоне, близко расположенной к контакту колеса с рельсом. Такое размещение регистратора позволяет значительно уменьшить погрешность оценки действующих на колесо боковых сил и изменения эксцентриситета контакта колеса с рельсом, которая неизбежно возникает при его качении. Кроме того, расположение датчика вблизи поверхности катания колеса дает возможность значительно расширить частотный диапазон регистрируемых нагрузок, что позволяет измерять силы соударения колеса с рельсом, возникающие при перекатывании через короткие неровности и стыки рельсов, силы в колесе с ползуном и тому подобное.

Количество силоизмерительных датчиков в колесе определяет характер регистрации действующих сил. Принятый угловой интервал между датчиками, равный 60 при диаметре железнодорожного колеса 950 мм, позволяет получать информацию о величине сил взаимодействия через 1/6 оборота колеса, т. е. практически непрерывную картину сил вдоль всего участка пути. При

установке в одной тележке двух колесных (динамометрических) пар информацию о вертикальных силах можно получать с меньшим интервалом и по обоим рельсовым нитям.

В качестве силоизмерителей в динамометрическом колесе используются датчики силы с магнитоупругим преобразователем (магнитоупругие датчики), которые отличаются высокой чувствительностью, стабильностью, простотой конструкции, прочностью и жесткостью упругого элемента. Принцип работы этих преобразователей основан на использовании физического явления, связанного с изменением магнитных свойств ферромагнетика под действием приложенной к нему механической нагрузки [2].

В разработанном магнитоупругом силоизмерительном датчике применен магнитоупругий преобразователь трансформаторного типа. В таких преобразователях цепи питания (первичная обмотка) и цепи с контрольно-измерительными устройствами (вторичная обмотка) разобщены, их контакт между собой обеспечивается исключительно магнитной связью. При ее наличии между первичной и вторичной обмотками преобразователя возможны высокие коэффициенты трансформации, а с ними и выходной сигнал повышенного напряжения.

Общий вид магнитоупругого силоизмерительного датчика и положение его в ободке колеса изображены на рис. 1.

Подготовленные и проградуированные на специальном стенде силоизмерительные датчики запрессовываются в обод колеса в специально подготовленные отверстия.



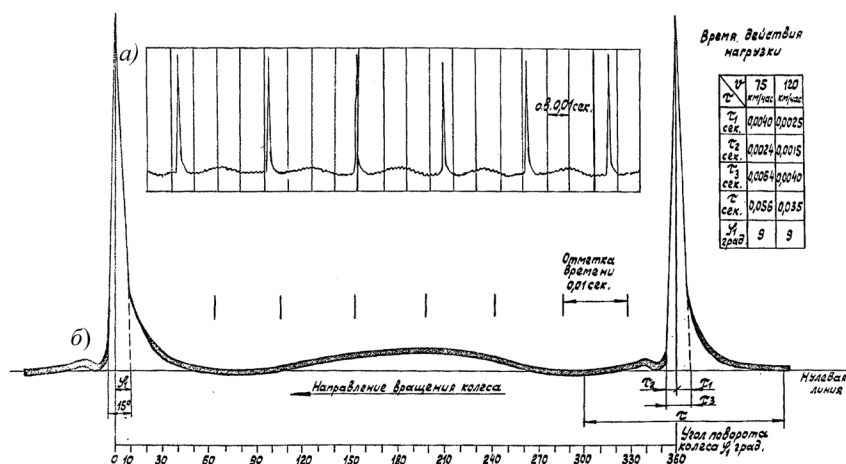


Рис. 2. Выходной сигнал силоизмерительного датчика при непрерывном вращении колеса:
а – фрагмент осциллограммы записи;
б – развернутая форма выходного сигнала.

Продольная ось отверстия выполняется с уклоном 1:20, равным уклону неизношенной поверхности катания колеса.

Перед запрессовкой обод в зоне отверстия разогревают до температуры 200–220°С. Затем в отверстие вставляют датчик. Как показал опыт, после остывания датчик обжимается усилием 10–15 кН, что значительно улучшает условия его работы и повышает линейность его характеристик.

Основные регулировочные характеристики магнитоупругих преобразователей снимаются на стенде в лабораторных условиях. По ним выбирают оптимальные параметры работы датчиков в динамометрическом колесе, обеспечивающие наилучшую линейность, максимальную чувствительность и стабильность во времени.

Статическими характеристиками динамометрической колесной пары являются: зависимость выходного сигнала магнитоупругого силоизмерительного датчика от приложенной к колесу нагрузки; погрешность, вносимая в результат измерения вертикальной нагрузки действием боковой (горизонтальной) силы; влияние на результат фиксируемых изменений в процессе вращения колеса эксцентриситета приложения вертикальной силы к поверхности его катания.

Выходная характеристика магнитоупругого датчика при приложении к колесу различной по величине вертикаль-

ной нагрузки P определяется градуировкой на стенде запрессованных в колесо силоизмерительных датчиков путем медленного нагружения динамометрической колесной пары вертикальным усилием. При этом колесная пара устанавливается таким образом, чтобы вертикальная ось датчика проходила через центр эллипса контакта колеса и рельса. Величина приложенной к колесу вертикальной нагрузки контролируется высокоточной тензометрической мерзодозой. Как показали результаты градуировки, датчики имеют линейную выходную характеристику в рабочем диапазоне измеряемых нагрузок. Упругого гистерезиса не наблюдается.

Влияние эксцентриситета приложения нагрузки на выходной сигнал датчика находится путем нагружения динамометрического колеса вертикальной силой с различным эксцентриситетом. Изменение положения эксцентрично приложенной силы производится сдвижкой рельса относительно теоретического круга катания колеса. Величина эксцентриситета контролируется по отisku на бумаге, прокладываемой между рельсом и колесом.

Влияние боковой силы H на результаты измерений вертикальной нагрузки определяется путем нагружения колесной пары поочередно вертикальной и боковой силами и совместным действием этих сил. Боковая сила прикладывается к гребню динамометрического колеса с помощью специ-

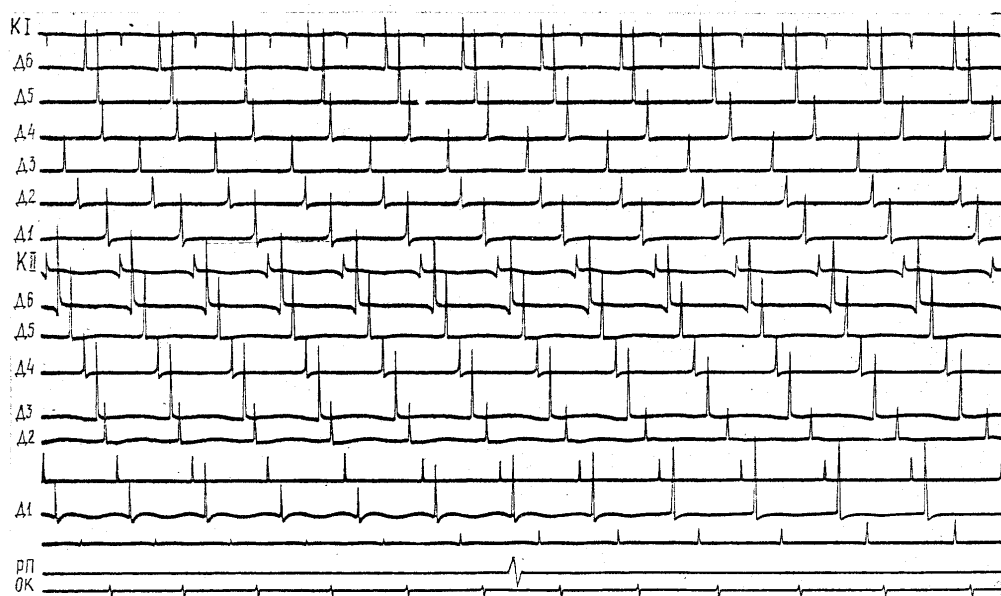


Рис. 3. Фрагмент записи сил взаимодействия при $v = 80$ км/ч:
KI, KII – динамометрические колеса колесной пары;
Д1... Д6 – силоизмерительные датчики;
РП – репер пути; ОК – отметка оборота колеса.

ального нагрузочного устройства. Разработанное для этих целей, оно позволяет производить совместное нагружение динамометрической колесной пары боковой и вертикальной силами.

Результаты экспериментальных исследований показали, что погрешность от действия боковой силы на динамометрическое колесо является систематической. Вместе с тем, ввиду малого влияния (от 3,2 до 4,0% в самом неблагоприятном варианте) эту погрешность можно рассматривать и как случайную, приведя ее к среднеарифметическому значению боковой силы, измеренной на опытном участке пути.

На рис. 2а представлен результат градуировки датчика динамометрического колеса, полученный путем медленного (квазистатического) его вращения. В развернутом виде форма выходного сигнала датчика изображена на рис. 2б.

По результатам расчетно-экспериментальных исследований определены оптимальные технические характеристики измерительной системы:

- диаметр динамометрического колеса, мм – 950;
- число силоизмерительных датчиков в одном колесе, шт. – 6;
- пределы измеряемых усилий, кН – 0...180;

- интервал регистрации вертикальных сил вдоль пути, м – 0,5;

- частота исследуемого процесса, Гц – 0... 600;

- максимальная скорость, км/ч – 120;

- частота тока намагничивания преобразователей, кГц – 15–30;

- напряжение питания преобразователей, В – 24;

- ток намагничивания одного преобразователя, мА – 250;

- чувствительность, кН/мм – не менее 3,0;

- допустимая температура окружающей среды, °С – от –20 до +60;

- способ регистрации – отдельный по каждому датчику;

- максимальная относительная погрешность регистрации сил, % – 4,5.

Натурные испытания измерительной системы проводились на опытном перегоне. Специально подготовленный участок длиной 5 км имел отличную оценку состояния пути.

Измерения вертикальных сил на этом участке производились с помощью динамометрических колесных пар, установленных в тележках ЦНИИ-Х-3-О четырехосного грузового полувагона, являющегося наиболее массовым типом подвижного состава. Опытный груженный полувагон



Таблица 1

Результаты измерений вертикальных нагрузок

Скорость, км/ч	Ось	Вертикальные силы, кН			Среднеквадратичное отклонение, кН	Число опытов
		Pcp	Pmax	Pmin		
3	I	119,3	137,0	101,6	9,0	103
	II	122,6	148,5	96,7	13,2	115
	III	93,3	136,6	50,1	22,1	90
40	I	109,3	139,8	78,8	15,6	136
	II	122,6	143,8	98,9	10,8	94
	III	90,0	128,9	51,2	19,9	106
80	I	105,4	142,4	68,3	18,9	128
	II	118,8	165,1	72,4	23,6	115
	III	89,0	175,0	13,5	43,9	95

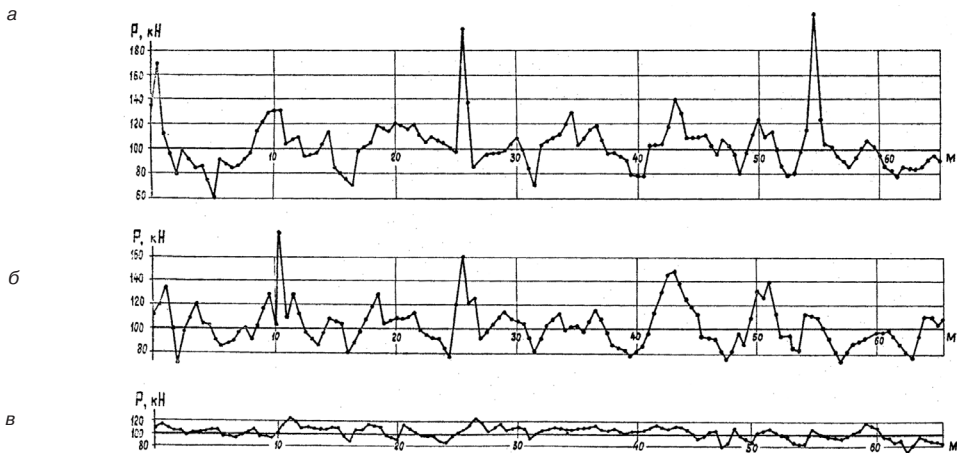


Рис. 4. Изменение сил по длине пути на участке без искусственных неровностей при: а – скорости движения 80 км/ч; б – 40 км/ч; в – 3 км/ч (точки измерений соединены условно).

включался в состав специально сформированного испытательного поезда, состоящего из двух секций тепловоза ТЭ-3, пассажирского вагона-лаборатории и вагона-электростанции.

Вертикальные силы измерялись под шестью колесами трех динамометрических колесных пар.

С целью изучения влияния неравномерного износа колес на величину сил взаимодействия динамометрическая колесная пара одной из осей имела естественный износ. Колесные пары двух других перед подкаткой их под опытный вагон прошли обточку.

Проверка в натурных условиях измерительной системы показала, что она достаточно надежна. За время испытаний опытный

вагон прошел более 6000 км, тем не менее не было случаев существенных поломок аппаратуры или выхода из строя датчиков и токосъемников. Динамометрические колесные пары удовлетворительно работали при всех скоростях движения поезда.

На рис. 3 представлен фрагмент одной из записей сил, действующих между динамометрической колесной парой и опытным участком пути.

Впервые была продемонстрирована возможность определения вертикальных динамических сил взаимодействия пути и подвижного состава сил на широком фронте (большой протяженности) железной дороги. При этом удалось при их регистрации приблизиться к зоне контакта колеса и рельса.

График изменения сил по длине пути показан на рис. 4.

Данные статистической обработки значений вертикальных сил взаимодействия между колесами опытного вагона и рельсами опытного участка представлены в таблице 1. Как из нее следует, средние значения этих сил близки к среднеосевым нагрузкам, которые были получены в результате развески опытного вагона. Увеличение скорости движения поезда, по предварительной оценке, не приводит к росту средних значений сил на прямом участке пути при отсутствии существенных на нем неровностей.

Гистограммы и кривые нормального распределения сил при разных скоростях движения опытного поезда приведены на рис. 5.

Установлено, что на неровностях, имеющих различную балльную оценку состояния пути, вертикальные силы, действующие на рельс, оказались близкими по величине. При этом максимальные коэффициенты сил, возникающих из-за наличия в пути детерминированных неровностей (неисправностей III–IV степеней), не превышают 1,4–1,5.

Наибольшие вероятные силы, вызванные неравноупругостью пути, на 10–23% ниже принятых в правилах расчета пути на прочность.

Полученные в эксперименте силы от эксцентricности насадки колес с дебалансом совпадают с подсчитанными по правилам.

Силы воздействия на путь колес с «ползуном» и от контакта экипажа с рельсами в зоне стыков достигают величин, в 3–4 раза превышающих статическую нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шафрановский А. К. Измерение и непрерывная регистрация сил взаимодействия колесных пар локомотивов с рельсами // Труды ВНИИЖТ. — Вып. 389. — М.: Транспорт, 1969. — 120 с.
2. Гуманюк М. Н. Магнитоупругие датчики в автоматике. — Киев: Техника, 1972. — 156 с.
3. Шульман З. А. Экспериментальное исследование динамических вертикальных сил в зоне контакта колеса и рельса // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Санкт-Петербург, 1981. — 360 с.
4. Молодилов В. А., Алексеев Г. М. К вопросу измерения сил, воспринимаемых колесной парой // Вестник ВНИИ железнодорожного транспорта. — 1971. — № 1. — С. 29–36.

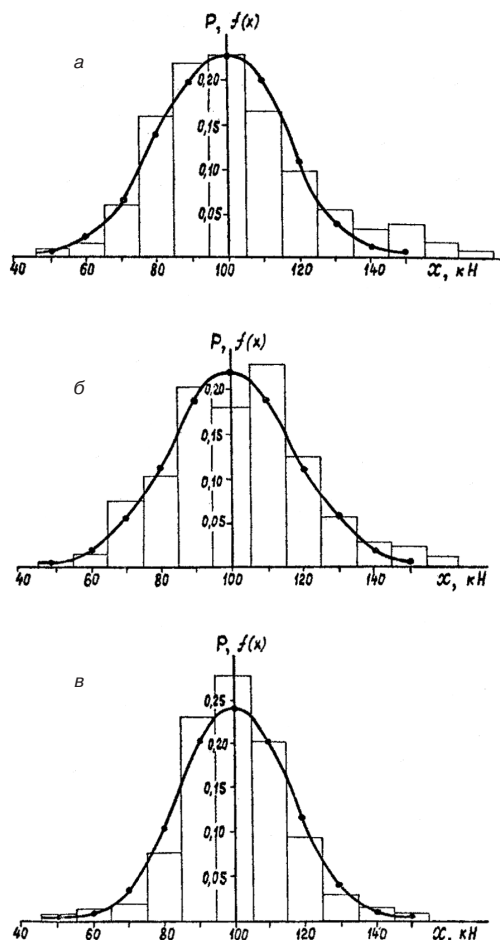


Рис. 5. Гистограммы и кривые нормального распределения сил взаимодействия на участке пути без искусственных неровностей:
а — при $v=100$ км/ч; б — при $v=80$ км/ч; в — при $v=40$ км/ч.

5. Шульман З. А. Основные параметры измерительных устройств для регистрации вертикальных динамических сил взаимодействия // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава // Труды Днепропетровского института жел.дор. транспорта. — Днепропетровск: ДИИЖТ, 1974. — Вып. 151. — С. 116–122.

6. Липовский Р. С., Шульман З. А. Метод измерения вертикальных сил взаимодействия между колесом и рельсом // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава // Труды Днепропетровского института жел.дор. транспорта. — Днепропетровск: ДИИЖТ, 1973. — Вып. 142. — С. 82–92.

7. Расчетно-теоретическое исследование напряженного состояния динамометрического колеса // Исследование взаимодействия пути и подвижного состава // Труды Днепропетровского института жел.дор. транспорта. — Днепропетровск: ДИИЖТ, 1979. — Вып. 204 (21). — С. 102–109.

8. Konishi, Shoichi. Measurement of loads on wheelset. Japan Railway Engineering, 1967–1968, № 3, pp. 26–29.

9. Weber, Hans Heinrich. Zur direkten Messung der Kräfte zwischen Rad und Schiene. Glase analen, 1961, N. 7, pp. 236–244.



CONTINUOUS MEASUREMENTS OF VERTICAL FORCES OF TRACK AND ROLLING STOCK INTERACTION

Shulman, Zinovy A. – Ph.D. (Tech.), technical director of the corporation «Promstalkonstruktsiya», Dnepropetrovsk, Ukraine.

ABSTRACT

The article highlights issues related to developed and implemented techniques of continuous measurements and dynamometering wheel sets, allowing with a sufficiently high degree of accuracy to determine dynamic vertical loads of railway rolling stock on the track (interaction of components of the system «vehicle-track»).

ENGLISH SUMMARY

Background. Relevance of the study of interaction forces of track and rolling stock is determined by the need to find reserves in the operation of the system «vehicle-track», to increase the strength and reliability of all its units, as well as to adjust standards and methods of assessment of the track's state.

One approach to this issue (proposed by prof. M. F. Verigo and developed by A. K. Shafranovsky [1]) is based on the fact that the magnitude of forces acting between wheel and rail can be seen in deformations of some parts of spokes or disks of train wheels.

Analysis of the effectiveness of this method has revealed a number of significant drawbacks, main among them are the following: errors caused by the simultaneous action of lateral (horizontal) forces on the wheel; errors due to change of the eccentricity of wheel contact with the rail; significant remoteness of placements of resistive strain gages from the point of wheel contact with a rail that affects the measurement accuracy of vertical interaction forces at high speeds.

Objective. The objective of the author is to present a technique of continuous measurements and to determine dynamic vertical loads of railway rolling stock on the track. The aim of the initial research was to develop a technique and create measurement instruments for its implementation that enable not only to get information about vertical interaction forces acting within almost unlimited in length track section, but also to improve greatly the accuracy of measurement.

Methods. The author uses analysis, comparative method, engineering, statistics instruments, and method of continuous measurements.

Results. The feature of proposed method is that in order to proceed with continuous recording of vertical forces between wheel and rail force, measuring sensor is installed (pressed) into the hole, bored

in the wheel rim. This sensor detects forces in a zone, located close to the wheel-rail contact area. This placement allows the recording system to significantly reduce estimation errors of lateral forces acting on the wheel and changes in the eccentricity of an area of wheel contact with the rail, which is inevitable when rolling. Also, the location of the sensor near the wheel thread allows to expand the frequency range of the recorded loads, that allows to measure projectile forces of wheel with rail arising during rolling through short irregularities and joints of the rails, forces in a flat wheel, and the like.

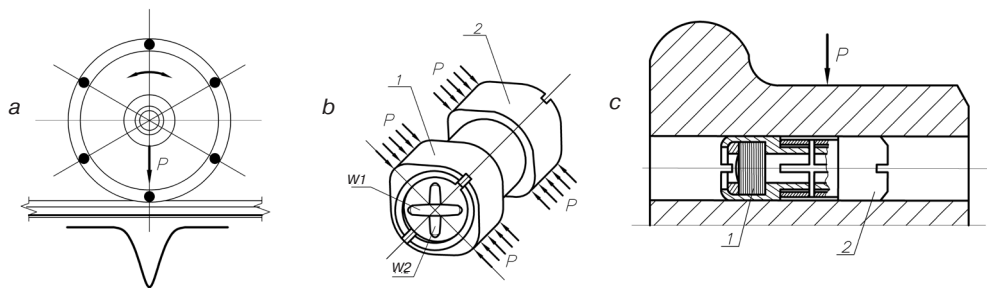
The number of force measuring sensors in the wheel determines the nature of the registration of acting forces. The adopted angular spacing between sensors, equal to 60° with the diameter of the railway wheel of 950 mm, provides information about the magnitude of interaction forces through 1/6 turn of the wheel, i. e. almost continuous picture of forces along the entire section of the track. When on one bogie two (dynamometric) wheel sets are installed, information about vertical forces can be obtained with a smaller interval on both lines of the rails.

Force sensors with magnetoelastic transducer (magnetoelastic sensors) are used as force measuring devices in a dynamometric wheel and they are characterized by high sensitivity, stability, simplicity of design, strength and stiffness of the elastic element. The principle of operation of these transducers is based on the physical phenomena associated with the change of magnetic properties of ferromagnetic material under the mechanical load applied to it [2].

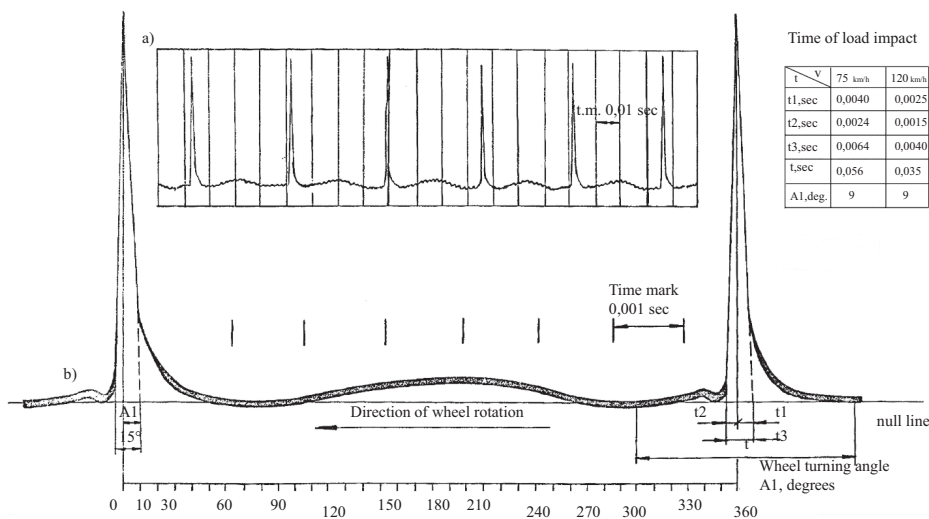
In the developed magnetoelastic force measuring sensor magnetoelastic transducer of transformer type is used. In these transducers supply circuits (primary winding) and chains with measurement devices (secondary winding) are separated, their contact with each other is provided solely by magnetic coupling. This magnetic coupling results in probability of emergence of high rates of transformation in between primary and secondary windings, followed by high voltage output signal.

General view of the magnetoelastic force measuring sensor and its location in the wheel rim are shown in Pic. 1.

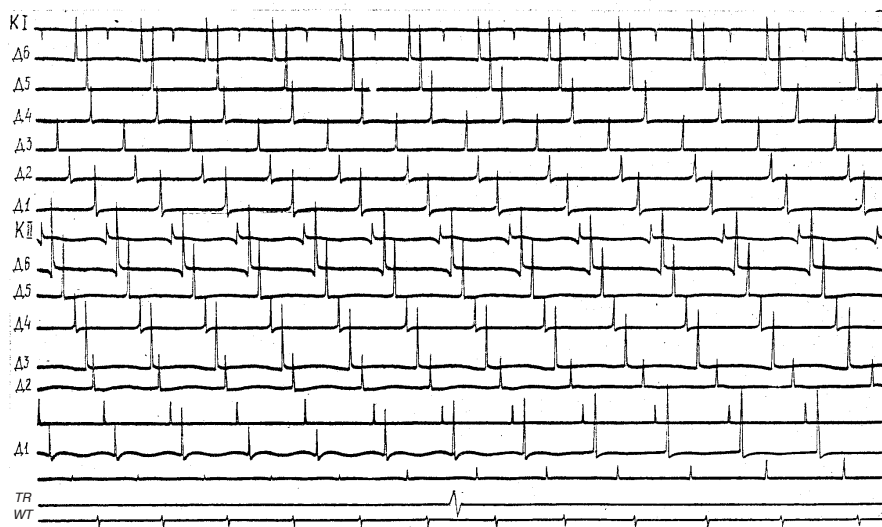
Prepared and calibrated on a special stand, force measuring sensors are pressed into the wheel rim in



Pic. 1. Dynamometric wheel set:
a – functional layout; b – magnetoelastic force measuring sensor; c – location of the sensor in the wheel rim; 1, 2 – elastic sensor elements; W1, W2 – windings of the transducer.



Pic. 2. The output signal of the force measuring sensor with continuous rotation of the wheel:
a – fragment of the waveform record; b – expanded form of the output signal.



Pic. 3. Fragment of the recording of interaction forces at $v = 80 \text{ km/h}$:
KI, KII – dynamometric wheels of a wheel set; D1...D6 – force measuring sensors;
TR – reference of the track; WT – mark of the turn of the wheel.

specially prepared holes. The longitudinal axis of the hole is performed with a gradient of 1:20, slope is equal to the not worn wheel thread.

Before pressing, rim in the area of the hole is heated to a temperature of 200–220 °C. Then, the sensor is inserted into the hole. Experiment has shown that after cooling the sensor is pressed with the force of 10–15 kN, which greatly improves its work and improves the linearity of its characteristics.

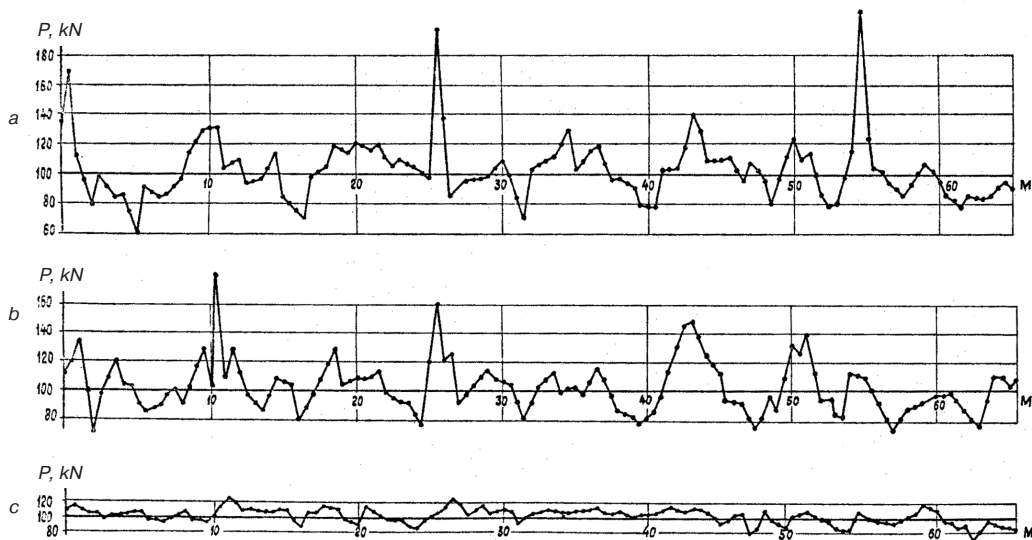
Key control characteristics of magnetoelastic transducers are recorded on the stand in the laboratory. According to them optimal parameters of the sensors in the dynamometric wheel are chosen, which provide the best linearity, maximum sensitivity and stability over time.

Static characteristics of a dynamometric wheel set are: dependence of the output signal of the magnetoelastic force measuring sensor on the load applied to

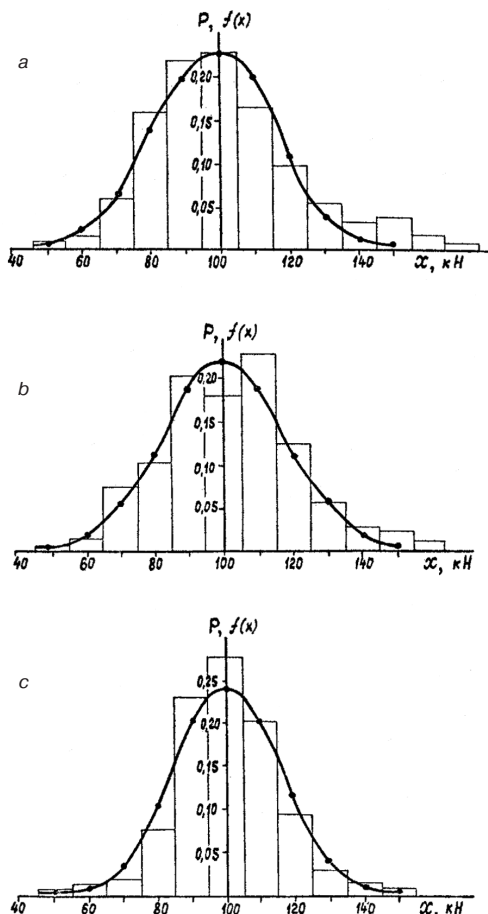
the wheel; error introduced in the measurement result of vertical load by the effect of lateral (horizontal) forces; influence on the result of recorded (during the rotation of the wheel) changes in the eccentricity of vertical force application to the wheel thread.

Output characteristic of magnetoelastic sensor when different vertical load P is applied to the wheel is determined by graduation on the stand of force measuring sensors pressed in the wheel by slow loading of dynamometric wheel sets with vertical forces. The wheel set is installed so that the vertical axis of the sensor passes through the center of the ellipse of the contact area of wheel and rail. The value of vertical load applied to a wheel is controlled by a high-precision strain gauge load cell. As shown by the results of calibration, sensors have a linear output characteristic within the operating range of the measured loads. Elastic hysteresis is not observed.





Pic. 4. Changes of forces along the length of the track section without irregularities at:
a – speed of 80 km / h; b – 40 km / h; c – 3 km / h (measurement points are connected conventionally).



Pic. 5. Histograms and curves of normal distribution of interaction forces on the track section without irregularities: a – at $v = 100$ km / h; b – at $v = 80$ km / h; c – at $v = 40$ km / h.

Effect of the eccentricity of the load application on the output signal of the sensor is found by loading of a dynamometric wheel with vertical forces with different eccentricity. Changing the position of the eccentrically applied force is produced with a slight shift of a rail relative to a theoretical circle of wheel's rolling. The magnitude of the eccentricity is controlled by an impress on a paper, laid between the rail and the wheel.

Effect of the lateral force H on the measurement results of the vertical load is determined by the loading of a wheel set alternately with vertical and lateral forces and the joint action of these forces. Lateral force is applied to the flange of a dynamometric wheel by a special loading device. Developed for these purposes, it allows joint loading of a dynamometric wheel set with lateral and vertical forces.

The results of experimental studies have shown that the error of lateral forces effect on a dynamometric wheel is systematic. However, due to a small influence (from 3,2 to 4,0% in the worst case) this error can be considered as random, bringing it to the arithmetic mean value of the lateral force measured on the test section of the track.

Pic. 2a shows the result of the calibration of the sensor of a dynamometric wheel obtained by slow (quasi-static) rotation. In expanded form the shape of the output signal of the sensor is shown in Pic. 2b.

According to the results of calculation-experimental studies optimal technical characteristics of the measuring system have been determined:

- The diameter of a dynamometric wheel: 950 mm;
- The number of force-measuring sensors in one of the wheels: 6 units;
- The limits of the measured force: 0 ... 180 kN;
- Recording interval of vertical forces along the track: 0, 5 m;
- The frequency of the test process: 0 ... 600 Hz;
- Maximum speed: 120 km / h;
- Frequency of the magnetizing current of transducers: 15–30 kHz;
- Supply voltage of transducers: 24 V;

- Magnetizing current of one transducer: 250 mA;
- Sensitivity: at least 3,0 kN / mm;
- Allowable ambient temperature: from –20 to +60 °C;
- Method of registration – separately for each sensor;
- The maximum relative error of registration of forces: 4,5%.

Field tests of the measuring system were conducted at the experimental haul. Specially prepared section, 5 km long had a great assessment of the track's state.

Measurements of vertical forces on this section were made with dynamometric wheel sets installed in bogies CNNI-H-Z-O of four-axle freight open car, which is the most abundant type of rolling stock. Experimental loaded car was included in a specially formed test train consisting of two sections of the locomotive TE-3, a passenger research car and a power-plant car.

Vertical forces were measured under six wheels of three dynamometric wheel sets.

To study the effect of uneven wear of the wheels on the magnitude of the interaction forces a dynamometric wheel set of one of the axes had natural wear. Wheel sets of other two axes prior to rolling them under an experimental car underwent turning.

Checking of the measuring system under natural conditions has shown that it is quite reliable. During tests the experimental car ran more than 6000 km, however there were no cases of significant damage of equipment or failures of sensors and current collectors. Dynamometric wheel sets operated satisfactorily at all train speeds.

Pic. 3 shows a fragment of one of the records of forces acting between a dynamometric wheel set and an experimental track section.

Keywords: railway, system «vehicle-track», interaction forces, measurement technique, magnetoelastic sensor, dynamometric wheel.

REFERENCES

1. Shafranovskiy, A. K. Measurement and continuous recording of interaction forces of locomotive wheel sets with rails [*Izmerenie i neprerynaya registratsiya sil vzaimodeystviya kolesnykh par lokomotivov s rel'sami*]. Proceedings of VNIIZhT, No. 389. Moscow, Transport publ., 1969, 120 p.
2. Gumanyuk, M. N. Magnetoelastic transducers in automation [*Magnitoupругie datchiki v avtomatike*]. Kiev, Tehnika publ., 1972, 156 p.
3. Shulman, Z. A. Experimental study of dynamics vertical forces in the zone of contact between the wheel and the rail [*Ekspperimental'noe issledovanie dinamicheskikh vertikal'nykh sil v zone kontakta kolesa i rel'sa*]. Theses of a Ph.D. (Tech) candidate. St.Petersburg, 1981, 360 p.
4. Molodikov, V.A., Alekseev, G. M. On the issue of the measurement of the forces acting on a wheelset [*K voprosu izmereniya sil, vosprinimaemykh kolesnoy paroy*]. Vestnik VNIIZhT, 1971, Iss.1., pp. 29–36.
5. Shulman, Z. A. Main parameters of measuring devices for recording of vertical forces of interaction [*Osnovnye parametry izmeritel'nykh ustroystv dlya registratsii vertikal'nykh dinamicheskikh sil vzaimodeystviya*]. In: Study of interaction of track and rolling stock [*Issledovanie vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava*]. Works of

The possibility of determining vertical dynamic forces of interaction of a track and rolling was demonstrated for the first time on a broad front (long-haul) of the railway. It was possible during their registration to approach the zone of contact between wheel and rail.

The graph of changes of forces along the length of the track is shown in Pic. 4.

These statistically processed data of vertical interaction forces between wheels of the experimental car and rails of the experimental section are presented in Table 1. As it implies, average values of these forces are close to average axial loads that were obtained by weighing of the experimental car. Increase in the speed of the train, according to preliminary estimates, does not lead to an increase in mean values of forces on a straight track section in the absence of significant irregularities thereon.

Histograms and curves of normal distribution of forces at different speeds of movement of the test train are shown in Pic. 5.

Conclusion. It was established that on irregularities having different numerical score of the track's state, vertical forces acting on the rails, are close in magnitude. The maximum ratios of forces, arising due to the presence of deterministic irregularities (faults of III–IV grades) on the track do not exceed 1,4–1,5.

The highest probable forces caused by unequal elasticity of the track, is 10–23% below the accepted rules of calculating the track for durability.

The experimentally obtained forces of eccentricity of mounting of wheels coincide with balance weight match forces calculated by the rules.

Forces of impact of flat wheels on the track and from the contact of a vehicle with rails in the area of the joints reach values 3–4 times greater than the static load.

Dnepropetrovsk institute of railway engineering, 1974, Vol. 151, pp.116–122.

6. Lipovsky, R.S., Shulman, Z. A. Method of measuring vertical forces of interaction between track and rolling stock [*Metod of izmereniya vertikal'nykh sil vzaimodeystviya mezhdu kolesom i rel'som*]. In: Study of interaction of track and rolling stock [*Issledovanie vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava*]. Works of Dnepropetrovsk institute of railway engineering, 1973, Vol. 142, pp.82–92.

7. Computation and theoretical study on tensed state of dynamics measuring wheel [*Raschetno-teoreticheskoe issledovanie napryazhennogo sostoyaniya dinamometricheskogo kolesa*]. In: Study of interaction of track and rolling stock [*Issledovanie vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava*]. Works of Dnepropetrovsk institute of railway engineering, 1979, Vol. 204 (21), pp.102–109.

8. Konishi, Shoichi. Measurement of loads on wheel set. Japan. Railway Engineering, 1967–1968, № 3, pp.26–29.

9. Weber, Hans Heinrich. Zur direkten Messung der Krafte zwischen Rad und Schiene. Glase analen, 1961, № 7, pp. 236–244.

Координаты автора (contact information): Шульман З. А. (Shulman, Z. A.) – promstal.dir@gmail.com.

Статья поступила в редакцию / article received 26.06.2014
Принята к публикации / article accepted 02.10.2014





Вейвлет-анализ в виброакустическом методе контроля



Михаил КВАШНИН
Mikhail Ya. KVASHNIN

Николай КВАШНИН
Nikolai M. KVASHNIN



Иван БОНДАРЬ
Ivan S. BONDAR

Квашнин Михаил Яковлевич — кандидат технических наук, доцент Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Алматы, Казахстан.
Квашнин Николай Михайлович — кандидат технических наук, начальник отдела ООО «Эксперт», Москва, Россия.
Бондарь Иван Сергеевич — соискатель Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

В статье показано преимущество непрерывного вейвлет-анализа в сравнении с быстрым преобразованием Фурье при виброакустическом контроле многослойных строительных конструкций. Доказательства получены, в частности, в лабораторных условиях на модели в виде мраморной плиты и опорных мраморных кубов. Вейвлет-спектр дает возможность подробно рассмотреть все высокочастотные составляющие, которые располагаются в начале временной шкалы и быстро затухают, а амплитуда колебаний пластины на основной моде значительно уменьшается.

Ключевые слова: транспортное строительство, многослойные конструкции, виброакустический контроль, Фурье-спектр, преобразование Фурье, вейвлет-преобразование, вейвлет-анализ.

Виброакустический метод неразрушающего контроля нашел широкое применение при обнаружении дефектов связи покрытий и плит как в горном деле, так и транспортном строительстве. Он основан на ударном точечном возбуждении свободной поверхности объекта исследования и спектральном анализе виброакустического отклика объекта на ударное воздействие.

Традиционно при обработке данных виброакустического метода использовалось преобразование Фурье. Однако в некоторых случаях для оценки состояния объекта контроля недостаточно одного только Фурье-спектра. Это связано с тем, что преобразование дает представление о доле спектральных составляющих на всей протяженности сигнала, не раскрывая особенности их поведения во времени. Следовательно, оно в традиционном виде не приспособлено для анализа нестационарных сигналов, в том числе локализованных на некотором временном интервале. Поэтому спектральный анализ реальных сигналов необходимо осуществлять как по частоте, так и времени. Преимущества такого способа очевидны.

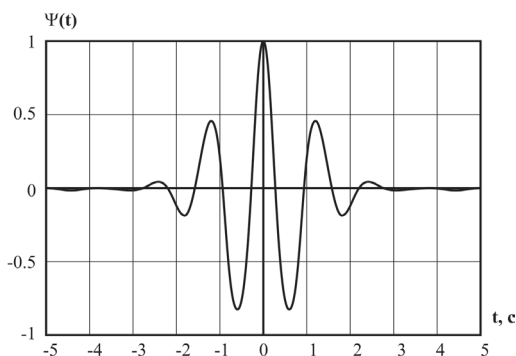


Рис. 1. График функции «вейвлет Морле».

Существует инструмент, позволяющий получить частотно-временное представление сигнала. Задача решается в рамках вейвлет-анализа.

Преобразование Фурье представляет исследуемый сигнал в виде линейной комбинации тригонометрических функций, которые ограничены по частоте, но не ограничены во времени. Вейвлет-преобразование использует функции (вейвлеты), локализованные как в частотной области, так и временной, и таким образом обеспечивает двумерное представление исследуемого сигнала в плоскости частота-положение. Это позволяет разделить крупные и мелкие детали сигналов, одновременно локализуя их на временной шкале.

В вейвлет-анализе можно выделить два направления: непрерывный и ортогональный. Непрерывный вейвлет-анализ по сравнению с ортогональным является избыточным с точки зрения реконструкции сигнала и требует больших вычислительных мощностей, но вместе с тем и дает более детальную информацию о сигнале.

Современные ЭВМ обладают достаточной производительностью для быстрого проведения непрерывного вейвлет-преобразования (НВП), поэтому именно его целесообразно использовать при анализе данных, полученных в ходе проведения неразрушающего контроля.

При осуществлении НВП сигнал перемножается с функцией (вейвлетом), после чего берется интеграл по времени от их произведения. Эти операции повторяются для различных значений масштаба вейвлета и его сдвига. Под масштабом понимается коэффициент, определяющий, во сколько раз данный вейвлет растянут во времени относительно исходного (материнского), сдвиг

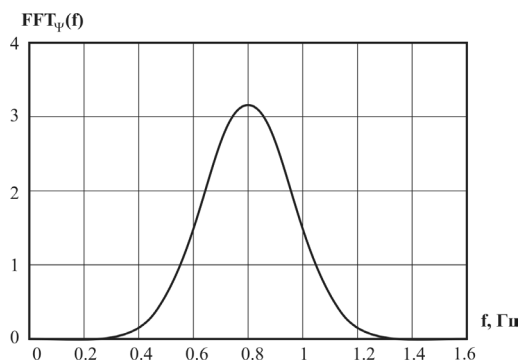


Рис. 2. Спектр функции «вейвлет Морле».

задает его положение относительно начала отсчета времени. Математически НВП находится следующим образом [1]:

$$CWT(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \cdot \int x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt, \quad (1)$$

где s — масштаб; t — время; τ — сдвиг вейвлета относительно начала отсчета; функция $\Psi(t)$ — материнский вейвлет; член $(1/\sqrt{s})$ введен для нормализации — чтобы сигнал, представленный в различных масштабах, имел постоянную энергию.

Масштаб еще можно назвать аналогом частоты в преобразовании Фурье, но с тем отличием, что чем меньше масштаб, тем больше частота. Материнский вейвлет — это функция, являющаяся прообразом для функций, используемых в преобразовании. Все вейвлеты образуются путем изменения масштаба и сдвига материнского вейвлета.

Существует несколько функций, применяющихся в качестве материнских вейвлетов. Для анализа данных виброакустического метода контроля был выбран вейвлет Морле [2] с частотой 5. Аналитическое выражение функции:

$$\Psi(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot \cos(5 \cdot t). \quad (2)$$

График этой функции представлен на рис. 1, а Фурье-спектр — на рис. 2.

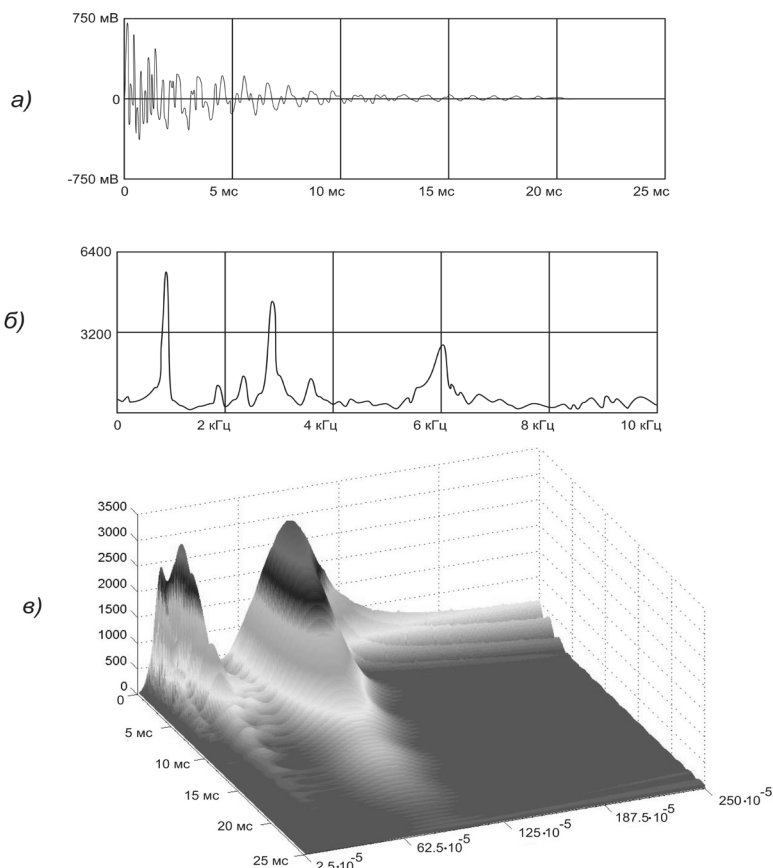
Как видно из графика, функция представляет собой затухающую косинусоиду, основная доля энергии которой сосредоточена на интервале времени от -4 до 4 секунд. Спектр функции тоже локализован, это единичный пик, максимум которого приходится на частоту $0,8$ Гц. Отсюда можно найти связь между масштабом вейвлета и частотой максимума его спектра:

$$f = \frac{0,8}{s}. \quad (3)$$





Рис. 3. Результаты обработки данных виброимпульса, полученных над дефектом.
а – осциллограмма;
б – спектр Фурье;
в – вейвлет-спектр.



Из (3) следует, что масштабы и частоты связаны нелинейно. Этот факт говорит о том, что при проведении вейвлет-преобразования на больших масштабах обеспечивается хорошее разрешение по частоте, но будет уменьшаться, согласно принципу Гейзенберга, разрешение по времени.

С целью определения эффективности применения вейвлет-преобразования при анализе данных виброакустического контроля был проведен ряд измерений в лабораторных условиях.

Измерения проводились на модели, используемой для оптимизации виброакустического метода контроля [3]. Модель представляет собой мраморную плиту $680 \times 330 \times 50$ мм, жестко связанную по краям с двумя сплошными мраморными кубами $253 \times 253 \times 253$ мм так, что в центре плиты имел место дефект связи в виде полости с горизонтальными размерами 253×315 мм. Регистрация виброимпульса производилась пьезоаксельомером КД-32 (собственная частота 10 кГц, толщинные колебания пьезокерамики).

Одна из точек установки датчика располагалась непосредственно над дефектом, а вторая — над одним из кубов. Поверхность плиты возбуждалась ударным воздействием и с выводов преобразователя снимался сигнал, который оцифровывался посредством платы АЦП, установленной на пользовательском компьютере. Данные конвертировались в удобный для проведения расчетов формат и сохранялись на жестком диске. В каждой точке установки датчика выполнялось десять идентичных ударов.

Расчеты проводились в среде MATLAB. Для проведения непрерывного вейвлет-анализа использовалась встроенная в систему функция «CWT». Масштабы брались от $2,5 \cdot 10^{-5}$ до $2,5 \cdot 10^{-3}$ с шагом $2,5 \cdot 10^{-5}$, таким образом охватывая диапазон частот от 320 Гц до 32 кГц. Вычислялись абсолютные значения всех элементов получившегося массива. После чего по этим значениям строился поверхностный график. Помимо непрерывного вейвлет-преобразования осуществлялось быстрое преобразование Фурье (БПФ) исходного сигнала, результат

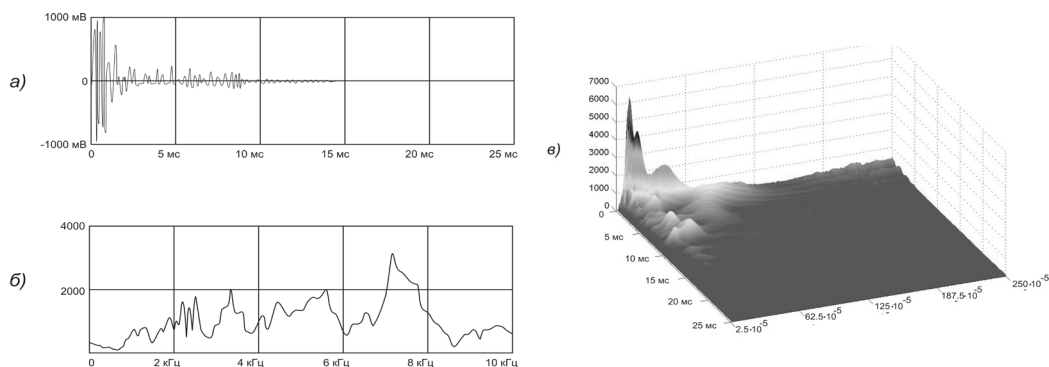


Рис. 4. Результаты обработки данных виброимпульса, полученных вне дефекта.
а – осциллограмма; б – спектр Фурье; в-вейвлет-спектр.

которого впоследствии тоже визуализировался.

Внешний вид виброимпульсов, зарегистрированных над дефектом и вне дефекта, а также результаты их вейвлет-преобразования и преобразования Фурье показаны на рис. 3 и 4.

На графике спектра Фурье, полученного над дефектом, можно четко выделить три локальных максимума (950 Гц, 2700 Гц, 6000 Гц), соответствующие трем изгибным модам пластины. На графике вейвлет-спектра – три образования, максимумы которых находятся в масштабах $8,4 \cdot 10^{-4}$, $3 \cdot 10^{-4}$, $1,3 \cdot 10^{-4}$, что соответствует частотам 952 Гц, 2666 Гц, 6153 Гц. Причем их начальные амплитуды примерно одинаковы, но с увеличением частоты колебаний увеличивается коэффициент затухания, что проявляется в спектре Фурье в виде различной высоты спектральных выбросов.

В случае измерений, проводимых вне дефекта, как и ожидалось, на Фурье-спектре не прослеживаются такие четкие максимумы, как при измерениях над дефектом, и наблюдается смещение спектра в высокочастотную область. Однако остается невыясненным происхождение оставшихся спектральных выбросов. На вейвлет-спектре можно увидеть, что все высокочастотные составляющие располагаются в начале временной шкалы и быстро затухают, а амплитуда колебаний пластины на основной моде значительно уменьшилась (приблизительно в 10 раз).

ВЫВОДЫ

Из приведенных материалов видно, что вейвлет-преобразование, во-первых, более наглядно описывает физические процессы

при виброакустическом методе контроля и, во-вторых, при вейвлет-преобразовании более четко проявляются спектральные выбросы в низкочастотной области, что наиболее характерно для виброакустического метода контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 174 с.
2. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов. — М.: ИАНП, 1999. — 356 с.
3. Квашнин М. Я., Квашнин Н. М. Исследование изгибных колебаний упругих пластин с целью оптимизации виброакустического метода контроля // Вестник КазАТК. — 2009. — № 3. — С. 5–12.
4. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. — СПб: Издательский дом «Питер», 2002. — С. 608.
5. Douka E., Loutridis S., Trochidis A. Crack identification in beams using wavelet analysis. International Journal of Solids and Structures, 2003, Vol. 40, No. 13–14, pp.3557–3569.
6. Hou Z., Noori M., Amand R. St. Wavelet-Based Approach for Structural Damage Detection. Journal of Engineering Mechanics, 2000, Vol. 126, No. 7, pp. 677–683.
7. Messina, Arcangelo. Refinements of damage detection methods based on wavelet analysis of dynamical shapes. International Journal of Solids and Structures, 2008, Vol. 45, No.14–15, pp. 4068–4097.
8. Картопольцев В. М., Бочкарев Н. Н., Селиванова Т. В. Метод коррекционной обработки виброграмм для определения частотных характеристик пролетных строений автодорожных мостов // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации фундаментов, мостов и автомобильных дорог. Механизация строительства. Охрана окружающей среды: материалы Рос. науч. — техн. конф. — Пермь: ПГТУ, 2004. — 320 с. — С. 176–179.
9. Донец Н. А. Применение вейвлет-анализа в содержании пролетных строений мостов // Материалы IX научно-технической конференции студентов и аспирантов «Наука и молодежь XXI века» (г. Новосибирск, 16–17 ноября 2010 года), часть I — «Технические науки». — Новосибирск: СГУПС, 2011. — 132 с. — С. 41–43.
10. Kim, Hansang; Melhem, Hani G. Damage detection of structures by wavelet analysis. Engineering Structures, 2004, Vol. 26, No. 3, pp.347–362.



WAVELET ANALYSIS IN VIBRO-ACOUSTIC CONTROL METHOD

Kvashnin, Mikhail Ya. – Ph.D. (Tech.), associate professor at the department of Transport construction, Kazakh Academy of Transport and Communications n. a. M. Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan.

Kvashnin, Nikolai M. – Ph.D. (Tech.), head of the department of LLC «EXPERT», Moscow, Russia.

Bondar, Ivan S. – external Ph.D. student at the department of Bridges and tunnels of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article shows advantages of continuous wavelet analysis in comparison with fast Fourier transform in the vibro-acoustic control of multi-layer constructions. Evidence of above mentioned advantages was obtained, in particular in laboratory conditions using a model in the form of a marble slab and supporting marble cubes. Wavelet spectrum makes it possible to investigate in detail all high-frequency components, which are located at the beginning of the timeline and quickly die out, while the amplitude of the oscillations of the slab significantly reduces on the dominant mode.

ENGLISH SUMMARY

Background. Vibro-acoustic method of non-destructive control has found wide application in the detection of defects in binding of coverage and slabs both in mining and transport construction. It is based on the point shock excitation of a free surface of the object of research and the spectral analysis of vibro-acoustic response of the object to impact.

Traditionally, in data processing of vibro-acoustic method Fourier transform was used. However, in some cases, to assess the state of the object of control Fourier spectrum is not sufficient. This is due to the fact that the transform gives an idea of the proportion of the spectral components of the entire length of the signal without revealing their behavior in time. Consequently, it is not adapted in its traditional type for the analysis of nonstationary signals including signals, localized at a certain time interval. Therefore, spectral analysis of actual signals should be carried out in relation to both frequency and time. Advantages of such an analysis are obvious.

There is a tool that makes it possible to get a time-frequency representation of the signal. The problem is solved in the framework of wavelet analysis.

Objective. The objective of the authors is to show advantages of continuous wavelet analysis as a tool of nondestructive vibro-acoustic check in solving problems of transport construction over Fourier transform.

Methods. The authors use analytical method, comparison, descriptive method, mathematical

analysis and special methods of vibro-acoustic control and wavelet analysis.

Results. The Fourier transform represents an analyzed signal as a linear combination of trigonometric functions which are restricted in frequency, but are not limited in time. The wavelet transform uses functions (wavelets), which are localized in frequency and time domains, and thus provides a two-dimensional representation of the test signal in the plane of frequency- position. It allows us to split large and small parts of signals, at the same time locating them on a timeline.

In the wavelet analysis two types can be distinguished: continuous and orthogonal. Continuous wavelet analysis as compared with the orthogonal is redundant in terms of signal reconstruction and requires a lot of computing capacity, but at the same time it gives more detailed information about the signal.

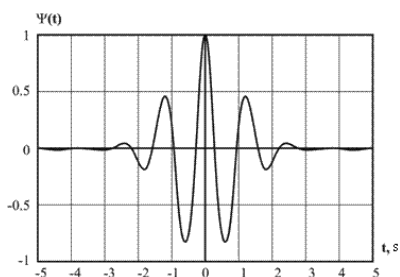
Modern computers have sufficient capacity for fast continuous wavelet transform (hereinafter-CWT), so it is advisable to use it in the analysis of data obtained in the course of non-destructive control.

In CWT a signal is multiplied with the function (wavelet) and then the time integral of their product is taken. These operations are repeated for different values of the wavelet scale and its shift. The scale refers to a coefficient that determines how many times this wavelet is spaced out in time in relation to the original (mother) wavelet; the shift sets its position relative to the origin of time. Mathematically, CWT is determined as follows [1]:

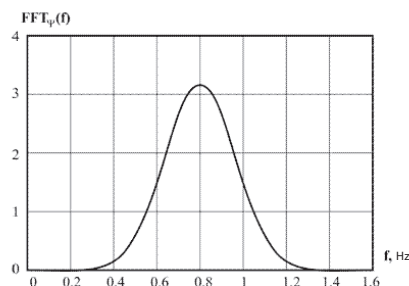
$$CWT(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \cdot \int x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt, \quad (1)$$

where s – scale; t – time; τ – shift of a wavelet relative to the origin of time; function $\psi(t)$ – mother wavelet; component $(1/s)$ is introduced for normalization in order that a signal, represented at different scales, has a constant energy.

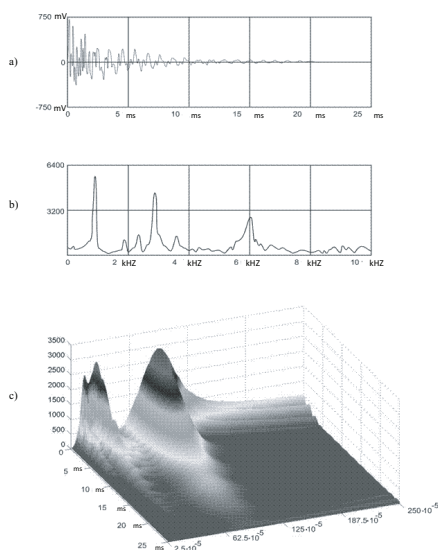
Scale can also be called an analogue of frequency in Fourier transform, but with the difference that the smaller is the scale, the higher is the frequency. Mother wavelet is a function that is a prototype for functions used in the transform. All wavelets are formed by scaling and shifting of the mother wavelet.



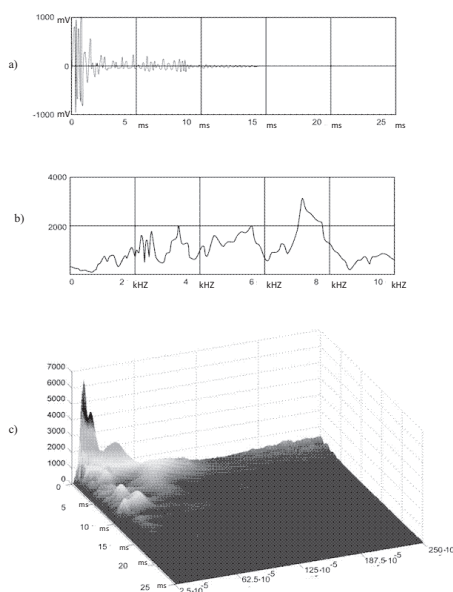
Pic. 1. Graph of the function «Morlet wavelet».



Pic. 2. Spectrum of the function «Morlet wavelet».



**Pic. 3. Results of processing of vibration impulse data received above the defect.
a – oscillogram; b – Fourier spectrum; c – wavelet spectrum.**



**Pic. 4. Results of processing of vibration impulse data received outside the defect.
a – oscillogram; b – Fourier spectrum; c – wavelet spectrum.**

There are some functions that are used as mother wavelets. For data analysis of vibro-acoustic control method Morlet wavelet [2] was chosen with a frequency of 5. Analytical expression of this function is:

$$\Psi(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot \cos(5 \cdot t). \quad (2)$$

A graph of this function is shown in Pic. 1, and Fourier spectrum is in Pic. 2.

As it can be seen from the graph, the function is a damping cosine wave; a greater part of its energy is concentrated in the time interval from –4 to 4 seconds. Function spectrum is also localized, it is a singular peak, the maximum of which occurs at a frequency of 0,8 Hz. Here we can find a link between the scale of the wavelet and the frequency of the maximum of its spectrum:

$$f = \frac{0,8}{s}. \quad (3)$$

From (3) it follows that scales and frequencies are related nonlinearly. This fact shows that carrying out a wavelet transform on a large scale ensures a good frequency resolution, but according to the Heisenberg principle, the temporal resolution will decrease.

In order to determine the effectiveness of the wavelet transform in the analysis of vibro-acoustic control data, a series of measurements was made in the laboratory conditions.

Measurements were carried out on the model used to optimize the vibro-acoustic control method [3]. The model is a marble slab 680 × 330 × 50 mm, rigidly connected at the edges with two continuous marble cubes 253 × 253 × 253 mm, so that in the center of the slab a defect of connection occurred in the form of cavity with horizontal dimensions 253 × 315 mm. Registration of vibration impulse was conducted with the use of piezoelectric accelerometer KD-32 (natural frequency is 10





kHz, the thickness oscillations of the piezoelectric ceramic).

One of the points of the sensor installation was located directly above the defect, and the second was located above one of the cubes. Surface of the plate was excited by impact force and signal was got from the output of the converter that was further digitized by ADC plate installed on the user's computer. The data were converted into a convenient format for the calculation and stored on the hard drive of the computer. At each point of the sensor installation ten identical impulses were performed.

Calculations were carried out in MATLAB. To conduct a continuous wavelet analysis, the built-in function «CWT» was used. Scales were taken from $2,5 \cdot 10^{-5}$ to $2,5 \cdot 10^{-3}$ in steps $2,5 \cdot 10^{-5}$, thus covering the frequency range from 320 Hz to 32 kHz. Absolute values of all elements of the resulting array were calculated. Then using those values the surface chart was constructed. In addition to the continuous wavelet transform fast Fourier transform (hereinafter-FFT) of the original signal was performed, the result of which was later also visualized.

Form of vibration impulses, recorded above the defect and outside the defect, and the results of their wavelet transform and the Fourier transform are shown in Pic. 3 and 4.

In the graph of the Fourier spectrum obtained above the defect, three local maxima (950 Hz,

2700 Hz, 6000 Hz) can be clearly revealed, corresponding to three bending modes of the slab. In the graph of the wavelet spectrum there are three formations, maxima of which are located within scales $8,4 \cdot 10^{-4}$, $3 \cdot 10^{-4}$, $1,3 \cdot 10^{-4}$, which correspond to frequencies 952 Hz, 2666 Hz, 6153 Hz. And their initial amplitudes are about the same, but with an increase in the oscillation frequency the attenuation coefficient increases, this is manifested in the Fourier spectrum in the form of different heights of the spectral spikes.

In case of measurements carried out outside the defect, as expected, on the Fourier spectrum such clear maxima, as in the measurements above the defect, are not detected and the shift of the spectrum to the high-frequency region is observed. However, origin of the remaining spectral spikes remains unclear. In the wavelet spectrum it can be seen that all high-frequency components are located at the beginning of the timeline, die out quickly and vibration amplitude on the dominant mode of the slab decreased significantly (approximately by 10 times).

Conclusion. On the basis of the described test research we can conclude that the wavelet transform, in the first place, more clearly describes the physical processes within vibro-acoustic method of control and, secondly, in case of the wavelet transform spectral spikes in the low-frequency region become more apparent, which is most typical for vibro-acoustic method of control.

Keywords: transport construction, multilayered structures, vibro-acoustic control, Fourier spectrum, Fourier transform, wavelet transform, wavelet analysis.

REFERENCES

1. Daubechies, I. Ten lectures on wavelets [*Desyat' lektsiy po veyvletam*]. Izhevsk, NITs «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2001, 174 p.
2. Novikov, L. V. Fundamentals of wavelet-analysis of signals [*Osnovy veyvlet-analiza signalov*]. Institute of analytic instrument making RAS, 1999, 356 p.
3. Kvashnin, M. Ya., Kvashnin, N. M. Research on bending vibrations of elastic plates to optimize vibro-acoustic method of control [*Issledovanie izgibnykh kolebaniy uprugih plastin s tsel'yu optimizatsii vibroakusticheskogo metoda kontrolya*]. *Vestnik KazATK [Herald of KazATC]*, 2009, Iss.3, pp. 5–12.
4. Diakonov, V., Abramenkova, I. MATLAB. Signal and images processing [*Obrabotka signalov I izobrazheniy*]. Reference book. St. Petersburg, Piter publ.house, 2002, 608 p.
5. Douka E., Loutridis S., Trochidis A. Crack identification in beams using wavelet analysis. *International Journal of Solids and Structures*, 2003, Vol. 40, No. 13-14, pp.3557–3569.
6. Hou Z., Noori M., Amand R. St. Wavelet-Based Approach for Structural Damage Detection. *Journal of Engineering Mechanics*, 2000, Vol. 126, No. 7, pp. 677–683.
7. Messina, Arcangelo. Refinements of damage detection methods based on wavelet analysis of dynamical shapes. *International Journal of Solids and Structures*, 2008, Vol. 45, No.14–15, pp. 4068–4097.
8. Kartopoltsev, V.M., Bochkarev, N.N., Selivanova, T. V. The method of corrective processing

of vibrorecords for defining frequency features of spans of road bridges [*Metod korrektsionnoy obrabotki vibrogramm dlia opredeleniya chastotnykh harakteristik proleinykh stroeniy avtodorozhnykh mostov*]. In: Proceedings of Russian scientific and technical conference: Problems of designing, construction and operation of foundations, bridges and motor roads. Mechanization of construction works. Environment protection [*Problemy proektirovaniya, stroitelstva i ekspluatatsii fundamentov, mostov i avtomobilnykh dorog. Mehanizatsiya stroitelstva. Ohrana okruzhayushchey sredy: materialy Rossiyskoy nauch. – tehn. konf.*]. Perm, PGU (Perm state technical university), 2004, 320 p., pp. C. 176–179.

9. Donets, N. A. Application of wavelet analysis for maintenance of spans of bridges [*Primenenie veyvlet analiza v sodержanii proleinykh stroeniy mostov*]. In: Proceedings of IX scientific and technical conference of students and Ph.D. students «Science and youth of the 21st century» [*Materialy IX nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov «Nauka I molodezh XXI veka*], Novosibirsk, 16–17 November, 2010. Part I Engineering Sciences. Novosibirsk, SGUPS publ., 2011, 132 p., pp.41–43.

10. Kim, Hansang; Melhem, Hani G. Damage detection of structures by wavelet analysis. *Engineering Structures*, 2004, Vol. 26, No. 3, pp.347–362.

Координаты авторов (contact information): Квашнин М. Я. (Kvashnin, M. Ya.) – kvashnin_mj55@mail.ru, Квашнин Н. М. (Kvashnin, N. M.) – kvashnin_nm@mail.ru, Бондарь И. С. (Bondar, I.S.) – ivan_sergeevich_08@mail.ru.
Статья поступила в редакцию / article received 22.05.2014 (rev. 25.07.2014)
Принята к публикации / article accepted 17.09.2014

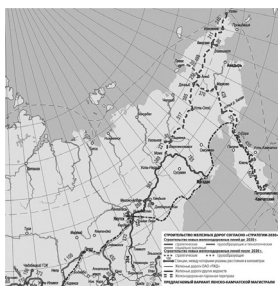


ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ 86

*Диффузный смысл
действующих методик.*

СТРАТЕГИЯ РЕГИОНА 100

*Богатство рядом. Но без
дорог не дотянуться.*



АВТОТРАССА 108

*Может ли плата за проезд
погасить риск инвестора?*

ТАРИФЫ 116

*Разные участки – разные
затраты.*

OPERATION COSTS 86

*Diffusive meaning of methods
in force.*

REGIONAL STRATEGY 100

*Wealth is within easy reach. But
how can it be reached without
roads?*

MOTOR ROAD 108

*Can road toll neutralize
investor's risks?*

TARIFFS AND FARES 116

*Different sections cause
different expenditures.*





Структурные особенности эксплуатационных расходов



Наталья КОРОЛЬКОВА
Natalia V. KOROLKOVA

Светлана ИНОЗЕМЦЕВА
Svetlana M. INOZEMTSEVA



Королькова Наталья Вячеславовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление на транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Иноземцева Светлана Михайловна — кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление на транспорте» МИИТ, Москва, Россия.

В статье представлены системное распределение эксплуатационных расходов, их структура и группировка в соответствии с номенклатурой, принятой в ОАО «РЖД» по видам деятельности. Особо выделены позиции по укрупненным видам работ. Даны развернутые примеры расчетов, связанных с учетом и статьями расходов по грузовым перевозкам и предоставлению для них услуг инфраструктуры, в том числе по отраслевым хозяйствам, группам и элементам затрат. Анализ использованных типовых схем и получаемых при этом результатов по условным дорогам позволяет оценить потенциал действующих методик с точки зрения растущих требований к управлению затратами, совершенствованию нормативной базы бюджетной сферы железнодорожного холдинга.

Ключевые слова: экономика, железная дорога, эксплуатационные расходы, грузоперевозки, виды деятельности, структура расходов, классификатор, укрупненные виды работ, методы расчета, системное распределение.

Эксплуатационные расходы — важнейший оценочный показатель для железнодорожного транспорта. От их соответствия доходам зависят финансово-экономические результаты и стабильность развития отрасли. С учетом этого и в условиях острой конкуренции железных дорог с другими видами транспорта за объемы перевозок, при постоянно растущих ценах на потребляемые ресурсы отраслевому холдингу ОАО «РЖД» нужна система нормирования и контроля расходов, которая позволяла бы не только обеспечивать формализацию и единый порядок учета затрат, но и была бы удобна для анализа, прогноза, предполагала адаптационные средства.

СИСТЕМНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Что касается самой рассматриваемой категории, то она включает расходы по обычным видам деятельности и прочие расходы.

Расходы по обычным видам деятельности связаны с изготовлением и продажей продукции, приобретением и продажей товаров, а также выполнением определенного вида работ и оказанием услуг.



Рис. 1. Классификатор расходов в номенклатуре доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД».

Непосредственно в «РЖД» к ним относятся:

- затраты по оказанию услуг и выполнению работ;
- затраты по производству продукции и полуфабрикатов, изготовленных в отчетном периоде;
- затраты по предоставлению за плату во временное пользование (временное владение и пользование) своих активов по договору аренды (в соответствии с учетной политикой ОАО «РЖД»);
- стоимость товаров, приобретенных для последующей продажи.

Расходы учитываются в филиалах и структурных подразделениях в разрезе статей и элементов затрат.

В зависимости от отношения к производственному процессу *расходы по обычным видам деятельности* делятся на непосредственно инициированные этим процессом (производственные) и общехозяйственные, то есть идущие на обслуживание

производства и управление. В свою очередь, расходы, инициированные процессом производства, подразделяются на специфические (*прямые производственные*) и общепроизводственные. Специфические расходы в классификаторе группируются по укрупненным видам работ (УВР) (это группы статей, объединенных по функциональному признаку), видам деятельности, отраслевым хозяйствам.

Общехозяйственные расходы включают две группы:

1. Общехозяйственные без расходов на содержание аппарата управления.
2. Расходы на содержание аппарата управления (рис. 1).

Виды деятельности ОАО «РЖД» делятся на свои две группы:

- 1) осуществление перевозок, предоставление услуг инфраструктуры и локомотивной тяги (рис. 2);
- 2) работы, не связанные с осуществлением перевозок, предоставлением



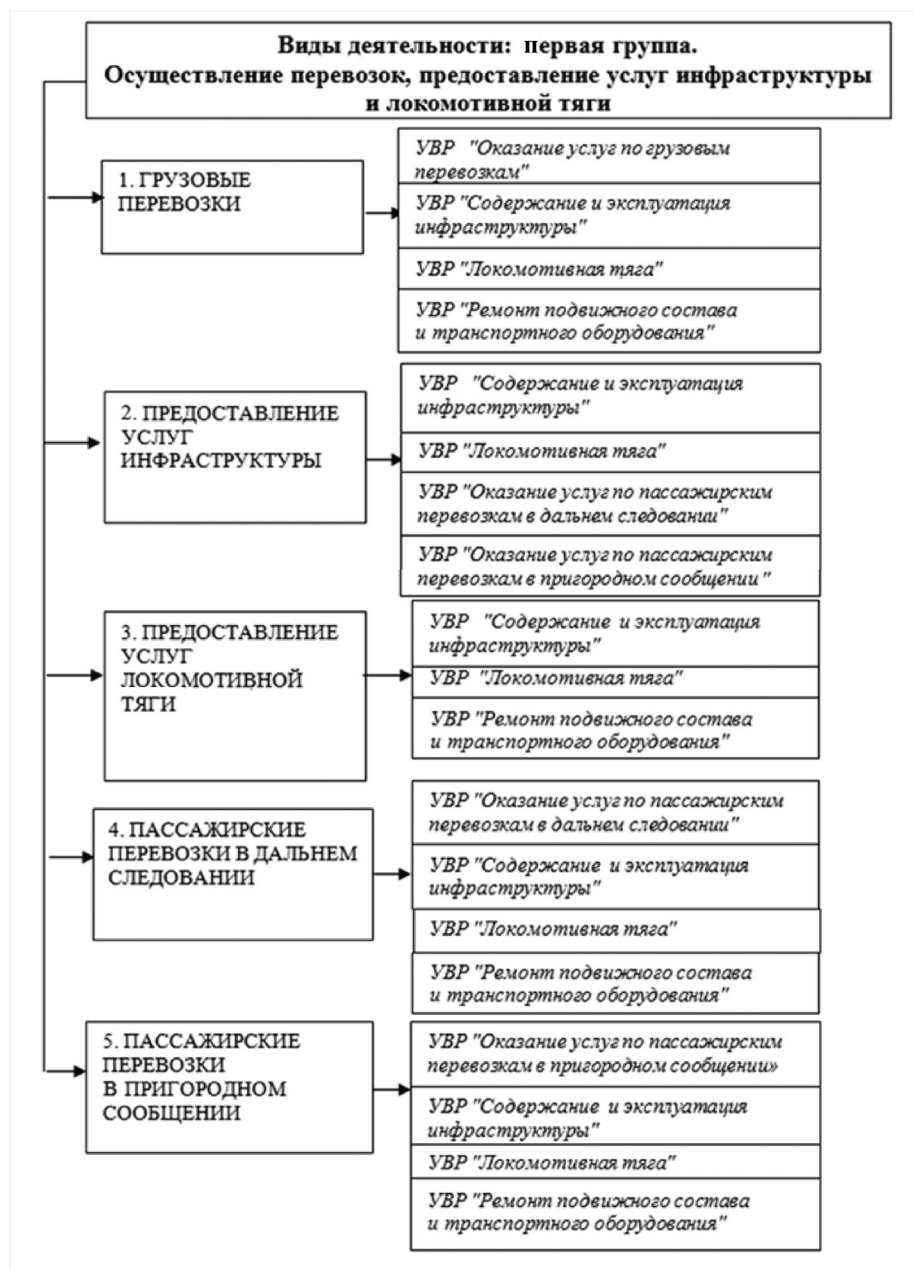


Рис. 2. Схема формирования расходов основных видов деятельности по УВР (с первого по пятый вид).

услуг инфраструктуры и локомотивной тяги (рис. 3).

Особенностью *первой группы* является комплексный (сетевой) характер реализации услуг. Раздельный учет расходов по видам предусмотренной здесь деятельности предполагает распределение части расходов на содержание инфраструктуры железнодорожного транспорта, локомотивную тягу, ремонт подвижного состава и т. д. Расходы этой группы соответственно могут быть дифферен-

цированы только на уровне филиалов (территориальных и функциональных) и ОАО «РЖД», так как статистические показатели, на основе которых осуществляется распределение, формируются лишь на отдельной железной дороге или всей сети в целом. Доходы и финансовый результат по видам деятельности определяются исключительно в рамках холдинга.

По видам деятельности *второй группы* в классификаторе расходов обеспечен



Рис. 3. Схема формирования расходов основных видов деятельности по УВР (с шестого по десятый вид).

постатейный раздельный учет специфических (прямых производственных) расходов в структурных подразделениях. Доходы, расходы и финансовый результат определяются в рамках каждого отдельного подразделения, выполняющего соответствующую работу.

Статьи специфических (прямых производственных) расходов в классификаторе подлежат дополнительному разделению на две группы: статьи-ресурсы и статьи-функции, которые, в свою очередь, сгруппированы по УВР.

ПОСТАТЕЙНЫЙ РАСЧЕТ

Укрупненные виды работ — это группы статей, объединённые по функциональному признаку. Рассмотрим более детально УВР первой группы.

К укрупненному виду работ «Оказание услуг по грузовым перевозкам» относятся статьи:

- подготовка грузовых вагонов и контейнеров к перевозкам грузов;
- перестановка вагонов;
- погрузочно-разгрузочные работы, прием и выдача, пересортировка, взвешивание;
- дополнительные услуги клиентам и т. д.

Сюда же примыкают и операции по амортизации грузовых вагонов и контейнеров.

«Содержание и эксплуатация инфраструктуры железнодорожного транспорта» включает статьи, связанные с содержанием, обслуживанием, ремонтом, эксплуатацией и амортизацией объектов обозначенной сферы.

К укрупненному виду работ «Локомотивная тяга» отнесены следующие статьи расходов:

- работа локомотивов в грузовом и пассажирском движении как при осуществлении грузовых и пассажирских перевозок, так и предоставлении услуг локомотивной тяги;
- работа электропоездов, дизель-поездов, автомотрис и рельсовых автобусов;
- экипировка, обслуживание и уборка локомотивов, работающих в грузовом и пассажирском движении, электропоездов, дизель-поездов, автомотрис и рельсовых автобусов;
- работа локомотивов на маневрах;
- экипировка маневровых локомотивов;
- амортизация локомотивов, электропоездов, дизель-поездов, автомотрис и рельсовых автобусов.

Аналогичные статьи расходов имеют «Оказание услуг по пассажирским перевозкам в дальнем следовании» и «Оказание услуг по пассажирским перевозкам в пригородном сообщении». Они связаны





Таблица 1

**Структура эксплуатационных расходов по грузовым перевозкам
в разрезе укрупненных видов работ, %**

Укрупнённые виды работ	Виды деятельности	
	Грузовые перевозки	Предоставление услуг инфраструктуры в части грузовых перевозок
Оказание услуг по грузовым перевозкам	3,7	-
Содержание и эксплуатация инфраструктуры железнодорожного транспорта (УВР _{си})	63,4	93,4
Ремонт подвижного состава	3,6	3,3
Локомотивная тяга	29,3	3,3
Всего	100	100

Таблица 2

**Структура расходов по грузовым перевозкам по видам деятельности
в разрезе отраслевых хозяйств, %**

Отраслевое хозяйство	Виды деятельности	
	Грузовые перевозки	Предоставление услуг инфраструктуры в части грузовых перевозок
Коммерческая работа в сфере грузовых перевозок	2,7	–
Перевозки	10,5	15,8
Локомотивное хозяйство	32,2	6,6
Вагонное хозяйство	6,3	–
Хозяйство пути	31,5	26,7
Гражданские сооружения, водоснабжение и водоотведение	2,1	4,0
Автоматика и телемеханика	7,5	9,0
Электрификация и электроснабжение	5,5	36,2
Прочие подразделения	1,7	1,7
Всего	100,0	100,0

с обслуживанием пассажиров, содержанием подвижного состава и услугами перевозчикам.

Что касается «Ремонта подвижного состава и транспортного оборудования», то этот раздел имеет в виду статьи расходов по техническому обслуживанию, всем видам текущего и капитального ремонта грузовых и пассажирских вагонов, контейнеров, электровозов, тепловозов, электропоездов, дизель-поездов, автомотрис, рельсовых автобусов, выполняемым в депо и на заводах как для ОАО «РЖД», так и на стороне.

Раздельный учет специфических (прямых производственных) расходов в деятельности по предоставлению услуг инфраструктуры включает в себя распределение части расходов по видам движения:

- 1) грузовые перевозки;
- 2) пассажирские перевозки в дальнем следовании;
- 3) пассажирские перевозки в пригородном сообщении.

Необходимость распределения специфических (прямых производственных) расходов между видами деятельности обусловлена невозможностью (или экономической нецелесообразностью) раздельного учета по некоторым статьям на уровне линейного предприятия.

В этом смысле для подтверждающих аргументов вполне пригоден пример расчета по данным условной дороги структуры расходов по двум постоянно востребованным видам деятельности – «Грузовые перевозки» и «Предоставление услуг инфраструктуры в части грузовых перевозок».

Таблица 3

**Структура эксплуатационных расходов по виду деятельности «Грузовые перевозки»
по группам расходов в разрезе отраслевых хозяйств, %**

Отраслевое хозяйство	Группы затрат			
	Специфические	Общепроизводственные	Общехозяйственные	Итого
Коммерческая работа в сфере грузовых перевозок	49,78	16,39	33,83	100,00
Перевозки	55,42	8,80	35,78	100,00
Локомотивное хозяйство	75,03	10,10	14,87	100,00
Вагонное хозяйство	56,77	17,32	25,91	100,00
Хозяйство пути	53,52	20,59	25,89	100,00
Гражданские сооружения, водоснабжение и водоотведение	67,84	14,14	18,02	100,00
Автоматика и телемеханика	62,21	12,86	24,93	100,00
Электрификация и электроснабжение	50,22	18,63	31,15	100,00
Прочие подразделения	71,47	8,17	20,36	100,00
Всего	62,61	14,10	23,29	100,00

Таблица 4

**Структура эксплуатационных расходов по виду деятельности
«Предоставление услуг инфраструктуры в части грузовых перевозок»
по группам расходов в разрезе отраслевых хозяйств, %**

Отраслевое хозяйство	Группы затрат			
	Специфические	Общепроизводственные	Общехозяйственные	Итого
Перевозки	64,53	4,74	30,73	100,00
Локомотивное хозяйство	76,28	11,03	12,70	100,00
Вагонное хозяйство	63,20	11,89	24,91	100,00
Хозяйство пути	72,51	13,79	13,70	100,00
Гражданские сооружения, водоснабжение и водоотведение	52,00	20,04	27,96	100,00
Автоматика и телемеханика	63,17	12,07	24,77	100,00
Электрификация и электроснабжение	54,29	17,31	28,39	100,00
Прочие подразделения	48,04	18,36	33,60	100,00
Всего	59,59	14,19	26,22	100,00

АНАЛИЗ УСЛОВНЫХ ДАННЫХ

Величина эксплуатационных расходов рассчитывается по статьям классификатора по каждому УВР (таблица 1). Наибольший удельный вес расходов приходится на «Содержание и эксплуатацию инфраструктуры железнодорожного транспорта» — 63,4% и 93,4% соответственно по видам деятельности «Грузовые перевозки» и «Предоставление услуг инфраструктуры в части грузовых перевозок».

В таблице 2 представлена структура расходов по рассматриваемым видам деятельности в отраслевых хозяйствах.

Наибольший удельный вес в грузовых перевозках занимают локомотивное хозяйство — 32,2% и хозяйство пути — 31,5%, а в предоставлении услуг инфраструктуры самые большие затраты имеют хозяйство электрификации и энергоснабжения — 36,2% и хозяйство пути — 26,7%.

Расчет структуры расходов отраслевых хозяйств по видам деятельности «Грузовые перевозки» и «Предоставление услуг инфраструктуры в части грузовых перевозок» выполнен по трем группам затрат (таблицы 3 и 4).

В существующей финансовой отчетности формы 7-у расходы по каждому



Таблица 5

Структура эксплуатационных расходов по грузовым перевозкам по элементам затрат, %

Элементы затрат	Вид деятельности «Грузовые перевозки» 100%	В том числе с выделением доли затрат	
		УВР «Содержание и эксплуатация инфраструктуры» 63,4%	Хозяйство пути 31,5%
На оплату труда	40,4	45,6	39,7
Отчисления на социальные нужды	8,5	9,7	8,7
Материалы	6,4	7,9	10,7
Топливо	6,3	1,4	1,2
Электроэнергия	10,4	3,0	1,3
Прочие материальные затраты	6,3	7,0	7,7
Амортизация	16,3	19,7	25,7
Прочие затраты	5,4	5,7	5,0
Всего затрат	100,0	100,0	100,0

хозяйству разделены по видам перевозок, отраслевым хозяйствам и укрупненным видам работ. Общепроизводственные и общехозяйственные расходы пропорциональны фонду оплаты труда по эксплуатационной деятельности и отражаются отдельной строкой по каждому хозяйству и виду перевозок. При этом общую сумму расходов по виду деятельности можно рассчитать, только суммируя строки по статьям, что существенно увеличивает объем счетной работы. Считаем целесообразным поэтому при совершенствовании отчетности 7-у предусмотреть дополнительную форму, в которой указывались бы общие суммы расходов по каждому виду деятельности и УВР по группам расходов (специфические, общепроизводственные и общехозяйственные).

Наибольший удельный вес занимают специфические (прямые производственные) расходы — 62,6% (грузовые перевозки) и 59,6% (предоставление услуг инфраструктуры), при этом доля этих расходов значительно колеблется по отдельным хозяйствам — от 50–54% в хозяйстве электрификации и энергоснабжения до 75–76% в локомотивном хозяйстве.

В зависимости от экономического содержания расходы, связанные с производством, группируются по элементам затрат: на оплату труда; отчисления на социальные нужды; материальные затраты (материалы, топливо, электроэнергия и др.); амортизация; прочие затраты.

Группировка по элементам затрат осуществляется по каждой статье классификатора расходов, отраслевым хозяйствам и основным группам расходов. Это делается при планировании и учете фактических затрат.

Примеры расчетов структуры эксплуатационных расходов по элементам затрат выполнены по грузовым перевозкам по данным условной железной дороги (таблица 5). Рассматривая структуру расходов, можно четко проследить различия между высокой долей материальных затрат (более 29%) по виду деятельности «Грузовые перевозки» и долей тех же затрат одного из УВР «Содержание и эксплуатация инфраструктуры» (19,3%).

Наибольший удельный вес в расходах по грузовым перевозкам занимают элементы «затраты на оплату труда» — свыше 40% и амортизация — 16,3%. В структуре укрупненных видов работ, связанных с инфраструктурой, удельный вес зарплаты выше 45%, а амортизации — почти 20%, что объясняется наличием *в хозяйствах инфраструктуры значительной численности работников и пассивных основных фондов железнодорожного транспорта*. Характерен пример хозяйства пути, где особенности затрат заключаются в высоком удельном весе заработной платы (около 40%) и амортизационных отчислений (почти 26%), *а также отмечается низкий удельный вес расходов на топливо и электроэнергию*.

Структура расходов по группам основных специфических расходов, общепроизводственных и общехозяйственных расходов по УВР и отраслевым хозяйствам, а также по элементам затрат существенно различается по видам деятельности. И это следует внимательно оценивать и учитывать при планировании, бюджетировании и экономическом анализе эксплуатационных расходов железных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость привлечения дополнительных объемов перевозок ради обеспечения устойчивого финансового положения железнодорожного транспорта и снижения доли транспортных затрат в цене конечной продукции требует все более глубокого экономического обоснования затрат на перевозки. Причем такая задача в равной мере актуальна для всех холдинговых структур. Железные дороги остаются территориальными филиалами ОАО «РЖД», но при этом их роль значительно изменяется: из хозяйственных единиц они преобразованы в региональные центры корпоративного управления (РЦКУ).

Новая организация предполагает модернизацию системы управления экономической деятельностью отрасли на базе автоматизированных информационных систем, позволяющих вести мониторинг затрат и результатов в режиме реального времени.

От точности калькулирования затрат и степени их соотношения с доходами по видам деятельности, укрупненным видам работ и тарифным составляющим зависит эффективность принятия управленческих решений как в зоне ответственности руководства ОАО «РЖД», так и на уровне РЦКУ и отдельных подразделений.

Новые подходы к формированию, учету и распределению затрат дают возможность существенно конкретизировать методику оценки факторов, влияющих на специфику управления затратами, принимая во внимание:

- изменение структуры управления отраслью;
- разделение видов собственности и на этой базе выделение расходов по ви-

дам деятельности, укрупненным видам работ и тарифным составляющим;

- развитие информационной базы формирования затрат;

- применение единого методического подхода к автоматизации расчетов затрат и доходов на основе внедрения корпоративного управленческого учета и развития системы ЕК АСУФР, позволяющей осуществлять сквозной учет и калькулирование затрат по видам деятельности и УВР на всех уровнях управления;

- взаимосвязь эксплуатационных расходов с показателями конъюнктуры транспортного рынка: объемом перевозок, качеством транспортного обслуживания, порядком ценообразования, с учетом места и роли эксплуатационных расходов по виду деятельности и УВР.

Областью применения структуры расходов могут быть расчеты стоимостных нормативов бюджетов при планировании расходов, обоснование уровня мотивационного бюджета, увеличение прибыльности предприятия, а все вместе это касается и формирования бюджетов холдинга, отдельных транспортных компаний, их подразделений и филиалов. То есть особенности структурирования эксплуатационных расходов должны рассматриваться шире, чем просто повод к переоценке существующих методик и форм учета. Их диффузный смысл подразумевает немалые инновационные возможности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Порядок ведения раздельного учета доходов, расходов и финансовых результатов по видам деятельности, тарифным составляющим и укрупненным видам работ открытого акционерного общества «Российские железные дороги». Приказ № 311 от 31 декабря 2010 г. (зарегистрирован Минюстом России 12 апреля 2011 г., № 20470).
2. Номенклатура доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД». — М., 2010. — 228 с.
3. Смехова Н. Г., Шобанов А. В. Новые принципы управления расходами ОАО «РЖД» // Экономика железных дорог. — 2009. — № 3. — С. 62–76; № 4. — С. 31–45.
4. Экономика железнодорожного транспорта: Учебник / Н. П. Терёшина, В. Г. Галабурда, В. А. Токарев и др.; Под ред. Н. П. Терёшиной, Б. М. Лапидуса. — М.: УМЦ ЖДТ, 2008. — 987 с.
5. Терёшина Н. П., Смехова Н. Г., Иноземцева С. М., Токарев В. А. Расходы инфраструктуры железнодорожного транспорта: Учеб. пособие. — М.: Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д., 2010. — 224 с.





STRUCTURAL FEATURES OF OPERATING COSTS

Korolkova, Natalia V. – Ph. D. (Economics), associate professor at the department of Economics and Management of Transport of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Inozemtseva, Svetlana M. – Ph.D. (Economics), associate professor at the department of Economics and Management of Transport of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article presents the system distribution of operating costs, their structure and grouping according to the nomenclature adopted by the JSC «Russian Railways» for each type of selected activities. Items for aggregate activity types are highlighted. Detailed examples of calculations related to the accounting and expenditure items for freight transportation and the provision of infrastructure services for them, including sectoral units, groups and elements of costs are given. Analysis of the used typical schemes and the results obtained on simulated railways makes it possible to evaluate the potential of existing methods in terms of growing demands for cost management, improvement of regulatory framework of budget sector of the railway holding.

ENGLISH SUMMARY

Background. Operating costs are a key performance indicator for railway transport. Financial and economic results and stability of the industry development depend on their consistency with income. With account for it and under conditions of a high competition of railways with other modes of transport for the traffic volumes at ever-increasing prices of consumable resources the holding company «Russian Railways» needs a system of regulation and control of expenses, which would allow not only providing a uniform procedure for the formalization and cost accounting but would be useful for analysis, forecasting, would imply adaptive means.

Objective. The objective of the authors is to analyze operating costs of railways on the basis of different indicators.

Methods. The authors use comparison and system, organization and financial.

Results.

System distribution

As for considered category of operating costs, it includes ordinary activities' expenses and nonoperating expenses.

Business ordinary expenses are related to manufacture and sale of products, purchase and sale of goods, performance of a certain type of works, rendering of services.

Directly at JSC «Russian Railways» they involve:

- Expenses on rendering of services and performance of works;
- Expenses on production of goods and semi-finished products made in the reporting period;
- Expenses on providing its assets under the lease contract (in accordance with the accounting policy of «Russian Railways») for payment for temporary use (temporary possession and use);
- Cost of goods purchased for resale.

Expenses come into account in the branches and structural divisions as well in the context of items and elements of costs.

Depending on the relation to the production process ordinary business expenses are divided into directly initiated by this process (production related expenses) and general business expenses, i. e. related to service of production process and management. In turn, costs initiated by production process are

divided into specific (direct production) and general production expenses. Specific expenses in the classifier are grouped for aggregated activity types (hereinafter – AAT) (this is a group of items, united by function nature), types of activity, sectoral units.

General business expenses comprise two groups:

1. General business expenses without expenses on the administrative apparatus.

2. Expenses on the administrative apparatus (see Pic. 1).

Types of activity of JSC «Russian Railways» are divided into two groups:

1) Transportation, provision of infrastructure and locomotive traction services (see Pic. 2);

2) Operations that are not related to transportation, provision of infrastructure and locomotive traction services (see Pic. 3).

A distinctive feature of the first group is an integrated (network) nature of provision of services.

Separate accounting of expenses for types of specified activity includes distribution of a share of costs to maintain railway infrastructure, locomotive traction, rolling stock repairs, etc. Expenses of this group can be differentiated correspondingly only at the branch level (territorial and functional) and at the central level of «Russian Railways», as statistics on the basis of which the distribution is carried out, is formed only at a particular railway or within the entire network. Income and financial results for the types of activities are also determined solely within the holding company.

While types of activity of the second group are concerned, the classifier provides for itemized separate accounting of specific (direct production) expenses in subdivisions and other structural entities. Income, expenses and financial results are determined within each unit performing particular work.

Items of specific (direct production) expenses in the classifier are to be further separated into two groups: items- resources and items- functions, which in turn are grouped for AAT.

Itemized calculation

Aggregate activity types are a group of items, united on a functional basis. Let us consider in more detail AAT of the first group.

Aggregate activity type «Provision of services for freight transportation» includes items:

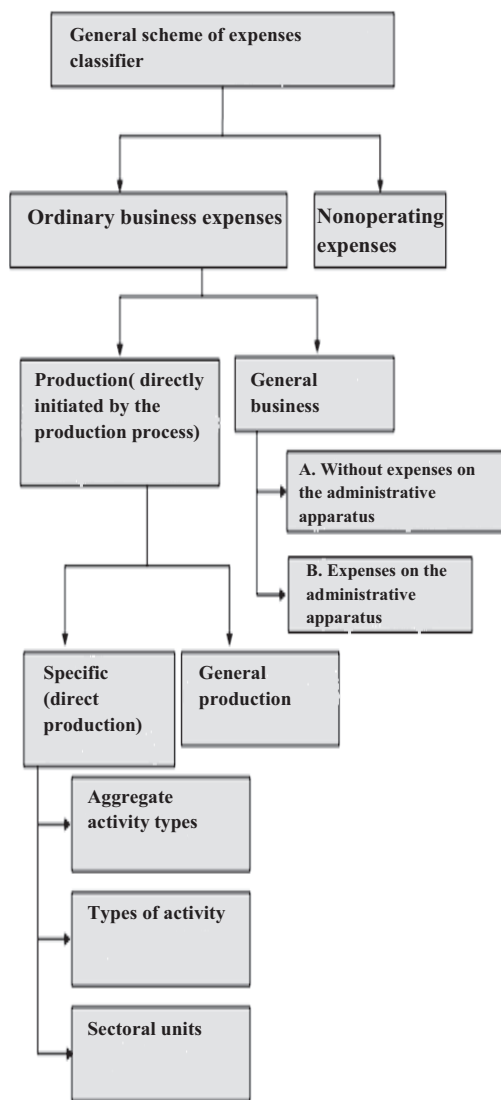
- Preparation of freight cars and containers for carriage of goods;
- Displacement of cars;
- Handling, reception and delivery, reclassification, weighing;
- Additional services to clients, etc.

This type also includes operations related to amortization of freight cars and containers.

«Maintenance and operation of the railway infrastructure» includes items related to maintenance, service, repair, operation and amortization of facilities of the designated sphere.

AAT «Locomotive traction» includes the following items of expenditure:

- Operation of locomotives for freight and passenger traffic, as well as provision of locomotive traction services;



Pic. 1. Classifier of expenses in the nomenclature of income and expenditures for types of activity of JSC «Russian Railways».

- Operation of trains, diesel trains, railcars and rail buses;
- Equipping, servicing and cleaning of locomotives operating in freight and passenger traffic, of trains, diesel trains, railcars and rail buses;
- Locomotive operations at shunting operations;
- Equipping shunting locomotives;
- Amortization of locomotives, electric trains, diesel trains, railcars and rail buses.

«Provision of services for passenger long-distance transportation» and «Provision of services for passenger commuter transportation» have similar items of expenditure. They are related to passenger services, maintenance of rolling stock and services to carriers.

As for «Repair of rolling stock and transport equipment», this section refers to expenditure on maintenance, all types of repair and overhaul of freight and passenger cars, containers, electric locomotives, diesel locomotives, electric and diesel trains, railcars, rail buses, performed at the depot, and plants for JSC «Russian Railways», and for other enterprises.

Separate accounting of specific (direct production) expenses in activity related to provision of infrastructure services includes distribution of the shape of costs according to the type of movement:

- 1) freight transportation;
- 2) passenger long-distance transportation;
- 3) passenger commuter transportation.

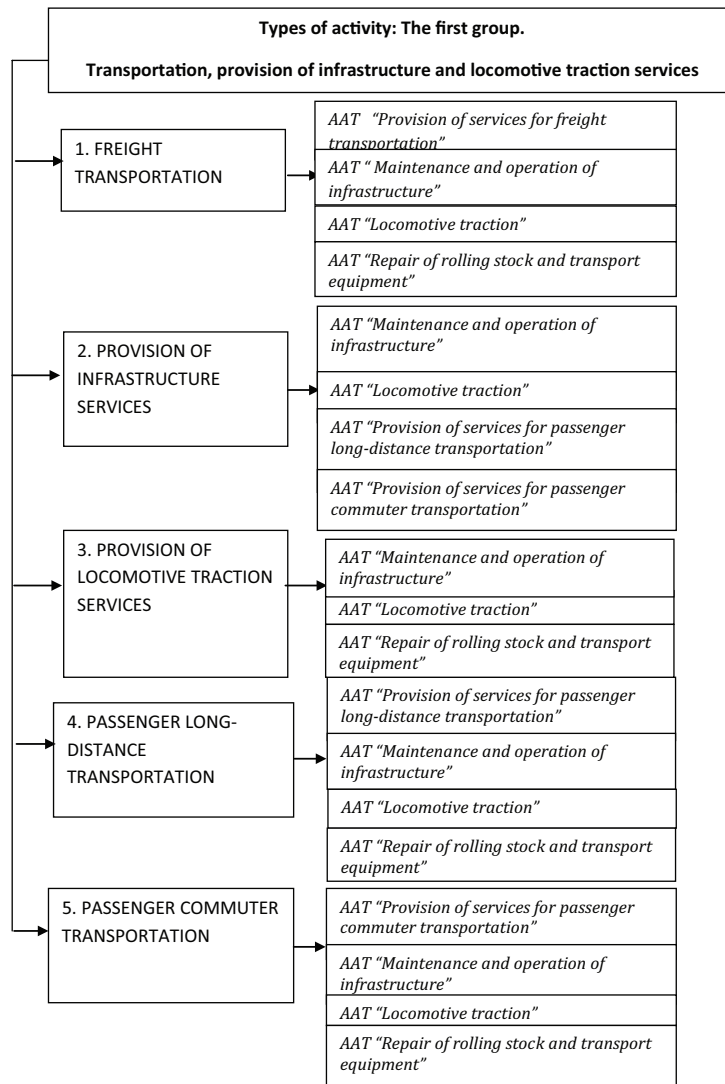
The need for the distribution of specific (direct production) expenses among types of activity is justified by inability (or economical unviability) of separate accounting for some items at the level of a linear (local) entity.

In that sense an example of calculation of expenses for two constantly required types of activity which are «Freight transportation» and «Provision of infrastructure services for freight transportation» according to data of a simulated railway can be considered as a good supporting argument.

Analysis of simulated data

The value of operating costs is calculated for items of the classifier for each AAT (Table 1). The largest share of expenses falls into category «Maintenance and operation of the railway infrastructure» that represents respectively 63,4% and 93,4% of operation





Pic. 2. Scheme of formation of expenses of normal business activities for AAT (types of activity 1–5).

expenses within activities, «Freight transportation» and «Provision of infrastructure services for freight transportation».

Table 2 shows the structure of expenses for considered types of activity in sectoral units. The largest share in freight transportation is occupied by locomotive unit – 32,2% and track unit – 31,5%, and in the provision of infrastructure services the largest expenses relate to electrification and energy supply unit – 36,2% and track unit – 26,7%.

Calculation of structure of sectoral units expenses for types of activity «Freight transportation» and «Provision of infrastructure services for freight transportation» is carried out for three groups of expenses (Tables 3 and 4).

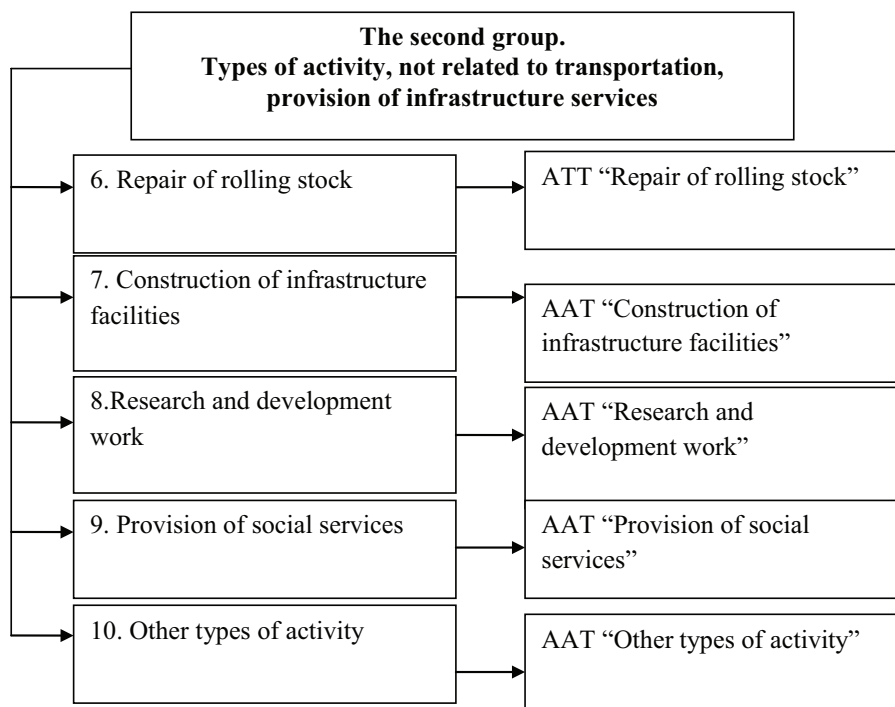
In the current financial statements expenses for each unit are divided according to the type of transportation, sectoral units and aggregate activity types. General production and general business expenses are proportional to the wage fund for operational activity and are recorded as a separate line for each unit and type of transportation. In this case, the total amount of expenses for type of activity can be calcu-

lated only by summing lines for items which significantly increases the amount of calculation work. Therefore the authors consider it appropriate, if the accounting forms are revised, to provide an additional form, which will enlist general amount of expenses for each type of activity and AAT for groups of expenses (specific, general production and general business).

The greatest share belongs to specific (direct production) costs – 62,6% (freight transportation) and 59,6% (provision of infrastructure services), while the share of these costs varies considerably for individual units – from 50–54% in the unit of electrification and power supply to 75–76% in the locomotive unit.

Depending on the economic substance costs associated with production are grouped according to cost elements: labor expense; social security fees; material costs (materials, fuel, electric energy, etc.); amortization; other expenses.

Grouping according to cost elements is carried out for each item of the expenses classifier, sectoral units and main groups of expenses. This is done during planning and accounting of actual costs.



Pic. 3. Scheme of formation of expenses of normal business activities for AAT (types of activity 6–10).

Table 1

Structure of operating costs for freight transportation in the context of AAT, %

Aggregate activity types	Types of activity	
	Freight transportation	Provision of infrastructure services for freight transportation
Provision of services for freight transportation	3,7	-
Maintenance and operation of the railway infrastructure	63,4	93,4
Repair of rolling stock	3,6	3,3
Locomotive traction	29,3	3,3
Total	100	100

Table 2

The structure of expenses for freight transportation for type of activity in the context of sectoral units, %

Sectoral unit	Types of activity	
	Freight transportation	Provision of infrastructure services for freight transportation
Commercial work in freight transportation sector	2,7	–
Transportation	10,5	15,8
Locomotive	32,2	6,6
Cars	6,3	–
Track	31,5	26,7
Civil engineering structures, water supply and sanitation	2,1	4,0
Automation and remote control	7,5	9,0
Electrification and energy supply	5,5	36,2
Other units	1,7	1,7
Total	100,0	100,0





Table 3
Structure of operating costs for type of activity «Freight transportation» for groups of expenses in the context of sectoral units, %

Sectoral unit	Groups of expenses			
	Specific	General production	General business	Total
Commercial work in freight transportation sector	49,78	16,39	33,83	100,00
Transportation	55,42	8,80	35,78	100,00
Locomotive	75,03	10,10	14,87	100,00
Cars	56,77	17,32	25,91	100,00
Track	53,52	20,59	25,89	100,00
Civil engineering structures, water supply and sanitation	67,84	14,14	18,02	100,00
Automation and remote control	62,21	12,86	24,93	100,00
Electrification and energy supply	50,22	18,63	31,15	100,00
Other units	71,47	8,17	20,36	100,00
Total	62,61	14,10	23,29	100,00

Table 4
Structure of operating costs for type of activity «Provision of infrastructure services for freight transportation» for groups of expenses in the context of sectoral units, %

Sectoral unit	Groups of expenses			
	Specific	General production	General business	Total
Transportation	64,53	4,74	30,73	100,00
Locomotive	76,28	11,03	12,70	100,00
Cars	63,20	11,89	24,91	100,00
Civil engineering structures, water supply and sanitation	72,51	13,79	13,70	100,00
Track	52,00	20,04	27,96	100,00
Automation and remote control	63,17	12,07	24,77	100,00
Electrification and energy supply	54,29	17,31	28,39	100,00
Other units	48,04	18,36	33,60	100,00
Total	59,59	14,19	26,22	100,00

Table 5
Structure of operating costs for freight transportation for cost components, %

Cost elements	Type of activity «Freight transportation» 100%	Including with allocation of the share of costs	
		AAT «Maintenance and operation of infrastructure» 63,4%	Track unit 31,5%
Labour expense	40,4	45,6	39,7
Social security contributions	8,5	9,7	8,7
Materials	6,4	7,9	10,7
Fuel	6,3	1,4	1,2
Electric energy	10,4	3,0	1,3
Other material expenses	6,3	7,0	7,7
Amortization	16,3	19,7	25,7
Other expenses	5,4	5,7	5,0
Total	100,0	100,0	100,0

Examples of calculations of the structure of operating costs for cost elements are made for freight transportation according to data of a simulated railway (Table 5). Considering the cost structure we can clearly see the difference between a high share of material costs (over 29%) for the type of activity «Freight transportation» and a lower share of the same material costs (19,3%) for AAT «Maintenance and operation of infrastructure».

The largest share of costs for freight transportation have elements «labor expenses» – more than 40% and amortization – 16,3%. In the structure of aggregate activity types related to infrastructure, the share of labor expenses is over 45%, and the share of amortization is almost 20%, due to the presence of a large number of employees and passive fixed assets of rail transport in infrastructure units. The example of track unit shows that the share of labor expenses (about 40%) and amortization (almost 26%) are high, and there is a low share of costs of fuel and electric energy.

The structure of the costs for groups of main specific expenses, general production and general business expenses for AAT and sectoral units as well as for cost components varies considerably for each type of activity. And it should be carefully assessed and taken into account when planning, budgeting, and performing an economic analysis of the operating costs of railways.

Conclusion.

The need for additional traffic volumes to ensure sustainable financial position of rail transport and to reduce the share of transport costs in the price of the final product requires a more in-depth feasibility research of costs for transportation. And this task is equally relevant for all holding companies. Railways are territorial branches of JSC «Russian Railways», but their role changes considerably: from business units they are transformed into regional centers of corporate management (RCCM).

The new organization implies modernization of management system of economic activities on the basis of automated information systems to monitor costs and results in real time.

The accuracy of calculation of costs and the degree of their relationship to the income by type of

activity, aggregate activity type and integrated tariff component influences the effectiveness of managerial decision-making in the area of responsibility of the management of «Russian Railways», and at the level of RCCM and individual units.

New approaches to formation, registration and distribution of costs contribute to substantially specify a methodology to assess the factors affecting the specificity of cost management, taking into account:

- Change in the management structure of the railways;
- Division of ownership types and on this basis, the allocation of the costs for type of activity, aggregate activity type and integrated tariff component;
- The development of an information base of costs formation;
- The use of a single methodological approach to the automation of calculations of costs and income through the introduction of a corporate management accounting and the development of the EC ASUFR (Common corporate automated system of management of finances and resources – ed.note) enables to perform a thorough accounting and calculation of costs for types of activity and AAT at all levels of management;
- Relationship of operating costs with performance conditions of the transport market: volume of traffic, quality of transport services, pricing, depending on the position and role of operating costs by type of activity and AAT.

Expenses structure can be applied to a scope of problems, e.g. to: calculations of cost norms of budgets during the process of planning of costs; substantiation of the level of motivational budget, programming of increase in profitability of an enterprise. All together it refers to budgeting of the holding, individual transport companies, their branches and subsidiaries. It means that characteristic features of structuring of operating costs should be considered wider than just as an occasion to re-evaluate existing methodologies and forms of accounting. Their diffuse sense implies considerable innovative opportunities.

Keywords: economy, railway, operating costs, freight transportation, type of activity, cost structure, classifier, aggregate activity types, calculation methods, system distribution.

REFERENCES

1. The procedure of separate accounting of income, expenditures and financial results by type of activity, tariff components and aggregated activity types of JSC «Russian Railways». Order № 311 of the 31st of December 2010 (registered by Ministry of Justice of Russia on the 12th of April, 2011, registration number 20470). [*Porjadok vedeniya razdel'nogo ucheta dohodov, rashodov i finansovykh rezul'tatov po vidam dejatel'nosti, tarifnym sostavljajushhim i ukрупnennym vidam rabot otkrytogo akcionernogo obshhestva «Rossijskie zheleznyye dorogi». Prikaz № 311 ot 31 dekabrya 2010 g. (zaregistrirovano Minjustom Rossii 12 aprelja 2011 g., registratsionnyj № 20470)*].
2. Nomenclature of income and expenditure by type of activity of JSC «Russian Railways» [*Nomenklatura dohodov i rashodov po vidam dejatel'nosti OAO «RZhD»*], 2010, 228 p.

3. Smekhova, N.G., Shobanov, A. V. New principles of cost management of JSC «Russian Railways» [*Novye principy upravleniya rashodami OAO «RZhD»*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2009, No.3, pp. 62–76; No.4, pp. 31–45.
4. Tereshina, N.P., Galaburda, V.G., Tokarev, V.A. [et al]. Economics of Railway Transport: Textbook for universities of railway transport [*Ekonomika zheleznodorožnogo transporta: Uchebnik dlja vuzov zh.-d. transporta*]. Ed. by N. P. Tereshina, B. M. Lapidus. Moscow: UMC ZhDT, 2008, 987 p.
5. Tereshina, N.P., Smekhova, N.G., Inozemtseva, S.M., Tokarev V. A. Expenditures of rail transport infrastructure: educational guide [*Rashody infrastruktury zheleznodorožnogo transporta: uchebnoe posobie*]. Moscow: UMC ZhDT, 2010, 224 p.

Координаты авторов (contact information): Королькова Н. В. (Korolkova, N. V.) – Korolkova_NV@bk.ru, Иноземцева С. М. (Inozemtseva, S. M.) – inosveta@yandex.ru

Статья поступила в редакцию / article received 25.06.2014
Принята к публикации / article accepted 17.09.2014





Точки опоры для дальневосточных преобразований



Любамира ЕФИМОВА

Lyubamira V. EFIMOVA

Ефимова Любамира Викторовна — научный сотрудник объединенного ученого совета ОАО «РЖД», аспирант Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), Москва, Россия.

Взаимозависимость социально-экономического развития дальневосточных регионов страны и перспектив строительства транспортной инфраструктуры рассматривается в статье на уровне стратегической государственной задачи. При этом обосновывается особое значение для экономических преобразований Республики Саха (Якутия), имеющей самую большую площадь в РФ и богатейшие запасы полезных ископаемых, а также оценивается ее транспортно-транзитный потенциал с учетом возможного расширения железнодорожной сети и включения создаваемых новообразований в систему международных транспортных коридоров.

Ключевые слова: экономика, транспортная инфраструктура, Дальний Восток, Восточная Сибирь, Якутия, железные дороги, проекты, строительство, международные транспортные коридоры, социально-экономические перспективы региона.

По оценкам экспертов, чтобы создать на Востоке России полноценный хозяйственный контур, с современным сектором услуг, что позволило бы включить механизмы динамичного роста экономики и улучшения демографической ситуации, надо обеспечить развитие транспортной инфраструктуры [1]. Сегодня из-за ее слабости экономическое пространство Сибири и Дальнего Востока носит фрагментарный характер. А фрагментарность, дезинтегрированность, неоднородность тормозят осуществление экономических преобразований и затрудняют синхронное проведение реформ в различных регионах [2]. Происходит локализация экономического пространства, которое концентрируется в основном в южных районах Сибири, узкой полосе вокруг Транссибирской железнодорожной магистрали и крупных городах.

В то время как Китай и другие юго-восточные соседи России демонстрируют быстрый рост экономики, привлекая солидные инвестиции, восточные территории Российской Федерации оказались ослабленными в результате оттока населения, сворачивания производства, усиления оторванности от центральных районов

страны [3]. В федеральной целевой программе развития Дальнего Востока и Забайкалья отмечается, что экономика здесь в ближайшие годы не сможет конкурировать со странами Азиатско-Тихоокеанского региона в производстве продукции машиностроения, сфере информационных технологий и т. д. Поэтому позиционирование должно осуществляться на основе добычи и переработки имеющихся природных ресурсов и использования местных транзитных возможностей [4].

В этом плане железнодорожный транспорт играет исключительно важную роль. На данный момент крупные месторождения полезных ископаемых удалены от железных дорог, но именно опережающее развитие железнодорожных сетей может сыграть решающую роль в освоении природных богатств. К тому же стоит отметить, что строительство и содержание автомобильных дорог в районах Сибири и Дальнего Востока затруднены климатическими условиями, отсутствием необходимых строительных материалов, особенностями транспортных средств. Вывоз добываемых полезных ископаемых с использованием автомобилей большой грузоподъемности (с нагрузкой до 15 т на ось) приводит к разрушению дорожного покрытия. Эти факторы, а также относительно низкая интенсивность движения по сибирским дорогам заметно снижают вероятность применения механизма концессий и строительства платных автотрасс [5].

Государство, стремясь изменить ситуацию, должно опираться на регионы, обеспечивающие переход на выигрышную траекторию развития [6]. Таким опорным звеном, на наш взгляд, может стать Республика Саха (Якутия), которая относится к важнейшим минерально-сырьевым и горнодобывающим центрам не только российского, но и мирового значения [7].

Однако строительство путей сообщения лишь ради освоения месторождений полезных ископаемых не имеет долгосрочных перспектив, усиливает сырьевую направленность экономического развития, которое не может быть устойчивым вследствие как волатильности мировых цен на сырье, так и неизбежной ограниченности ресурса разрабатываемых месторождений. Ресурсно-ориентированный и кластерный пути

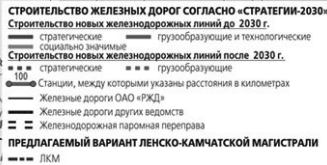
развития экономики с большой вероятностью приводят к появлению бесперспективных поселений, безработицы, заброшенных дорог после того, как крупные добывающие компании сворачивают свою деятельность [5]. Надо с этой точки зрения отметить, что территория республики не только богата полезными ископаемыми, но и имеет серьезный транспортно-транзитный потенциал.

Якутия занимает особое экономико-географическое положение. Ее можно отнести и к Восточной Сибири, и Дальнему Востоку. Факторами ее близости с Восточной Сибирью являются схожие природно-климатические условия, уникальные природные богатства (нефть, природный газ, алмазы, уголь), а также история хозяйственного и транспортного освоения, в том числе и с учетом создания Ленского речного пароходства и Северного морского пути. Вместе с тем, имея в виду перспективы развития транспортной и энергетических систем, межрегиональных интеграционных процессов, географическую близость к рынкам АТР, она с очевидностью тяготеет и к Дальнему Востоку.

В условиях глобализующейся мировой экономики, при динамичном росте товаропотоков между АТР и Европой существующий железнодорожный потенциал не позволит России использовать естественные географические преимущества трансконтинентального сухопутного «моста» и грозит перевести страну на периферийное положение в мировой транспортной системе. А отсюда и естественный вывод: развитие и расширение сети железных дорог Сибири и Дальнего Востока становятся первоочередной стратегической задачей государственной политики [8].

С вводом в эксплуатацию железной дороги Беркакит–Томмот–Якутск образуется перспективный меридиональный транспортный коридор, соединяющий широтные магистрали — Транссибирскую и БАМ, с одной стороны, и Северный морской путь — с другой, и это в случае ожидаемого строительства моста через р. Амур в районе г. Благовещенска дает возможность всей региональной транспортной системе обрести международный характер, расширить транзитные перевозки и по се-





ти смешанного типа «железная дорога – река – море» из стран АТР и Японии в Европу и обратно. Вариант более чем привлекательный: дальность транспортировки грузов с использованием Северного морского пути сокращается на 2–3 тыс. км.

Обеспечение прочным «обручем» круглогодично действующей транспортной системы БАМ—Ленск—Якутск—БАМ — это не только содействие в решении экономических и социальных задач, освоении богатейшего ресурсного потенциала,

Республика Саха (Якутия), нельзя забывать, является самым крупным по территории и природно-ресурсному потенциалу субъектом Российской Федерации. Её площадь составляет 3083,5 тыс. км², что равно 20% территории всей страны или почти 60% земель Западной Европы. Однако республика отличается слабой заселенностью, в 2013 году средняя плотность населения была 0,31 чел./км², что в десятки раз ниже, чем в европейских регионах и РФ в целом (8,4 чел./км²), и известна своим очаговым характером расселения [10].

С этих позиций для оценки сложившегося экономического ландшафта рассмотрим трехмерную карту России [11], выполненную в Йельском университете группой В. Нордхауза в рамках проекта G-Econ и предполагающую географически привязанную экономическую информацию (рис. 2). Разработчики дают свою модификацию показателя ВРП – валовой

региональный продукт на «ячейку» земной поверхности с размерами один градус широты и один градус долготы.

Особенность карты в том, что объемы ВРП привязаны к численности и расселения плотности производящего его населения, так как рассчитаны на основе данных о ВРП на душу населения. Поэтому малонаселенные районы Сибири и Дальнего Востока, несмотря на большие объемы ВРП, на ней выглядят как небольшие холмики, а южные регионы — как горная гряда.

Являясь профессиональными географами, авторы построили подобные карты для большинства стран мира и оценили регрессионные зависимости валового регионального продукта от некоторых географических параметров. Они пришли к выводу, что «экономические пустыни мира — это холодные регионы». Как только средняя температура падает ниже 20 градусов, вероятность оказаться экономической пустыней превышает 80%. К таким зонам относятся Антарктика, Гренландия, северные части России и Канады [12]. Из этого вывода мало что следует для региональной политики, но то, что без людей не будет экономической жизни, сам подобный способ визуализации экономических данных демонстрирует убедительно.

В свою очередь, освоить просторы Дальнего Востока, в частности и Якутии, по большей части безлюдные, в существующей на данный момент ситуации вряд ли возможно. Специалисты утверждают, что для консолидированного развития Дальнего Востока и остальной России не обойтись без целевой социальной стратегии. В качестве главной установки эта стратегия содержит положение о необходимости разумного заселения региона, в основе которой должна лежать так называемая «опорная железнодорожная транспортная решетка». Другими словами, нужна устойчивая круглогодичная связь большинства территорий Дальнего Востока с дорожной сетью других регионов РФ и мира [13].

Все это свидетельствует о том, что в ближайшие годы российские власти обязаны будут проводить активную региональную политику, которая учитывала бы опережа-



Рис. 2. Трехмерная экономическая карта России.

ющее развитие транспортной инфраструктуры. Причем такая комплексная задача должна решаться не только в целях ускорения экономического роста, но и повышения социального благополучия, стимулирования внутрирегиональной и межрегиональной миграции населения в общенациональных, государственных интересах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А., Чернышов С. Мертвый восток // Эксперт. — 2012. — № 27. — <http://expert.ru/expert/2012/27/mertvyij-vostok/>. Доступ 10.10.2014.
2. Орехова Е. А. Влияние характеристик и свойств экономического пространства на развитие территории // Региональная экономика: теория и практика. — 2008. — № 10. — С.19–23.
3. Борисов Е. А. Выступление на 4-й международной конференции «Инвестиционный потенциал Республики Саха (Якутия) — восточный вектор развития России». — 2007. — www.egorborisov.ru. Доступ 10.10.2014.
4. Сидоров М. Стране — восходящее солнце. www.epr-magazine.ru/prompolitics/maintheme/dal_vostok. Доступ 10.10.2014.
5. Алклычев А. М., Зоидов К. Х. Российские инновации: место в табели о рангах // Железнодорожный транспорт для территории и развития Сибири и Дальнего Востока. — 2011. — № 8. — С. 113–115.
6. Ерохина Е. А. Теория экономического развития, системно-синергетический подход // http://www.uamconsult.com/book_772.html. Доступ 10.10.2014.
7. Ефимова Л. В. Анализ влияния железнодорожной инфраструктуры на социально-экономическое развитие Республики Саха (Якутия) // Железнодорожный транспорт на современном этапе развития. — М.: Интекс, 2013. — С. 47–54.
8. Мачерет Д. А. Строительство железных дорог: восточный вектор // Мир транспорта. — 2013. — № 2. — С. 86–89.
9. Гудок. — 2009. — 30 марта.
10. Ишков А. М., Ефимова Л. В. Влияние новой железной дороги Беркамит — Томмот — Якутск на социальное развитие прилегающих территорий // Транспортное строительство. — 2014. — № 3. — С. 9–12.
11. <http://gecon.yale.edu/russia>. Доступ 10.10.2014.
12. Nordhaus William D., Xi Chen. Geography: Graphics and Economics // the B. E. Journal of Economic Analysis & Policy. — 2009. — Vol.9: Iss.2 (Contributions). Article 1. www.bepress.com/bejeap/vol9/iss2/art. Доступ 10.10.2014.
13. Леонтьев Р. Г., Комарова В. В., Каликина Т. Н. Железнодорожный транспорт Дальнего Востока РФ: сетевые особенности, тенденции перевозок и программы развития // Транспорт: наука, техника, управление. — 2008. — № 12. — С. 22.



SUPPORT POINTS FOR THE FAR EASTERN TRANSFORMATIONS

Efimova, Lyubamira V. – researcher at joint scientific council of JSC «Russian Railways», Ph.D. student of Research Institute of Railway Transport (VNIIZhT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

Interdependence of social and economic development of the Far Eastern regions of Russia and of prospects for construction of transport infrastructure is considered in the article as one of national strategic objectives. In addition the author justifies a particular importance of economic transformation of the Republic of Sakha (Yakutia), which has the largest area in the Russian Federation and the richest mineral resources, and assesses its transport-transit capacity, taking into account a possible expansion of a railway network and its integration with the system of international transport corridors.

ENGLISH SUMMARY

Background. According to experts, development of transport infrastructure in the East of Russia is a prerequisite for creation there of a comprehensive economic pattern with modern service sector and appropriate mechanisms, intended for dynamic economic growth and improvement of a demographic situation [1]. Today, due to insufficiency of transport infrastructure economic space of Siberia and the Far East is fragmented. Fragmentation, disintegration, heterogeneity hamper the implementation of economic reforms and hinder synchronous reforms in different regions [2]. The localization of economic space occurs, which is concentrated mainly in the southern regions of Siberia, in a narrow band around the Trans-Siberian railway and in major cities.

While China and other south-eastern neighbors of Russia demonstrate a rapid growth of economy, which attracts huge investment, eastern territories of Russia have been weakened as a result of out-migration, closing up of productions, increased isolation from the central regions of the country [3]. It is noted in the federal program for the development of the Far East and Trans-Baikal region that the economy in these regions in the coming years will not be able to compete with the countries of the Asia-Pacific region in production of engineering products, information technology, etc. Therefore, their positioning should be based on the extraction and processing of available natural resources and the use of local transit options [4].

In this regard, railway transport plays a crucial role. At the moment, large deposits of minerals are quite remote from the railways, but an accelerated development of rail networks can play a decisive role in the development of natural resources. In addition, it is worth noting that the construction and maintenance of motor roads in areas of Siberia and the Far East is hindered by difficult climatic conditions, lack of necessary construction materials, vehicle features. Transportation of extracted minerals using heavy-capacity vehicles (with a load of up to 15 tons per axle) leads to a destruction of pavement. These factors, as well as a relatively low traffic intensity on the Siberian roads significantly reduce the likelihood of the mechanism of concessions and construction of toll highways [5].

State, seeking to change the situation, should rely on regions, that should be a key factor for a transition to a successful development pathway [6]. The Re-

public of Sakha (Yakutia)¹, which is among the most important mineral resource and mining centers not only in Russia, but also globally, can be one of those strongholds [7].

However, a construction of railways only for the sake of development of mineral deposits has no long-term prospects, strengthens raw orientation of economic development, which cannot be sustained as a result of volatility in global commodity prices and inevitable limitations of the resource of mined deposits. Resource-oriented and cluster ways of development of the economy is likely to lead to the appearance of unpromising settlements, unemployment, abandoned roads after major mining companies close up their activities [5]. It is necessary to note that the territory of the republic is not only rich in natural resources, but also has a serious transport-transit potential.

Objective. The objective of the author is to assess strategic long-term potential of the Republic of Sakha (Yakutia) in terms of transport development strategy and the prospects of transport infrastructure construction.

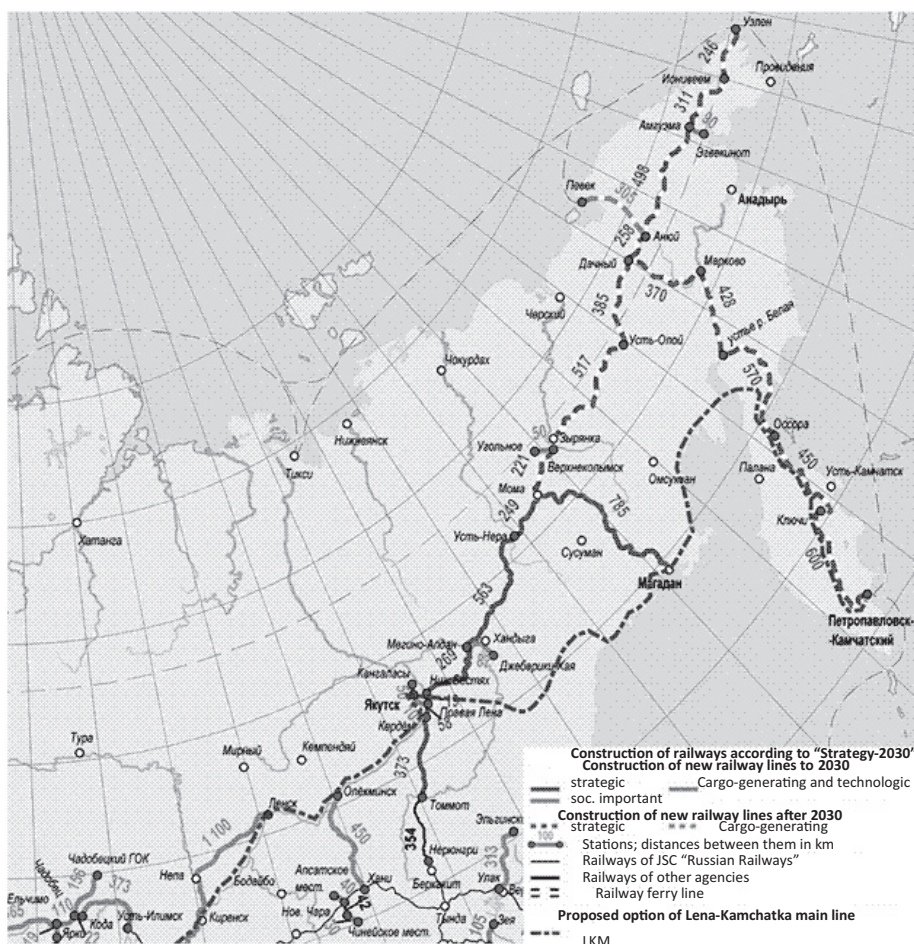
Methods. The author uses descriptive method and economic analysis, methods of comparative study and transport geography.

Results. Yakutia has a special economic and geographical position. It can refer to both the Eastern Siberia and the Far East. Its proximity to the Eastern Siberia can be seen through similar climatic conditions, unique natural resources (oil, natural gas, diamonds, coal), as well as the history of economic and transport development, interrelated transport projects like Lena inland navigation company and the Northern Sea Route. However, referring to the prospects for the development of transport and energy systems, and other inter-regional integration processes, geographical proximity to Asia-Pacific markets, it obviously gravitates toward the Far East.

In a globalizing world economy, with dynamic growth of trade flows between Asia Pacific region and Europe, the existing rail capacity will not allow Russia to use natural geographic advantages of transcontinental land «bridge» and threatens to convert the country into a peripheral position in the global transportation system. Hence there is a natural conclusion: development and expansion of a railway network in Siberia and the Far East has become a priority strategic objective of state policy [8].

With putting into operation of the railway Berkakit–Tommot–Yakutsk a promising meridional transport corridor is formed connecting the east-west main lines – the Trans-Siberian and Baikal-Amur Mainlines, on the one hand, and the Northern Sea Route – on the other hand. In view of expected construction of a bridge across the river Amur near Blagoveshchensk it enables the entire regional transportation system to gain international character, expand transit transportation and a network of a mixed type «railway – river – sea» from Asia Pacific countries and Japan to Europe and inversely. Option is rather attractive as the distance of trans-

¹The Republic of Sakha (Yakutia) according to the Constitution of Russia (ch.3 «The Federal Structure») is one of the subjects of the Russian Federation. – ed.note.



Pic. 1. Project of Lena-Kamchatka mainline (map, created under the guidance of Professor of MIIT B. Kosmin [9]).



Pic. 2. Three-dimensional economic map of Russia.

portation of goods using the Northern Sea Route might be reduced by 2–3 thousand km.

Further deployment and implementation of transport and transit potential of the republic requires the extension of the railway Berkakit–Tommot–Yakutsk through the Bering Strait to Alaska. When implementing such a project Yakutia could occupy a very significant place in the junction of strategic transport corridors: America- China, North-East of Russia- European part of Russia, China – Western Europe. That is, the railway will be part of an international network of trans-

port corridors, and not a dead-end infrastructure for the export of natural resources (Pic. 1).

Creation of a strong «band» for year-round operating transport system BAM (Baikal-Amur Mainline) – Lena–Yakutsk–BAM will promote solving economic and social problems, developing rich resource potential, but also will guarantee safety of living in those lands, the freedom of mobility of citizens.

The Republic of Sakha (Yakutia) is the largest in the territory and natural resources potential subject of the Russian Federation. Its area is 3083,5



thousand km², which is 20% of the territory of the whole country, or almost 60% of the land in Western Europe. However, population density in the republic is low, in 2013 the average population density was 0,31 persons / km², which is ten times lower than in European regions and the Russian Federation (in Russia the figure is 8.4 pers. /km²), and settlement is of focal nature [10].

From this perspective, to assess the current economic landscape, we consider a three-dimensional map of Russia [11], performed at Yale University by a group lead by B. Nordhaus within framework of a project G-Econ and implying geo-located economic information (Pic. 2). Developers give their own modification of GRP – gross regional product per «cell» of the earth's surface to the size of one degree of latitude and one degree of longitude.

Map feature is that GRP is tied to the size and density of population, producing GRP, since they are calculated on the basis of data on GDP per capita. Therefore, sparsely populated areas of Siberia and the Far East, despite the large amounts of GRP look like small hills on it, while southern regions look like a mountain range.

As professional geographers, the authors have constructed similar maps for most countries in the world and estimated regression dependence of the gross regional product from some geographical parameters. They concluded that «economic deserts in the world are cold regions». Once the aver-

age temperature drops below 20 degrees, the probability of being an economic desert exceeds 80%. These areas include Antarctica, Greenland, the northern parts of Russia and Canada [12]. From this conclusion, there is little to be for regional policy, but that way of visualization convincingly demonstrates the fact that there will be no economic life without residents.

Conclusion. In the existing situation it is hardly possible to develop expanses of the Far East, and particularly of Yakutia, which are mostly uninhabited. Experts claim that it is impossible to foresee consolidated development of the Far East and of Russia as a whole without a socially-oriented strategy. As the main focus, this strategy should contain a provision requiring a reasonable settlement of the region, which should be based on so-called «supporting rail transport frame». In other words, we need a steady year-round connection of the majority of territories of the Far East with the road network in other regions of the Russian Federation and of the world [13].

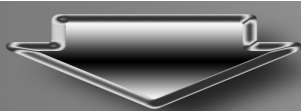
All this indicates that in the coming years the Russian authorities will be obliged to carry out an active regional policy, which would take into account the priority development of transport infrastructure. Moreover, such a complex problem needs to be addressed not only in order to accelerate an economic growth, but also to improve the social well-being, to foster intra-regional and inter-regional migration in national and state interests.

Keywords: economy, transport infrastructure, the Far East, Eastern Siberia, Yakutia, railways, projects, construction, international transport corridors, socio-economic prospects of the region.

REFERENCES

1. Popov, A., Chernyshov, S. Dead East [Mertvyj vostok]. *Expert*, 2012, Iss. 27, <http://expert.ru/expert/2012/27/mertvyj-vostok/>. Last accessed 10.10.2014.
2. Orekhova, E. A. Influence of the characteristics and properties of the economic space on development of the territory [Vliyaniye harakteristik i svoystv ekonomicheskogo prostranstva na razvitiye territorii]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2008, Iss.10, pp.19–23.
3. Borisov, E. A. Speech at the 4th International Conference «Investment potential of the Republic of Sakha (Yakutia) – the eastern vector of Russia's development» [Vystupleniye na 4-y mezhdunarodnoy konferentsii «Investitsionnyy potentsial Respubliki Saha (Yakutiya) – vostochnyy vektor razvitiya Rossii»]. 2007. www.egorborisov.ru. Last accessed 10.10.2014.
4. Sidorov, M. For a country – rising sun [Strane – voshodyashee solntse]. www.epr-magazine.ru/prompolitics/maintheme/dal_vostok. Last accessed 10.10.2014.
5. Alklychev, A. M., Zoidov, K. H. Russian innovations: a place in the ranking [Rossiyskie innovatsii: mesto v tabeli o rangah]. *Zheleznodorozhnyy transport dlya territorii i razvitiya Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 2011, Iss. 8, pp. 113–115.
6. Erohina, E. A. Theory of economic development, systemic and synergetic approach [Teoriya ekonomicheskogo razvitiya, sistemno-sinergeticheskiy podhod] // http://www.uamconsult.com/book_772.html. Last accessed 10.10.2014.
7. Efimova, L. V. Analysis of the impact of the railway infrastructure on socio-economic development of the Republic of Sakha (Yakutia). In: transport at the present stage of development [Analiz vliyaniya zheleznodorozhnoy infrastruktury na sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiye Respubliki Saha (Yakutiya). *Zheleznodorozhnyy transport na sovremennoy etape razvitiya*]. Moscow, Inteks publ., 2013, pp. 47–54.
8. Macheret, D. A. Construction of Railways: Eastern Vector. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2013, Iss. 2, Vol.46, pp. 86–89.
9. *Gudok* [newspaper], 2009, March,30.
10. Ishkov, A. M., Efimova, L. V. Impact of the new railway Berkakit-Tommot- Yakutsk on social development of adjacent territories [Vliyaniye novoy zheleznoy dorogi Berkakit-Tommot-Yakutsk na sotsial'noe razvitiye prilagayuschiy territoriy]. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2014, Iss.3, pp. 9–12.
11. <http://gecon.yale.edu/russia>. Last accessed 10.10.2014.
12. Nordhaus, William D., Xi Chen. Geography: Graphics and Economics. The B. E. Journal of Economic Analysis & Policy, 2009, Vol.9: Iss.2 (Contributions). Article 1. www.bepress.com/bejeap/vol9/iss2/art. Last accessed 10.10.2014.
13. Leontiev, R. G., Komarova, V. V., Kalikina, T. N. Railway transport of the Russian Far East: networking features, traffic trends and development programs [Zheleznodorozhnyy transport Dal'nego Vostoka RF: setevyye osobennosti, tendentsii perevozok i programmy razvitiya]. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye*, 2008, Iss12, pp. 12-29, P.22.

Координаты автора (contact information): Ефимова Л. В. (Efimova, L. V.) – lyubamira87@mail.ru.
Статья поступила в редакцию / article received 04.09.2014
Принята к публикации / article accepted 29.11.2014



ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

Кюне+Нагель предлагает углеродный калькулятор для морских перевозок

Компания Кюне +Нагель постоянно работает над совершенствованием средств подсчета выбросов углекислого газа и является первой компанией, готовой предоставить клиентам точные данные вместо приблизительной оценки. Углеродный калькулятор для морских перевозок позволяет подсчитать количество выбросов CO_2 , SO_x и NO_x из расчета на один контейнер и на перевозку груза в меньшем, чем контейнер, объеме от двери до двери, что можно сделать непосредственно на сайте Кюне+Нагель.

Программа калькулятора разработана на европейском стандарте EN 16258 и является вспомогательным инструментом планирования, с помощью которого клиенты могут подсчитать и смоделировать комплексную цепочку поставок. В основу методологии программы заложены стандарты рабочей группы по использованию экологически чистых видов грузового транспорта (Clean Cargo

Working Group, CCWG). Инструмент способен рассчитать последствия выбросов CO_2 из расчета на грамм/TEU/км по каждому направлению перевозок. Помимо этого калькулятор предоставляет детальную информацию по SO_x .

Калькулятор дает возможность:

- подсчитать выбросы CO_2 в режиме реального времени;
- рассчитать модель для стратегического планирования оценки «углеродистого следа»;
- предоставить совокупную картину выбросов CO_2 по морским и интермодальным перевозкам.

Ольга УЛЬЯНОВА,
старший менеджер по маркетингу
по России

olga.ulyanova@kuehne-nagel.com

www.kuehne-nagel.ru

<http://www.kn-portal.com/seafreight/environment/calculator> ●



EXPRESS INFORMATION

Kuehne + Nagel introduces Global Seafreight Carbon Calculator

Kuehne + Nagel is continuously enhancing its CO_2 emission calculating capabilities and is the first to offer its customers exact data instead of estimations. The Global Seafreight Carbon Calculator (GSCC) allows calculations of CO_2 , SO_x and NO_x emissions for container and LCL movements from door-to-door and is available on Kuehne + Nagel's webpage.

Built upon the European Standard EN 16258, the GSCC is a planning support tool that helps customers to calculate and model complex supply chains. The underlying methodology of the programme is based on the Clean Cargo Working Group standards for CO_2 emissions, whereby individual trade lane based CO_2

footprint per gram/TEU/km can be obtained. Additionally the GSCC features detailed information about SO_x .

The GSCC provides:

- real time CO_2 emissions;
- calculation model for strategic carbon footprint simulation;
- high level overview of CO_2 emissions for sea and intermodal transport.

Olga Ulyanova,
Senior Marketing Manager, Russia
olga.ulyanova@kuehne-nagel.com
www.kuehne-nagel.ru





Стоимость времени и плата за проезд по городским дорогам



Екатерина РЕШЕТОВА

Ekaterina M. RESHETOVA

Для развития дорожной сети в стране государственных ресурсов недостаточно. В этой связи популярность получила идея о привлечении частных инвестиций для строительства и дальнейшей эксплуатации объектов автомобильно-дорожной инфраструктуры на платной основе. Однако бизнес заинтересован не только окупить вложенные инвестиции, но и получить определенную норму прибыли, поэтому установленная инвестором стоимость проезда по тому или иному маршруту может превышать ожидания потенциальных пользователей. Вопрос о реальной цене времени российского автомобилиста не изучался до сих пор на серьезном социологическом материале. Автор дает рекомендации по определению размера платы за проезд и делает вывод о возможности использования платных дорог.

Ключевые слова: автомобиль, городская трасса, платные дороги, государственно-частное партнерство, стоимость времени, обобщенная цена поездки, размер платы за проезд, транспортный спрос.

Решетова Екатерина Михайловна — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Института экономики транспорта и транспортной политики Научно-исследовательского университета «Высшая школа экономики», Москва, Россия.

Специалисты Всемирного банка, которые занимались вопросами участия частного сектора в инфраструктурных проектах, пришли к единому мнению: в условиях, когда государственно-частное партнерство только начинает развиваться или когда частные рынки еще слабо развиты, лишь немногие такие проекты могут быть рентабельными при отсутствии финансовой поддержки со стороны государства.

Не абсолютизируя подобные мнения, стоит заметить, что поводов говорить о стоимости дорог и расходах на пользование ими становится все больше. Причем вести разговор об инвестициях впору уже от обратного — цены поездки, самоокупаемости дорожных услуг, способности автовладельца поддержать транспортный спрос.

СЛАГАЕМЫЕ СТОИМОСТИ ПОЕЗДКИ

Обобщенная цена поездки (*Generalized Cost of Travel, GCT*) любого автовладельца складывается из *прямых пользовательских расходов* на вождение автомобиля и затрат времени на поездку:

$$GCT_i = DC_i + VT(n) \cdot TT_i,$$

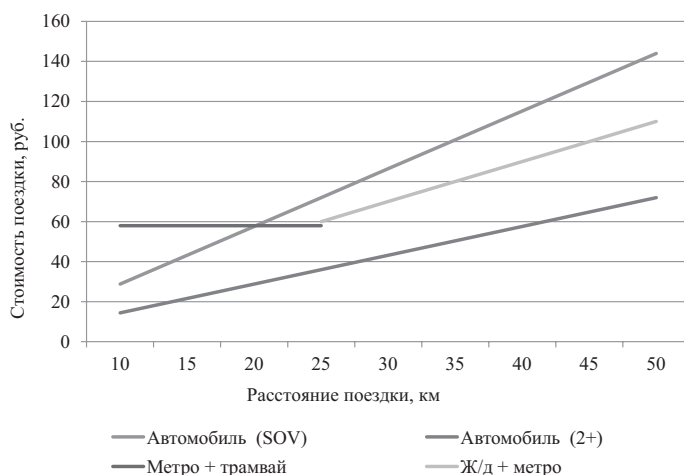


Рис. 1. Стоимость поездки в пределах Московской агломерации.

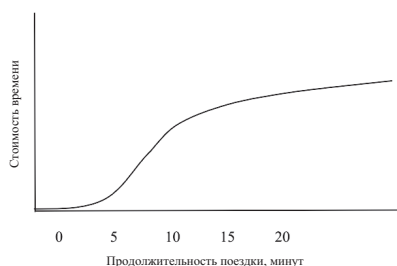


Рис. 2. График зависимости стоимости времени автовладельца от продолжительности поездки.

где $VT(n)$ — цена времени n -го по порядковой шкале пользователя;

DC_i — прямые затраты на поездку по варианту i ;

TT_i — время поездки по варианту i .

Прямые пользовательские расходы на вож­дение автомобиля состоят из оплаты бензина, парковки (в случае, если она платная) и сборов, взимаемых на платных дорогах. Это текущие непосредственные расходы, иногда их называют «расходами, оплачиваемыми из кармана» («*out-of-pocket costs*»). Они оказывают самое сильное воз­действие на поведение пользователей. Большинство водителей тщательно продумывает эти расходы, однако, как правило, не обращает внимание на условно посто­янные затраты (то есть независящие от ко­личества и дальности поездок — амортиза­ция, ремонт, страховка, непокрытые страховкой затраты по факту ДТП, реги­страция и налоги), несмотря даже на то обстоятельство, что эти компоненты зачас­тую значительно превышают «расходы из кармана».

В том случае, когда автомобилист не должен платить за пользование улично-дорожной сетью города (УДС), *прямые пользовательские* расходы составляют обычно не более 10–20% от общей стоимо­сти автомобильной поездки. В этих усло­виях использование личного автомобиля оказывается невероятно дешевым в глазах большинства пользователей, что является важным фактором поощрения ежедневного маятникового транспортного спроса в пределах агломерации (рис. 1).

При установлении платного режима проезда городская автомобильная дорога будет привлекательна для меньшего коли­чества владельцев транспортных средств — в основном для тех из них, кто высоко оценивает собственное время, удобство и комфорт передвижения.

Иными словами, если пользователь выбирает маршрут поездки, включающий платный участок дороги, то это означает его готовность платить реальные деньги за экономию времени. В этом случае цена его времени составит:



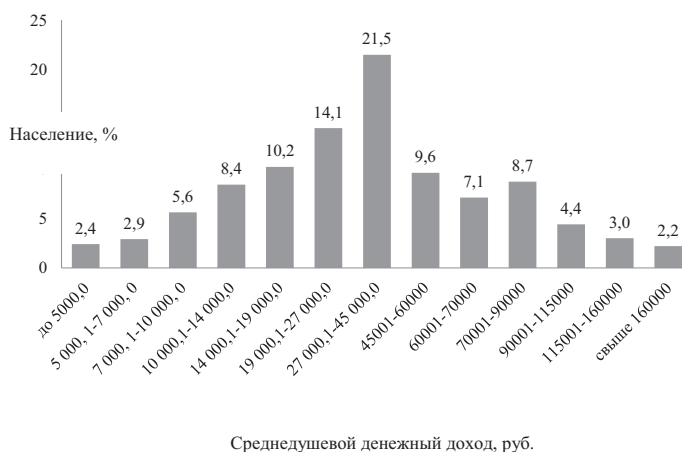


Рис. 3. Распределение среднедушевого денежного дохода, Москва, 2012 г.

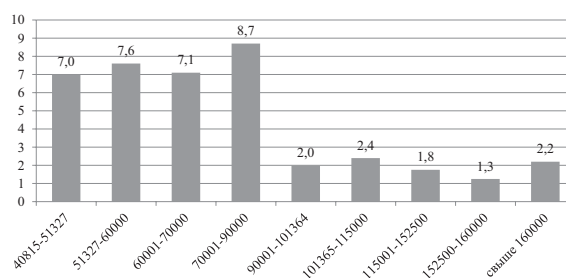


Рис. 4. Распределение среднедушевого денежного дохода автовладельцев, руб., Москва, 2012 г.

$$VT(n) \geq \frac{DC_1 - DC_2}{TT_2 - TT_1}.$$

Стоимость времени поездки (*Value of Travel Time, VOTT*) для пользователей — величина не постоянная; она изменяется в зависимости от продолжительности/расстояния поездки. Функция изменения стоимости времени автовладельца в зависимости от времени поездки представляет собой S-образную кривую [1] (рис. 2) и демонстрирует близкую к нулю стоимость первых нескольких минут поездки. Ценность времени резко увеличивается с возрастанием продолжительности поездки в первые 15 минут; после чего темпы увеличения стоимости времени замедляются. В любом случае экономия времени менее пяти минут оценивается пользователями дешевле, чем экономия сверх пяти минут [2]. Данный факт нашел отражение в рекомендациях Американской транспортной ассоциации (*The American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO*) (Чуй и Макфарлэнд, 1990) [3].

В 1999 году консалтинговое агентство Accent Marketing & Research and Hague Consulting Group [4] выполнило исследование для британского правительства по поводу зависимости эластичности поездок по платным дорогам от расстояния. Значение показателя составило 0,37, то есть увеличение расстояния поездки на 1% приводит к росту стоимости времени на 0,37%.

Дальнейшие исследования фиксировали похожие по величине значения эластичности спроса в зависимости от расстояния поездки: от 0,26 до 0,3 [5–8].

Распределение стоимости времени среди пользователей следует логнормальному распределению с математическим ожиданием m и стандартным отклонением σ . Для конкретного маршрута форма этого распределения полностью соответствует распределению доходов населения.

Таким образом, стоимость времени поездки (*Value of Travel Time, VOTT*) может вычисляться прямым счетом — через уровень доходов пользователя, или же обратным счетом — исходя из того варианта поездки, который он выбирает.

Таблица 1

Оценка стоимости 20-минутной экономии времени для автовладельцев

Цена времени, руб. в час	Доля автовладельцев, приходящаяся на диапазон цены времени, %	Доля автовладельцев, готовых платить за 20-минутную экономию времени, %	
		100 руб.	150 руб.
180–400	76	26,6	0
401–680	15,4	15,4	12,7
Более 680	8,6	8,6	8,6
Итого	100	50,6	21,3

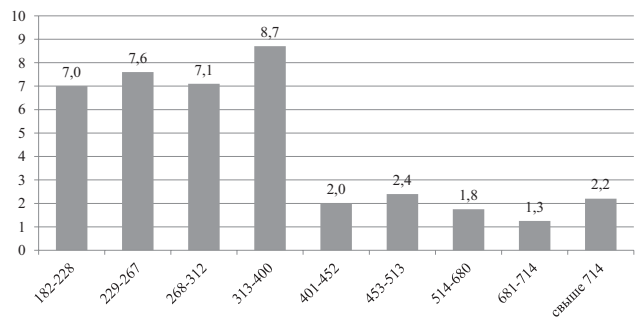


Рис. 5. Распределение среднечасового денежного дохода автовладельцев в зависимости от цены времени, Москва, 2012 г.



Рис. 6. Граница отсеечения для автомобилепотока при стоимости проезда 100 и 150 руб.

Зарубежные исследования свидетельствуют о большом разбросе стоимости времени в зависимости от цели поездки и страны, для которой проводится анализ. В то же время существует закономерность: в странах с высоким уровнем доходов населения (Великобритания, Франция и др.) разница не столь значительна; в странах с более низким уровнем доходов населения (в том числе и в России) стоимость часа свободного времени всегда заметно ниже среднечасовой оплаты труда автовладельца. Справедливо это замечание и для уровня благосостояния, характерного для среднего жителя Московской агломерации.

Вопрос о реальной цене времени среднего москвича (или же среднего москов-

ского автомобилиста) не изучался на данный момент на социологическом материале. Но можно вычислить эту цену по величине месячной заработной платы (рис. 3)*.

СТОИМОСТЬ ВРЕМЕНИ АВТОВЛАДЕЛЬЦА-МОСКВИЧА

Средняя заработная плата столичного жителя по данным за 2012 год составила 51260 рублей.

*От редакции: дефицит отечественных исследований не позволяет считать априори обоснованными проекции результатов зарубежных исследований без их адаптации к российской практике. Эта тема нуждается в продолжении.



Будем считать, что автовладельцы относятся к верхним 40% кривой распределения заработной платы, и найдем распределение среднедушевого денежного дохода (рис. 4).

Учитывая, что в месяце в среднем 168 рабочих часов, примем понижающий по отношению к среднечасовой заработной плате коэффициент, равный 0,75. В обозначенных условиях получим примерное распределение «цены времени» московских автовладельцев (рис. 5).

Средняя скорость транспортного потока по городу в часы-пик не превышает, как правило, 20 км/ч (по состоянию на декабрь 2013 года). При этом время 10-километровой поездки составит примерно 30 минут. С увеличением средней скорости до 80 км/ч по скоростной городской дороге среднее время проезда по 10-километровому участку можно будет сократить на 20–23 минуты. При этом готовность платить за проезд в том или ином размере соответствует реальной «цене времени» автовладельцев, в том числе способных заплатить 100 и 150 рублей за 20-минутную экономию времени (таблица 1).

При таком распределении половина потенциальных пользователей будет не готова заплатить 100 рублей за проезд по 10-километровому участку. Причем повышение стоимости поездки сверх 100 рублей резко снижает спрос. Это означает, что спрос на проезд по платному участку при стоимости поездки свыше 150 рублей во всех случаях окажется весьма невысоким (рис. 6).

Наблюдения, проведенные в Западной Европе, Канаде, США, Японии, показывают, что трафик на городских платных магистралях высоко эластичен по отношению к плате за проезд: в крупных поселениях гораздо шире возможности проезда по альтернативным «бесплатным маршрутам», а соответственно даже незначительное повышение тарифа снижает интенсивность движения — многие откажутся от использования маршрута для ежедневных поездок, предпочтут бесплатные дороги или воспользуются другим видом транспорта. Сокращение транспортного спроса приведет к новому росту стоимости проезда в целях возврата инвестором вложенных средств на строительство дороги. Это, в свою очередь, вызовет дальнейшее сни-

жение спроса, соответственно его эластичности. В итоге из-за возросшей стоимости проезд станет недоступен для большей части потребителей, а перевод дороги в платный режим эксплуатации окажется экономически неэффективной мерой.

Перечисленные обстоятельства дают основание для вывода, что на начальном этапе верхней границей размера платы за проезд следует считать 100 рублей, ибо это соответствует реальной цене 20-минутной экономии времени и платежным возможностям «среднего» москвича.

Если при оптимальном уровне оплаты доход не позволяет покрыть инвестиции на строительство и эксплуатацию объекта, необходимо, чтобы государство субсидировало часть инвестиций, обеспечивая приемлемый уровень доходности для частного партнера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thomas, T. C., Thompson, G. I. The Value of Time for Commuting Motorists as a Function of Their Income Level and Amount of Time Saved. Highway Research Record 314, 1970, Highway Research Board, Washington D.C.
2. Heggie, I. G. A Diagnostic Survey of Urban Journey to Work Behaviour. In: Heggie, I. E. Modal Choice and the Value of Travel Time. Clarendon Press, Oxford, U. K., 1970.
3. Chui, M., McFarland, W. Value of Time and Discomfort Costs, Progress Report on Literature Review and Assessment of Procedures and Data. Texas Transportation Institute, Technical Memorandum for NCHRP, No. 7–12, 1990.
4. The Value of Time on UK Roads. AHCG Accent Marketing & Research and Hague Consulting Group. Report for the UK Government, 1999.
5. Mackie, P. J., Fowkes, A. S., Wardman, M., Whelan, G., Nellthorpe, J., Bates, J. Values of Travel Time Savings in the UK. UK Department of Transport, 2003.
6. Algers, S., Dillen, J. L., Wedlert, S. The National Swedish Value of Time Study. Swedish Institute for Transport and Communications Analysis, 1995.
7. Wartburg, Markus von, Waters II, W. G. Congestion Externalities and the Value of Travel Time Savings: Chapter 2 from report by Zhang, Boardman, A. A. E., Gillen, D., Waters II, W. G. Toward Estimating the Social and Environmental Costs of Transportation in Canada. A report for Transport Canada, UBC Centre for Transportation Studies, Aug. 2004, pp. 60–152.
8. Value of Time and Reliability for Local Trips in Canada. Intervistas Consulting, Report for Transport Canada, 2008.
9. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. В редакции распоряжения Росавтодора 17.02.2012 N 49-р.
10. Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах. Утверждено в качестве отраслевой дорожной методики (ОДМ) распоряжением Росавтодора № ОС-555-р от 19 июня 2003 г.
11. Единая межведомственная информационно-статистическая система <http://www.fedstat.ru>.

TIME COST AND FARES FOR TRAVEL ON URBAN HIGHWAYS

Reshetova, Ekaterina M. – Ph.D. (Economics), senior researcher at the Institute of Transport Economics and Transport Policy within National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia.

ABSTRACT

Public funds and resources are insufficient for development of a country's road network. In this regard, the idea of attracting private investment for the construction (including through public-private partnerships) and further exploitation of automobile and road infrastructure for a fee has got significant popularity. However, business is interested not only in covering vested assets, but also in getting a certain rate of return, so road toll, set by investors on a particular route, may exceed the expectations of potential users. As a result, the highway would be attractive only for those who highly appreciate own time, the others will prefer a free travel. The question of the real cost of time for Russian motorist has not been till now object to consistent sociological study. Accordingly, traffic risks of investor increase. Using statistical material the author provides recommendations for determining the amount of the fare and draws a conclusion on the possibility of using toll roads.

ENGLISH SUMMARY

Background. World Bank experts who had studied participation of the private sector in infrastructure projects, reached common opinion that in an environment where public-private partnership is just beginning to develop or when private markets are still poorly developed, only a few such projects can be profitable in the absence of financial support from the state.

Not overemphasizing such opinions, it is worth noting that more reasons appear to talk about the cost of the roads and the costs of their use. And we should start talking about investments, considering cost of travel, self repayment of traffic services, ability of a car owner to support transport demand.

Objective. The objective of the author is to investigate advantages and disadvantages of toll roads and to provide recommendations for determining the amount of the fare.

Methods. The author uses statistical analysis, economic evaluation and comparative method.

Results.

Component of cost of travel

Generalized Cost of Travel (hereinafter-GCT) of any car owner is made up of direct user costs of driving and time spent on the travel:

$$GCT_i = DC_i + VT(n) \cdot TT_i,$$

where $VT(n)$ is time cost of n -th user on an ordinal scale;

DC_i are direct costs of a travel by a variant i ;

TT_i is travel time by a variant i .

Direct user costs related to driving include payment for gasoline, parking (if it is payable) and charges levied on toll roads. They are current, direct costs, sometimes referred to as «out-of-pocket costs». They have the greatest influence on the behavior of users. Most drivers think carefully about these costs, however, as a rule, do not pay attention to relatively fixed costs (those are costs which are independent of the number and distance of travel and include depreciation, repairs, insurance, costs incurred in the accident and uncovered by insurance, registration and taxes), even though these components often significantly exceed «out-of-pocket costs».

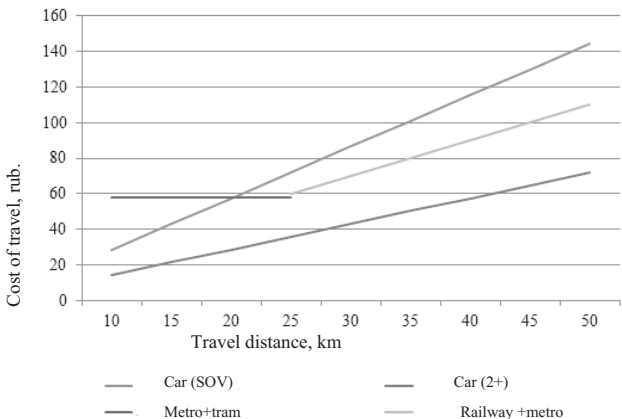
In the case where a motorist should not pay for the use of road network of the city (hereinafter-RNC), direct user costs are usually do not exceed 10–20% of the total cost of a car trip. In these circumstances, the use of a personal car is incredibly cheap in the eyes of most people, which is an important factor in promoting the daily pendulum transport demand within the metropolitan area (Pic. 1).

If there is a paid mode of travel then urban road will be attractive to fewer vehicle owners – mainly for those who appreciate own time, convenience and comfort of movement.

In other words, if the user selects a route, including a toll section of the road, it means he is willing to pay real money for time savings. In this case, the cost of his time will be:

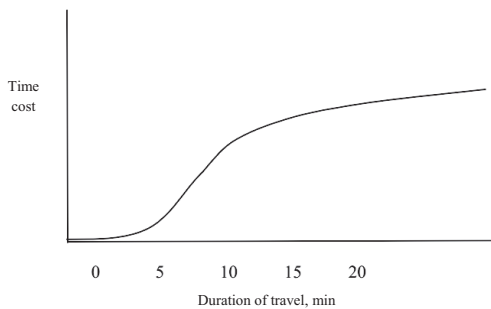
$$VT(n) \geq \frac{DC_1 - DC_2}{TT_2 - TT_1}.$$

Value of Travel Time (hereinafter – VOTT) for users is not a constant; it varies depending on the duration / distance of travel. The function of changes in value of time of a motorist depending on travel time is S-shaped curve [1] (Pic. 2) and shows a close to zero value of the first few minutes of travel. The value of time increases dramatically with increasing duration of the trip in the first 15 minutes; after that the rate of

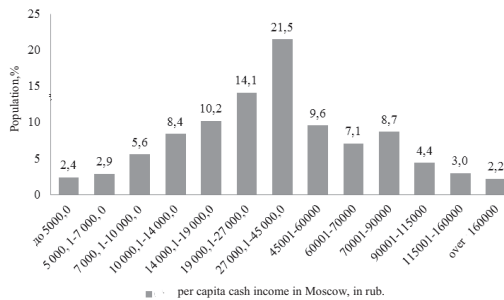


Pic. 1. Cost of travel within Moscow agglomeration.





Pic. 2. Dependence diagram of time cost of a car owner from duration of travel.



Pic. 3. Distribution of per capita income, Moscow, 2012

increase in the cost of time slows down. In any case, time saving of at least five minutes is estimated by users cheaper than the savings in excess of five minutes [2]. This fact is reflected in the recommendations of the American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO) (Chui and McFarland, 1990) [3].

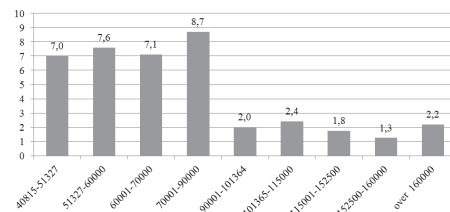
In 1999, the consulting agency Accent Marketing & Research and Hague Consulting Group [4] carried out a study for the British government about the dependence of the elasticity of travel on toll roads from a distance. The index value was 0,37, that is, increase in the travel distance by 1% leads to an increase in the cost of time by 0,37%.

Further analyses fixed similar values of the elasticity of demand, depending on the travel distance: from 0,26 to 0,3 [5–8].

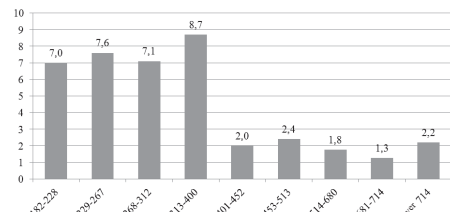
Allocation of time cost among users corresponds to lognormal distribution with mathematical expectation m and square deviation σ . For a specific route a form of this distribution is fully consistent with the distribution of income.

Thus, value of travel time (hereinafter - VOTT) can be calculated by count up through the income level of a user, or by count down based on the option of the trip, which he chooses.

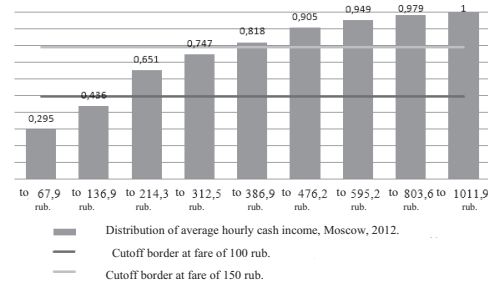
Foreign studies have shown a wide variation of the value of time, depending on the purpose of travel and the country for which the analysis is carried out. At the same time there is regularity: in high-income countries (Great Britain, France, and others.) the difference is not significant; in countries with relatively lower income (including Russia) cost of an hour of free time is always significantly lower than hourly labor compensation of a car-owner. This remark is true for the level of well-being, which is characteristic of an average resident of Moscow agglomeration.



Pic. 4. Distribution of per capita income of car owners, rub., Moscow, 2012



Pic. 5. Distribution of average hourly cash income of car owners, depending on the cost of time, Moscow, 2012.



Pic. 6. Cutoff border for car flow at fares of 100 and 150 rubles.

The question of the real time cost of an average Muscovite (or average Moscow car-owner) has not been investigated for the moment sociologically. But it is possible to calculate this cost using value of a monthly wage (Pic. 3)*.

The cost of time of a motorist – Muscovite

The average wage of a resident of the capital according to the year 2012 data amounted to 51 260 rubles.

We assume that car owners are upper 40% of the curve of wages distribution, and therefore we shall proceed with finding of the distribution of per capita income (Pic. 4).

Considering that there are 168 working hours in a month on average, we take decreasing coefficient with respect to hourly wage, equal to 0, 75. In these conditions, we obtain approximate distribution of the «cost of time» of Moscow car owners (Pic. 5).

*Editorial note: Lack of relevant national surveys and studies doesn't permit to consider the application of the results of foreign studies to featured Russian practices as apriori grounded without appropriate adaptation. This theme should be subject to further research.

Table 1

Valuation of 20-minute time saving for car owners

Cost of time rub. hour	The share of car owners, attributable to time cost range,%	The share of car owners, willing to pay for a 20-minute time saving,%	
		100 rub.	150 rub.
180–400	76	26,6	0
401–680	15,4	15,4	12,7
over 680	8,6	8,6	8,6
Total	100	50,6	21,3

The average speed of the traffic flow in the city during peak hours does not exceed, as a rule, 20 km / h (as of December 2013). At the same time, the 10-kilometer trip will last approximately 30 minutes. With the increase in the average speed to 80 km / h on urban road average travel time on a 10-km section could be reduced to 20–23 minutes. In this case, the willingness to pay a certain fee for travel corresponds to the real «cost of time» of car owners, including those, who are ready to pay 100 and 150 rubles for a 20-minute time saving (Table 1).

With such a distribution a half of potential users will not be willing to pay 100 rubles for travel on a 10-km section. And the increase in the cost of travel to over 100 rubles dramatically reduces the demand. This means that the demand for travel on a paid section at a cost of a travel of more than 150 rubles in all cases will be very low (Pic. 6).

Conclusion. Surveys carried out in Western Europe, Canada, USA, Japan show that traffic on urban toll highways is highly elastic with respect to fare. In large settlements there is a much wider possibility to travel on an alternative «free routes», and therefore

even a slight increase in the rate reduces the intensity of traffic as many persons refuse to use the route for daily trips, prefer free roads, or use other means of transport. Reduction in transport demand will lead to a new increase in the cost of travel in order to return to the investor the funds previously vested in construction. This, in turn, will cause a further reduction in demand, and accordingly in its elasticity. As a result of the increased cost, travel will be unavailable for the majority of consumers, and the transfer of the road to toll mode of operation will turn to have been economically inefficient measure.

Those circumstances give rise to the conclusion that at the initial stage the upper limit of the size of the fare should be considered as 100 rubles, because it corresponds to the actual price of the 20-minute time-saving and paying capabilities of a «middle» Muscovite.

If the optimal level of payment income is not sufficient to cover investments for the construction and operation of the facility, it is necessary for a state to subsidize part of the investment, providing an acceptable level of profitability for a private partner.

Keywords: car, urban highway, toll roads, public-private partnership, time cost, generalized cost of travel, fare size, transport demand.

REFERENCES

1. Thomas, T. C., Thompson, G.I. The Value of Time for Commuting Motorists as a Function of Their Income Level and Amount of Time Saved. Highway Research Record 314, 1970, Highway Research Board, Washington D.C.

2. Heggie, I.G. A Diagnostic Survey of Urban Journey to Wrok Behaviour. In: Heggie, I.E. Modal Choice and the Value of Travel Time. Clarendon Press, Oxford, U.K., 1970.

3. Chui, M., McFarland, W. Value of Time and Discomfort Costs, Progress Report on Literature Review and Assessment of Procedures and Data. Texas Transportation Institute, Technical Memorandum for NCHRP, No.7–12, 1990.

4. The Value of Time on UK Roads. AHCG Accent Marketing & Research and Hague Consulting Group. Report for the UK Government, 1999.

5. Mackie, P. J. ., Fowkes, A. S. ., Wardman, M. ., Whelan, G. ., Nellthorp, J. ., Bates, J. J. Values of Travel Time Savings in the UK. UK Department of Transport, 2003.

6. Algers, S. ., Dillen, J.L., Wedlert, S. The National Swedish Value of Time Study. Swedish Institute for Transport and Communications Analysis, 1995.

7. Wartburg, Markus von, Waters II, W.G. Congestion Externalities and the Value of Travel Time Savings: Chapter

2 from report by Zhang, Boardman, A.A.E., Gillen, D., Waters II, W.G. Toward Estimating the Social and Environmental Costs of Transportation in Canada. A report for Transport Canada, UBC Centre for Transportation Studies, Aug. 2004, pp.60–152.

8. Value of Time and Reliability for Local Trips in Canada. Intervistas Consulting, Report for Transport Canada, 2008.

9. Road guidance document 218.2.020-2012. Guidelines to assess capacity of roads [Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoy sposobnosti avtomobil'nyh dorog] Adopted by Russian Federal Highway Agency regulation of 17.02.2012 N 49-r, 2012.

10. Guidelines for predicting traffic intensity on the roads. Approved as a branch road technique by Russian Federal Highway Agency decree № OS-555-r dated 19 June 2003 [Rukovodstvo po prognozirovaniyu intensivnosti dvizheniya na avtomobil'nyh dorogah. Utverzhdeno v kachestve otraslevoy dorozhnoy metodiki (ODM) rasporyazheniem Rosavtodora № : OS-555-r ot 19 iyunya 2003 g].

11. United interagency information-statistical system [Edinaya mezhhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema] <http://www.fedstat.ru>.

Координаты автора (contact information): Решетова Е. М. (Reshetova, E.M.) – emreshetova@hse.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 31.03.2014
Принята к публикации / article accepted 06.07.2014





Логистика ремонта грузовых вагонов



Анатолий БЫКОВ
Anatoly I. BYKOV

Руслан ПЕТИЛАВА
Ruslan A. PETILAVA



Кирилл САВЕЛЬЕВ
Cyril O. SAVELIEV

Быков Анатолий Иванович — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Петилава Руслан Александрович — аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТ, Москва, Россия. Савельев Кирилл Олегович — аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТ, Москва, Россия.

Дается анализ ситуации с профицитом грузовых полувагонов в разных регионах страны и разное время года, а также сопутствующим этому графиком ремонтных работ и затратам на их проведение. В первую очередь рассматриваются примеры с «крайними точками» курсирования — Октябрьской, Дальневосточной и Западно-Сибирской железными дорогами. Предложено математически обоснованное изменение в тарифной политике ОАО «РЖД», которое позволит распределять вагоны с истекающими нормативами по плановым видам ремонта равномерно по всем вагоноремонтным предприятиям железнодорожной сети.

Ключевые слова: железнодорожный тариф, ремонт грузовых вагонов, расчет затрат, преysкурant цен, равномерная загрузка вагоноремонтных предприятий, логистика ремонта.

Вот уже не первый год рынок железнодорожных перевозок находится в непростой ситуации, складывающейся вследствие профицита полувагонов. Особенно остро проблема ощущается в зимний период из-за традиционного падения объема погрузки строительных материалов. В это непростое время подавляющее большинство освободившихся полувагонов устремляется под погрузку в один из самых больших угольных бассейнов мира — Кузбасский. Он территориально находится на Западно-Сибирской железной дороге. Загружаясь здесь углем, вагоны в сформированных маршрутных поездах следуют в морские порты Дальневосточной, Октябрьской, Латвийской и Калининградской дорог. После выгрузки порожняк возвращается назад.

Немалая часть вагонов, приехавших в Кузбасский угольный бассейн, непригодна под погрузку по причине просроченных нормативов по плановым видам ремонта. На станциях погрузки их приходится отделять и отправлять на вагоноремонтные предприятия, что в условиях переизбытка порожнего подвижного состава весьма затруднительно.

Но это лишь начало. Количество вагонов, требующих проведения планового ремонта, значительно превышает производственные мощности ближайших вагоноремонтных предприятий. Как итог, мы получаем не только сверхнормативные простои вагонов в ожидании ремонта, но и осложнения в маневровой работе на станциях, прилегающих к депо. Зачастую, чтобы хоть как-то уменьшить число неисправных транспортных средств, такие вагоны собирают в поезда и оттаскивают на тупиковые станции, где местные жители, условно говоря, «довольно успешно их разбирают».

Но по какой-то причине вагоны с истекающими нормативами по плановым видам ремонта собственники передислоцируют именно на Западно-Сибирскую железную дорогу. Чтобы проанализировать возникшую проблему, рассмотрим составляющие затрат на плановые виды ремонта грузовых вагонов.

Затраты на организацию плановых видов ремонта можно представить в виде формулы:

$$\sum Z = Z_{np} + Z_{mp} + Z_{op} + Z_{изр}, \quad (1)$$

где Z_{np} — затраты на проведение планового ремонта;

$Z_{тр}$ — затраты на предполагаемый текущий ремонт, которые зависят от качества проведенного планового ремонта;

$Z_{вр}$ — затраты на передислокацию вагонов от станции погрузки до вагоноремонтного предприятия;

$Z_{изр}$ — затраты на передислокацию вагонов от вагоноремонтного предприятия до станции погрузки.

Затраты на ремонт вагона в депо Z_{np} :

$$Z_{np} = \Pi_{np} + t_{np} \times P_p, \quad (1.1)$$

где Π_{np} — цена планового ремонта вагона;
 t_{np} — время простоя вагона в плановом ремонте;

P_p — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Возможные потери от некачественного депоовского ремонта:

$$Z_{mp} = (1 - k) \times (t_{mp} \times P_p + \Pi_{mp}), \quad (1.2)$$

где k — коэффициент качества вагоноремонтного предприятия;

$t_{тр}$ — время простоя вагона в текущем отцепочном ремонте;

$\Pi_{тр}$ — стоимость текущего отцепочного ремонта вагона;

P_p — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Затраты на передислокацию вагонов в депоовский ремонт:

$$Z_{вр} = T_{вр} + t_{вр} \times P_p, \quad (1.3)$$

где $T_{вр}$ — тариф за передислокацию вагонов от станции погрузки до вагоноремонтного предприятия;

$t_{вр}$ — время, затрачиваемое на передислокацию вагона от станции отцепки до вагоноремонтного предприятия;

P_p — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Расходы на передислокацию вагона от ремонтного предприятия к месту погрузки:

$$Z_{изр} = T_{изр} + t_{изр} \times P_p, \quad (1.4)$$

где $T_{изр}$ — тариф передислокации вагонов от ремонтного предприятия до станции погрузки;

$t_{изр}$ — время, затрачиваемое на передислокацию вагона от ремонтного предприятия до станции погрузки;

P_p — доход, приносимый вагоном за одни сутки.

Анализ предполагаемых затрат от некачественного планового ремонта $Z_{тр}$ (1) применительно к нашей задаче не имеет смысла, поскольку на различных вагоноремонтных предприятиях качество работ, как правило, существенно не отличается и при распределении вагонов в ремонт специалисты его учитывают редко.

Подробнее разберем затраты на организацию планового ремонта. Так как вагоны работают в закольцованных маршрутах, то в первую очередь рассмотрим ситуацию на «крайних точках» курсирования — Октябрьской, Дальневосточной и Западно-Сибирской железных дорогах.

Подавляющее большинство вагоноремонтных предприятий, расположенных на этих дорогах, относится к ОАО «ВРК-1», ОАО «ВРК-2», ОАО «ВРК-3». Ознакомиться с прейскурантами цен на ремонтные работы можно на их официальных сайтах. Прейскуранты позволяют сделать вывод, что плановый ре-



**Сравнение тарифных сборов за следование вагонов
ст. Ленинск-Кузнецкий II различными маршрутами**

Маршрут следования вагонов	Расстояние, км	Тариф, руб., вкл. НДС
<i>Мурманск (эксп.) – Ленинск-Кузнецкий II</i>	4717	28126,48
Мурманск (эксп.) – Кандалакша – Ленинск-Кузнецкий II	4717	30675,28
Мурманск (эксп.) – Лянгасово – Ленинск-Кузнецкий II	4720	37048,46
Мурманск (эксп.) – Войновка – Ленинск-Кузнецкий II	4717	36974,12
<i>Вентспилс (эксп.) – Ленинск-Кузнецкий II</i>	4646	33722,96
Вентспилс (эксп.) – Псков – Ленинск-Кузнецкий II	4639	35269,91
Вентспилс (эксп.) – Арзамас II – Ленинск-Кузнецкий II	4697	43017,82
Вентспилс (эксп.) – Елец – Ленинск-Кузнецкий II	5279	45373,1
Вентспилс (эксп.) – Сызрань – Ленинск-Кузнецкий II	4958	44294,58
Вентспилс (эксп.) – Войновка – Ленинск-Кузнецкий II	4646	43256,18
<i>Находка-Восточная (эксп.) – Ленинск-Кузнецкий II</i>	6102	34181,06
Находка-Восточная (эксп.) – Уссурийск – Ленинск-Кузнецкий II	6102	36310,96
Находка-Восточная (эксп.) – Чита I – Ленинск-Кузнецкий II	6102	42193,26
Находка-Восточная (эксп.) – Тайшет – Ленинск-Кузнецкий II	6102	41597,36

монт собственнику вагонов дешевле всего обойдется на Западно-Сибирской железной дороге. На Октябрьской ремонт тех же самых вагонов будет стоить дороже на 16–20%, а на Дальневосточной – на 30–35%. То есть экономически выгодно ориентироваться на вагоноремонтные предприятия, расположенные на Западно-Сибирской железной дороге, причем даже с учетом того, что непроизводственные простои вагонов в ожидании ремонта там будут несколько больше.

Исходя из того, что стоимость планового ремонта в трех названных регионах вряд ли будет выравниваться в ближайшее время, у ОАО «РЖД» для уменьшения количества вагонов с истекающими нормативами по плановым видам ремонта остается не так много вариантов для решения проблемы. Один из них – установка временного логистического контроля на запрет оформления вагонов в автоматизированной системе «ЭТРАН». Но поскольку на Октябрьской и Дальневосточной железных дорогах тоже часто накапливается избыток неисправных вагонов, простаивающих в ожидании ремонта, эта мера не всегда достаточна.

В данной ситуации вагоны с истекающими нормативами по ремонту после выгрузки логично отправлять на вагоно-

ремонтные предприятия, относящиеся к сопредельным железным дорогам. Список вагонных депо, на которых можно осуществить плановый ремонт, сразу расширяется в несколько раз. Вагоны после выгрузки на Калининградской, Латвийской, Литовской, Октябрьской дорогах возвращаются на Западно-Сибирскую через Московскую, Куйбышевскую, Северную, Горьковскую, Южно-Уральскую, Свердловскую. С Дальнего Востока маршрут их следования проходит через Забайкальскую, Восточно-Сибирскую и Красноярскую дороги. У транспортной компании появляется шанс отправить вагоны в наименее загруженные вагоноремонтные предприятия и рассчитывать на минимальный простой вагонов в ожидании ремонта, более низкую его стоимость.

Но кроме указанных плюсов есть при таком варианте и свои минусы. Так, сумма затрат на передислокацию вагонов в/из ремонта увеличивается до 35%. Это связано с тарифной политикой ОАО «РЖД»: чем больше расстояние перевозки, тем дешевле клиенту должен обходиться 1 км пути. Примеры подобного рода приведены в таблице 1, где сравниваются тарифный сбор за прямые отправки на станцию Ленинск-Кузнецкий II Западно-Сибирской железной

Таблица 2

**Пример расчета тарифных сборов
за передислокацию вагона от станции выгрузки к станции погрузки**

Маршрут следования вагонов	Расстояние, км	Тариф, руб., вкл. НДС
<i>Мурманск (эсп.) – Ленинск-Кузнецкий II</i>	4717	28126,48
Мурманск (эсп.) – Кандалакша – Ленинск-Кузнецкий II	4717	28126,48
Мурманск (эсп.) – Лянгасово – Ленинск-Кузнецкий II	4720	28126,48
Мурманск (эсп.) – Войновка – Ленинск-Кузнецкий II	4717	28126,48
<i>Вентспилс (эсп.) – Ленинск-Кузнецкий II</i>	4646	33722,96
Вентспилс (эсп.) – Псков – Ленинск-Кузнецкий II	4639	33722,96
Вентспилс (эсп.) – Арзамас II – Ленинск-Кузнецкий II	4697	33722,96
Вентспилс (эсп.) – Елец – Ленинск-Кузнецкий II	5279	36226,92
Вентспилс (эсп.) – Сызрань – Ленинск-Кузнецкий II	4958	34974,94
Вентспилс (эсп.) – Войновка – Ленинск-Кузнецкий II	4646	33722,96
<i>Находка-Восточная (эсп.) – Ленинск-Кузнецкий II</i>	6102	34181,06
Находка-Восточная (эсп.) – Уссурийск – Ленинск-Кузнецкий II	6102	34181,06
Находка-Восточная (эсп.) – Чита I – Ленинск-Кузнецкий II	6102	34181,06
Находка-Восточная (эсп.) – Тайшет – Ленинск-Кузнецкий II	6102	34181,06

дороги с тарифным сбором за отправки в вагоноремонтные предприятия, последующим оформлением вагонов после ремонта.

Из сравнения видно, что за одну и ту же передислокацию порожнего вагона под погрузку на расстояние 4717 км, но с заездом в вагоноремонтное депо «Войновка» придется заплатить за тариф на 8847,64 руб. больше.

Следует заметить, что основной целью и операторов, и ОАО «РЖД» в рассматриваемой задаче является вывоз угля с Западно-Сибирской железной дороги, что подразумевает подачу под погрузку полностью исправных вагонов. Однако переплата за тариф в случае захождения вагонов в депо на пути под погрузку подталкивает собственников подвижного состава к организации ремонта как раз на Западно-Сибирской дороге.

С учетом ситуации для распределения вагонов в плановый ремонт по всему маршруту от выгрузки в портах и до Кузбасса необходимо прежде всего изменить правила оформления перевозочных документов. Вагоны с истекающими нормативными сроками ремонта можно оформлять под погрузку, но только с обязательным указанием в накладной станции и вагоноремонтного предприятия, на котором будет осуществлен их

ремонт до прибытия на конечную станцию маршрута. Расчет тарифа в отдельном взятом случае должен производиться как за передислокацию вагона от станции выгрузки до станции погрузки. Пример приведен в таблице 2.

Возможное изменение в тарифной политике позволит значительно уменьшить количество вагонов с просроченными нормативами по плановым видам ремонта на Западно-Сибирской железной дороге. У собственников появится стимул выбирать наименее загруженные вагоноремонтные предприятия, что будет способствовать более равномерному распределению неисправных вагонов по всей сети ОАО «РЖД».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирьянова О. Н. Эффективность управления вагонным хозяйством железнодорожного транспорта России в условиях его реформирования/ Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2003. – 23 с.
2. Насибулин Ф. Ф. Совершенствование обслуживания и ремонта грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 4. – С. 63–74.
3. Тишкин Е. М. Автоматизация управления вагонным парком. – М.: Интекст, 2000. – 224 с.
4. Фролькис В. А. Введение в теорию и методы оптимизации для экономистов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 320 с.
5. Голоскоков В. Н. Структурная реформа железнодорожного транспорта и логистические технологии. – М.: Креативная экономика, 2007. – 280 с.
6. Быков А. И., Петилава Р. А. Минимизация затрат на плановые виды ремонта// Мир транспорта. – 2013. – № 5. – С. 92–95.



LOGISTICS OF FREIGHT CARS REPAIR

Bykov, Anatoly I. – D. Sc. (Tech.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Petilava, Ruslan A. – Ph. D. student at the department of Cars and cars economy of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Saveliev, Cyril O. – Ph. D. student at the department of Cars and cars economy of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The authors provide an analysis of the situation with surplus of freight gondola (open) cars in different regions of the country and in different seasons, as well as of concomitant schedule of repairs and their costs. The authors pay special attention to the situation at the «extreme points» of Russian railway network which are associated with October (Oktiabrskaya), Far Eastern and West-Siberian railways. Mathematically reasonable change in the tariff policy of JSC «Russian Railways» is proposed, which makes it possible to distribute cars, that accordingly to standard terms, established by mandatory regulations, should soon be subject to scheduled repair, evenly among all car-repair enterprises of the railway network. Some results have universal character and can be adapted to different rail networks.

ENGLISH SUMMARY

Background. For a certain period of time Russian railway transportation market has been in a difficult situation, due to the prevailing surplus of gondola cars. This problem is particularly acute in winter because of the traditional drop in loading of building materials. During that period the vast majority of empty open cars are assigned for loading to one of the largest coal basins in the world – the Kuzbass (Kuznetsk Coal Basin). It is geographically located on the West-Siberian railway. Loaded with coal, cars, formed in route trains, follow to sea ports of the Far Eastern, October, Latvian and Kaliningrad railways. After unloading empty cars return.

A large part of cars, arriving at the Kuzbass coal basin, is unsuitable for loading due to the fact that they have missed the standard term of scheduled repair, stipulated by regulations in force. At the loading stations they are to be separated and sent to car-repair enterprises, and that process is very difficult to carry out under the conditions of a surplus of empty rolling stock. But this is not the whole problem. The number of cars that require scheduled maintenance is much higher than capacities of the nearest car-repair enterprises. As a result, we obtain not only the excessive downtime of cars awaiting repairs, but complications in shunting operations at stations adjacent to the depot. Often, to somehow reduce the number of defective vehicles, such cars are formed in trains and are taken to dead-end stations, where the locals, so to speak, «quite successfully strip them down».

But for some reason or other, cars with almost expired standard term of the planned type of repair are relocated by owners to the West-Siberian railway. To analyze the problem, the authors find necessary to cost components for scheduled repairs of freight cars.

Objectives. The objectives of the authors are to analyze reasons for surplus of freight open cars in different regions of Russia, and to propose changes in the tariff policy, which can be implemented by JSC «Russian Railways».

Methods. The authors use analytical, economic and comparative methods.

Results. The costs of organization of planned maintenance and repair works can be represented by a formula:

$$\sum C = C_{sm} + C_{rw} + C_{rel} + C_{brel}, \quad (1)$$

where C_{sm} are costs for scheduled maintenance;

C_{rw} are costs for estimated repair, which depend on the quality of scheduled maintenance;

C_{rel} are costs for relocation of cars from loading station to a car-repair enterprise;

C_{brel} are costs for backward relocation of cars from a car-repair enterprise to a loading station.

Costs for repair of a car at the depot C_{sm} are determined as:

$$C_{sm} = P_{sm} + t_{sm} \times Pr, \quad (1.1)$$

where P_{sm} – price of planned repair of a car;

t_{sm} – downtime of a car in scheduled repair;

P_r – income, generated by a car per day.

Possible losses from poor depot repair:

$$C_{rw} = (1 - k) \times (t_{rw} \times Pr + P_{rw}), \quad (1.2)$$

where k – quality factor of a car-repair enterprise;

t_{rw} – downtime of an uncoupled car under current repair;

P_{rw} – price of current repair of an uncoupled car;

P_r – income, generated by a car per day.

Costs for relocation of cars to a depot repair:

$$C_{rel} = F_{rel} + t_{rel} \times Pr, \quad (1.3)$$

where F_{rel} – fare for relocation of cars from loading station to a car-repair enterprise;

t_{rel} – time spent on relocation of a car from an uncoupling station to a car-repair enterprise;

P_r – income, generated by a car per day.

Costs for backward relocation of a car from a car-repair enterprise to a place of loading:

$$C_{brel} = F_{brel} + t_{brel} \times Pr, \quad (1.4)$$

where F_{brel} – fare of relocation of cars from a car-repair enterprise to a loading station;

t_{brel} – time, spent on the backward relocation of a car from a car-repair enterprise to a loading station;

P_r – income, generated by a car per day.

The additional analysis of the estimated costs of unsatisfactory scheduled maintenance (C_{rw} in (1)) with respect to our problem does not make sense, because at different car-repair enterprises repair quality usually does not significantly differ and experts very rarely consider it as a factor while planning distribution of cars for repair among different repair facilities.

Costs of organization of scheduled maintenance deserve more detailed consideration. Since cars operate in loopback routes, attention should be primarily paid to the situation with «extreme points» of cars' running at October, Far Eastern and West-Siberian railways.

The vast majority of car-repair enterprises located within the borders of those railways belong to JSC «Car-repair company-1», JSC «Car-repair company-2», JSC «Car-repair company-3». Price lists for repairs can be found on their official websites. Price

Table 1

Comparison of tariff charges for various cars’ routes beginning at of Leninsk-Kuznetski II station

Route of cars	Distance, km	Tariff, RUB, VAT included
Murmansk (exp.) – Leninsk–Kuznetski II	4717	28126,48
Murmansk (exp.) – Kandalaksha – Leninsk–Kuznetski II	4717	30675,28
Murmansk (exp.) – Lyangasovo – Leninsk–Kuznetski II	4720	37048,46
Murmansk (exp.) – Voinovka – Leninsk–Kuznetski II	4717	36974,12
Ventspils (exp.) – Leninsk–Kuznetski II	4646	33722,96
Ventspils (exp.) – Pskov – Leninsk–Kuznetski II	4639	35269,91
Ventspils (exp.) – Arzamas II–Leninsk–Kuznetski II	4697	43017,82
Ventspils (exp.) – Yelets – Leninsk–Kuznetski II	5279	45373,1
Ventspils (exp.) – Syzran – Leninsk–Kuznetski II	4958	44294,58
Ventspils (exp.) – Voinovka – Leninsk–Kuznetski II	4646	43256,18
Nakhodka–East (exp.) – Leninsk–Kuznetski II	6102	34181,06
Nakhodka–East (exp.) – Ussuriysk – Leninsk–Kuznetski II	6102	36310,96
Nakhodka–East (exp.) – Chita I–Leninsk–Kuznetski II	6102	42193,26
Nakhodka–East (exp.) – Taishet – Leninsk–Kuznetski II	6102	41597,36

Table 2

Example of calculation of tariff charges for relocation of a car from the unloading station to the loading station

Route of cars	Distance, km	Tariff, RUB, VAT included
Murmansk (exp.) – Leninsk–Kuznetski II	4717	28126,48
Murmansk (exp.) – Kandalaksha – Leninsk–Kuznetski II	4717	28126,48
Murmansk (exp.) – Lyangasovo – Leninsk–Kuznetski II	4720	28126,48
Murmansk (exp.) – Voinovka – Leninsk–Kuznetski II	4717	28126,48
Ventspils (exp.) – Leninsk–Kuznetski II	4646	33722,96
Ventspils (exp.) – Pskov – Leninsk–Kuznetski II	4639	33722,96
Ventspils (exp.) – Arzamas II–Leninsk–Kuznetski II	4697	33722,96
Ventspils (exp.) – Yelets – Leninsk–Kuznetski II	5279	36226,92
Ventspils (exp.) – Syzran – Leninsk–Kuznetski II	4958	34974,94
Ventspils (exp.) – Voinovka – Leninsk–Kuznetski II	4646	33722,96
Nakhodka–East (exp.) – Leninsk–Kuznetski II	6102	34181,06
Nakhodka–East (exp.) – Ussuriysk – Leninsk–Kuznetski II	6102	34181,06
Nakhodka–East (exp.) – Chita I–Leninsk–Kuznetski II	6102	34181,06
Nakhodka–East (exp.) – Taishet – Leninsk–Kuznetski II	6102	34181,06

lists allow us to conclude that the scheduled maintenance of cars will be the cheapest for the owner at the West-Siberian railway. At October railway cost of repair of the same cars will increase by 16–20%, and on the Far East – by 30–35%. That means that it is cost-effective to focus on car-repair enterprises located within the West-Siberian railway, even taking into account the fact that non-productive downtime of cars awaiting repairs will be a little bit higher there.

As the cost of planned repair in these three regions is unlikely to flatten out in the near future, JSC «Russian Railways» does not have a lot of options to solve the problem of reducing the fleet of cars, that according to regulations will require scheduled re-

pairs. One of the options is to set a temporary logistics control over ban on the checking providing banning of recording of the referred cars in the automated system «Electronic waybill». But since October and Far Eastern Railways also also often cumulate a surplus of faulty cars, which are standing idle while waiting for repair, this measure is not always sufficient. In this situation, it is reasonable to send the cars with expiring repair terms to car-repair enterprises belonging to adjacent railways. List of sheds, where scheduled maintenance can be carried out, will be once expanded by several times. Cars after unloading at Kaliningrad, railway via October railways will return to the West-Siberian railway via Moscow, Kuibyshev,





North, Gorky, South Urals, Sverdlovsk railways. If they go from the Far East their journey passes through the Trans-Baikal, East Siberian and Krasnoyarsk railways. A transport company has a chance to send cars to the less loaded car-repair enterprises, and to attend minimal downtime of cars awaiting repairs, its lower cost.

But in addition to the above mentioned advantages this version has certain disadvantages. Thus, costs for relocation of cars to/from a car-repair enterprise increase by 35%. This occurs due to the tariff policy of JSC «Russian Railways»: the greater is the distance in the transportation, the cheaper should be one kilometer for a customer. Examples of this kind are shown in Table 1, which contains a comparison of tariff charges for direct dispatch to the station Leninsk-Kuznetski II of the West-Siberian Railway with tariff charges for sending a car to a car-repair enterprise, subsequent registration of cars after the repair.

The comparison shows that for the same relocation of an empty car at a distance of 4717 km, but with a stop at the car-repair depot «Voinovka» an owner will have to pay for the tariff 8847,64 rubles more.

It should be noted that the main purpose of operators and JSC «Russian Railways» is the export of coal from the West-Siberian Railway, that implies that

cars will be fully serviceable before loading. However, the overpayment for the tariff, if cars go to the depot on the way for loading, encourages owners of rolling stock to organize repair just at the West-Siberian railway.

In view of the situation with the distribution of cars for the scheduled maintenance for the entire route from unloading at ports and to Kuzbass, first of all, the rules for registration of waybills should be changed. Cars with expiring standard repair terms can be registered for loading, but only with the obligatory indication in the invoice of the station and the car-repair enterprise, where repairs will be carried out prior to the arrival of cars at the terminus station of the route. Calculation of the tariff in a particular case shall be effected as for the relocation of a car from the unloading station to the loading station. An example is shown in Table 2.

Conclusion. Possible change in tariff policy will make it possible to reduce significantly the number of cars with expired repair terms on the West-Siberian railway. The owners will have an incentive to choose less loaded car-repair enterprises on the travel route, and that will contribute to a more equitable distribution of faulty cars throughout the network of JSC «Russian Railways».

Keywords: rail fare, repair of freight cars, costing, price list, uniform loading of car-repair enterprises, logistics of repair.

REFERENCES

1. Kirianova, O. N. Management effectiveness of car economy of railway transport in Russia in terms of its reform. Abstract from Ph.D. (Economics) thesis. [*Effektivnost' upravleniya vagonnym hozyaystvom zheleznodorozhnogo transporta Rossii v usloviyah ego reformirovaniya. Avtoref. dis... kand. ekon. nauk*]. Moscow, 2003, 23 p.
2. Nasibulin, F. F. Improvement of maintenance and repair of freight cars [*Sovershenstvovanie obsluzhivaniya i remonta gruzovykh vagonov*]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2004, Iss.4, pp. 63–74.
3. Tishkin, E. M. Automation of car fleet management [*Avtomatizatsiya upravleniya vagonnym parkom*]. Moscow, Intekst publ., 2000, 224 p.
4. Frolkis, V. A. Introduction to the theory and methods of optimization for economists. 2nd ed. [*Vvedenie v teoriyu i metody optimizatsii dlya ekonomistov. – 2-e izd.*]. St. Petersburg, Piter publ., 2002, 320 p.
5. Goloskokov, V. N. Structural reform of rail transport and logistics technologies [*Strukturnaya reforma zheleznodorozhnogo transporta i logisticheskie tehnologii*]. Moscow, Kreativnaya ekonomika publ., 2007, 280 p.
6. Bykov, A. I., Petilava, R. A. Minimization of Charges for Scheduled Repairs. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*. 2013, Iss. 5., Vol.49, pp. 92–95.

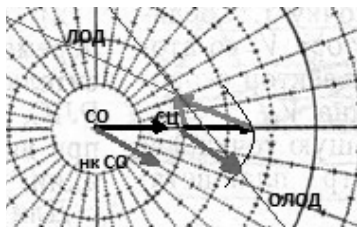
Координаты авторов (contact information): Быков А. И. (Bykov, A. I.) – bykfro@mail.ru, Петилева Р. А. (Petilava, R. A.) – petilav@mail.ru, Савельев К. О. (Saveliev, C. O.) – kirill.saveliev@gmail.com.

Статья поступила в редакцию / article received 25.07.2014
Принята к публикации / article accepted 26.10.2014



СУДОХОДСТВО 124

Привилегия избежать столкновения.



ОЦЕНКА РИСКА 134

Стандарты помогают системе.

ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ 142

Оптимизация маршрутной сети в Ярославле.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

NAVIGATION 124

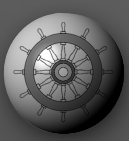
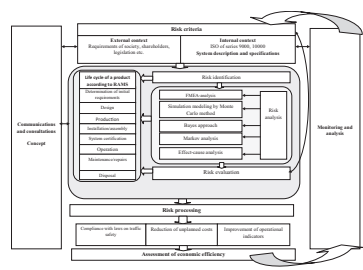
Privilege to avoid collision.

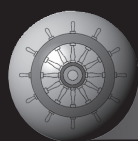
RISK ASSESSMENT 134

Standards help the system.

PUBLIC TRANSPORT FACILITIES 142

Optimization of route network in the city of Yaroslavl.





Расхождение судов в зоне чрезмерного сближения



Нелли СЕДОВА

Nelly A. SEDOVA

Предложена нечеткая модель расхождения морских судов в зоне чрезмерного сближения, состоящая из четырех входных лингвистических переменных – пеленг, курс судна-оператора, курс судна-цели, скорость судна-цели, а также одной выходной лингвистической переменной – курс судна-оператора. Представлена методика формирования с использованием маневренного планшета правил нечетких продукций, база которых насчитывает 525 правил.

Ключевые слова: морское судоходство, автоматизация управления, расхождение судов, лингвистическая переменная, нечеткое множество, пеленг, курс судна, скорость судна, правило нечеткой продукции.

Седова Нелли Алексеевна – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории нелинейных и интеллектуальных систем кафедры автоматических и информационных систем Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток, Россия.

Одной из основных задач судовождения является безопасное расхождение судов в море. Статистика показывает, что более 80% всех критических ситуаций становятся результатом человеческих ошибок [1]. Только благодаря принимаемым организационным и техническим мерам, ужесточением требований к подготовке специалистов удается не допускать роста числа столкновений. Однако, несмотря на это, задача расхождения судов остается актуальной и нуждается в серьезных предупредительных мерах, например, за счет введения в практику автоматизированных систем принятия решений.

Изучение существующих возможностей интенсивно проводится с начала внедрения на судах компьютеров для решения задач на мостике, то есть уже почти сорок лет. За это время были предложены различные варианты математического описания образуемых судами и границами судоходной акватории ситуаций, формализации международных правил предупреждения столкновений судов в море, синтеза стратегий расхождения. И гораздо меньше внимания уделено разработке образительных моделей, обеспечивающих высокий уровень понимания ситуаций и облегчающих выбор маневров расхождения [2].

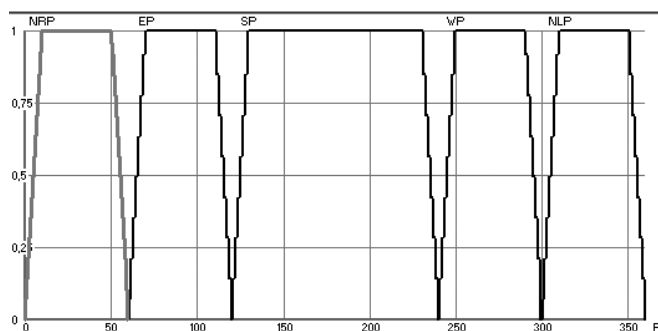


Рис. 1. Функции принадлежности для входной переменной P .

Предлагаемая в этой статье нечеткая модель (НЧМ) расхождения морских судов в зоне чрезмерного сближения учитывает следующие договоренности и ограничения: задача рассматривается в условиях хорошей видимости, т. е. не учитывается правило 19 МППСС [5]; на судне установлена РЛС, либо две РЛС (в зависимости от валовой вместимости судна); в моделируемой ситуации будем считать, что судно-оператор (СО), а также судно-цель (СЦ) являются судами с механическим двигателем; скорость СО постоянна и равняется 15 узлам; СЦ располагается на расстоянии 2 миль от СО, т. е. находится в зоне чрезмерного сближения; судно-цель — единственная опасная цель (НЧМ можно распространить на большое количество опасных целей, в этом случае определяется наиболее опасная, предпринимается маневр для расхождения, после этого берется следующая по степени опасности цель).

1. ОПИСАНИЕ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

Разработанная НЧМ расхождения судов реализована на основе алгоритма Мамдани [3] и состоит из четырех входных лингвистических переменных (ЛП) [9–12], существенно влияющих на определение курса судна-оператора.

Первая входная ЛП «Пеленг» (Peleng — P) характеризуется универсальным множеством $[0^\circ; 360^\circ]$ и включает в себя пять термов базового терм-множества:

EastPeleng (EP) — восточный пеленг; WestPeleng (WP) — западный; NordLeftPeleng (NLP) — северный левый пеленг; NordRightPeleng (NRP) — северный правый пеленг; SouthPeleng (SP) — южный пеленг. Функции принадлежности для термов первой входной ЛП представлены на рис. 1. Они имеют трапециевидную форму с параметрами для функции EP: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; функции WP: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$; функции NLP: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; функции NRP: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; функции SP: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$.

Вторая входная ЛП «Курс судна-оператора» (Course — CC) характеризуется множеством $[0^\circ; 360^\circ]$ и имеет следующие элементы: NordRaight (NR) — курс на север; NordLeft (NL) — курс на север; East (E) — курс на восток; South (S) — курс на юг; West (W) — курс на запад. Функции принадлежности для этих термов показаны на рис. 2. Они имеют трапециевидную форму с параметрами для функции NR: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; функции NL: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; функции E: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; функции S: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$; функции W: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$.

Третья входная ЛП «Курс судна-цели» (CoursePoint — CP) характеризуется множеством $[0^\circ; 360^\circ]$, в котором присутствуют NordLeftPoint (NLC) — курс на север;

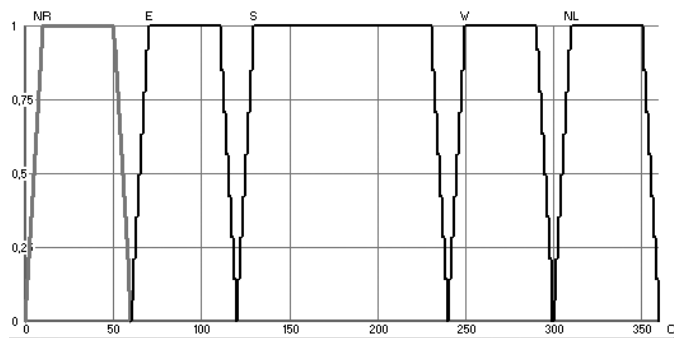


Рис. 2. Функции принадлежности для входной переменной CC .



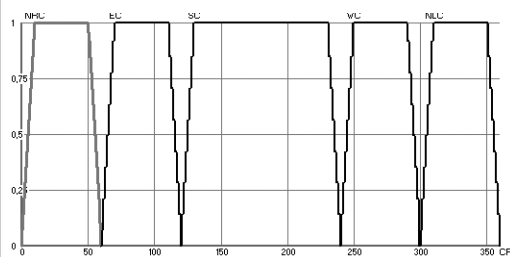


Рис. 3. Функции принадлежности для входной переменной CP.

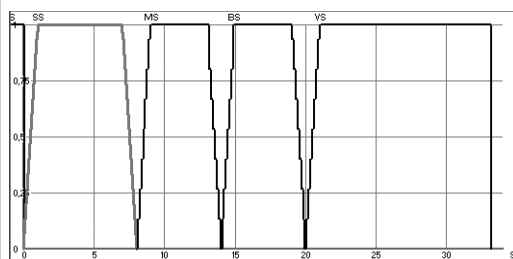


Рис. 4. Функции принадлежности для входной переменной S.

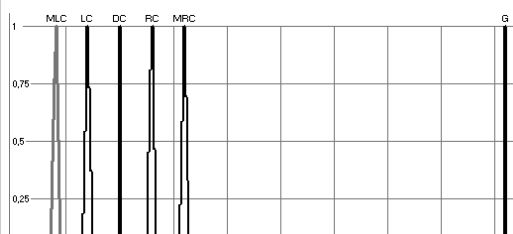


Рис. 5. Функции принадлежности для выходной переменной CC.

NordRightPoint (NRC) – курс на север; EastPoint (EC) – курс на восток; SouthPoint (SC) – курс на юг; WestPoint (WC) – курс на восток. Функции принадлежности для термов даны на рис. 3. Они имеют трапециевидную форму с параметрами для функции NLC: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; функции NRC: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; функции EC: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; функции SC: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$; функции WC: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$.

Четвертая входная ЛП «Скорость судна-цели» (Speed – S) характеризуется множеством $[0; 34]$ узлов, полученным на основе сведений Российского регистра судоходства [4]. Термы: ZeroSpeed (ZS) – неподвижная цель; SmallSpeed (SS) – малая скорость; MiddleSpeed (MS) – средняя скорость; BigSpeed (BS) – высокая скорость; VeryBigSpeed (VS) – очень высокая скорость. Функции принадлежности для термов на рис. 4 имеют трапециевидную форму с параметрами для функции ZS: $a = 0, b = 0, c = 0$,

$d = 0$; функции SS: $a = 0, b = 1, c = 7, d = 8$; функции MS: $a = 8, b = 9, c = 13, d = 14$; функции BS: $a = 14, b = 15, c = 19, d = 20$; функции VS: $a = 20, b = 21, c = 31, d = 34$.

Учитывая пункт из правила 8 МППСС [5] о том, что в случае, «если имеется достаточное водное пространство, то изменение только курса может быть наиболее эффективным действием для предупреждения чрезмерного сближения», и утверждения о том, что «большая часть предпринимаемых действий по расхождению приходится на маневры курсом» [2], за выходную ЛП выбрано изменение курса судна-оператора (ChangeCourse – CC). Для удобства множество зададим в градусах от -90° до 360° , в скобках указаны значения ядер нечетких множеств, соответствующих термам: MaxLeftCourse (MLC) – сильно влево (-60°); LeftCourse (LC) – влево (-30°); DirectlyCourse (DC) – прямо (не изменяя курс и скорость) (0°); MaxRightCourse (MRC) – сильно вправо (60°); MaxRightCourse (RC) – вправо (30°); Gyration (G) – циркуляция (360°). Функции принадлежности для термов выходной ЛП представлены на рис. 5. Они имеют треугольную форму с параметрами для функции MLC: $a = -65, b = -60, c = -55$; функции LC: $a = -35, b = -30, c = -25$; функции DC: $a = 0, b = 0, c = 0$; функции MRC: $a = 55, b = 60, c = 65$; функции RC: $a = 25, b = 30, c = 35$; функции G: $a = 360, b = 360, c = 360$.

2. СИСТЕМА ПРАВИЛ НЕЧЕТКИХ ПРОДУКЦИЙ

На рис. 6 показана общая схема НЧМ расхождения судов в зоне чрезмерного сближения.

База правил нечетких продукций (ПНП) состоит из 525 правил, при этом необходимо отметить, что для их формирования использовалась информация, полученная с помощью маневренного планшета. Методика формирования каждого правила включала в себя следующие подэтапы: полный перебор перечня различных ситуаций, возникающих при расхождении судов; фиксирование термов, составляющих каждое правило, для введения в базу ПНП; раскладка каждой отдельной ситуации на маневренном планшете и определение величины изменения курса судна-оператора с учетом правил МППСС [5], коммен-

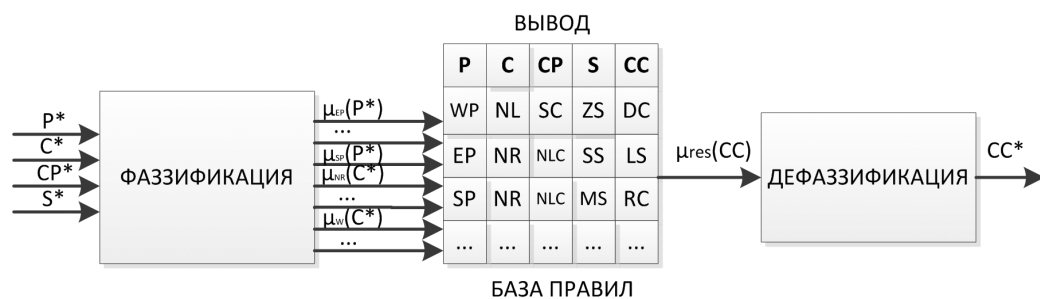


Рис. 6. Схема нечеткой модели расхождения судов в зоне чрезмерного сближения.

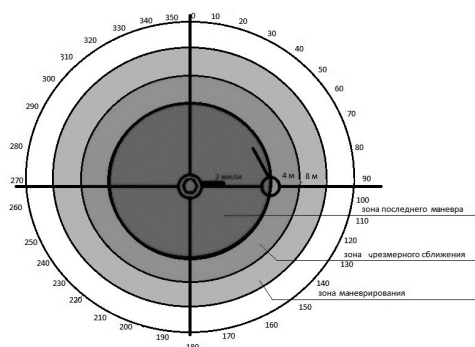


Рис. 7. Схема второй ситуации.

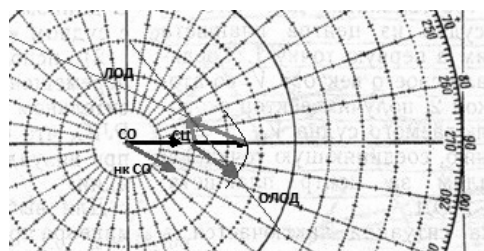


Рис. 8. Раскладка второй ситуации на маневренном планшете.

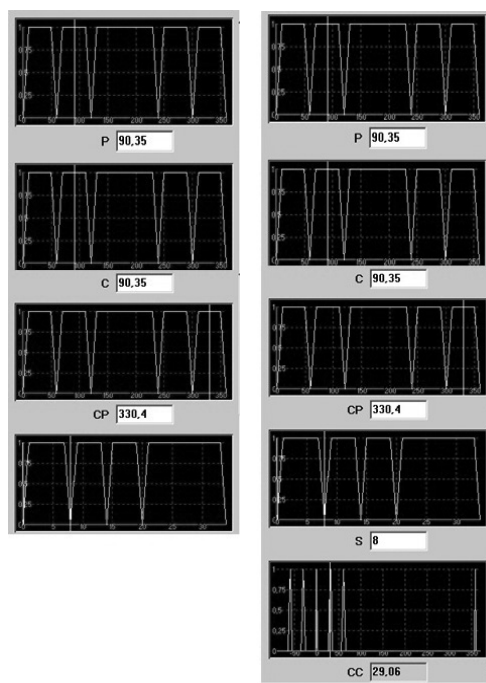


Рис. 9. Тестовая ситуация.

тариев к ним [6, 7], а также рекомендаций так называемой «хорошей морской практики»; фиксирование термов, соответствующих полученным на предыдущем подэтапе курсам СО, для введения в базу ПНП.

Например, такая ситуация: дистанция до цели 2 мили, курс СО равен 330°, скорость 15 узлов. По радиолокационной станции (РЛС) получаем следующую информацию: курс судна-цели 330°, пеленг на цель 330°, скорость СЦ 25 узлов. Подобная ситуация не считается опасной, поскольку СО и СЦ расходятся на безопасном расстоянии без необходимости судно-оператору менять курс. Анализ для этого случая позволил сформировать ПНП № 438.

Вторая ситуация. Предположим, что дистанция до цели 2 мили, курс судна-опе-

ратора 90°, скорость судна-оператора 15 узлов. По РЛС получаем, что курс судна-цели 330°, пеленг на цель 90°, скорость судна-цели 8 узлов (рис. 7).

В такой ситуации СЦ находится прямо по курсу СО и является опасной целью, ибо они расходятся на малой дистанции. Согласно правила 16 МППСС [5], СО должно уступить дорогу, чтобы разойтись с СЦ. Разложив ситуацию на маневренном планшете (рис. 8) и совершив все необходимые расчеты, получим, что новый курс СО составит 120°.

В итоге требуется совершить отворот на 30° вправо, и СО разойдется с СЦ по корме на безопасном расстоянии. Анализ ситуации позволил сформировать ПНП № 91.



3. АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Покажем алгоритм нечеткого вывода для рассмотренной второй ситуации. В этом случае фаззификация первой входной ЛП приводит к значению степени истинности, равной единице, при терме EP. Фаззификация второй и третьей входной приводит к значению степени истинности, равной единице, соответственно при термах E и NLC. Фаззификация четвертой входной лингвистической переменной 0,1 достигается при термах MS и SS.

Подставив данные условия в формулу правил нечетких продукций [3], получим правила:

R: если (EP = P) и (E = C) и (NLC = CP) и (SS = S), то (y = CC);

R: если (EP = P) и (E = C) и (NLC = CP) и (MS = S), то (y = CC).

Соответствующие подусловия совместно используются в ПНП с номерами 91 и 216. Эти правила считаются активизированными и участвуют в дальнейшем процессе нечеткого вывода. Поскольку все условия в указанных правилах заданы в форме нечетких лингвистических высказываний первого вида с применением операции нечеткой конъюнкции, этап их агрегирования составляет степень истинности 0,1 для обоих правил.

Следующим этапом нечеткого вывода является активизация заключения в правилах нечеткой продукции 91 и 216. В нашем случае для дефаззификации используется метод центра тяжести. Протестировав ситуацию в разработанном приложении (рис. 9), выясним, что значение выходной переменной SS приближенно равно 30. Таким образом, угол отворота CO при названных входных параметрах равен 30° вправо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена фаззификация четырех входных и одной выходной переменных нечеткой модели расхождения судов в зоне чрезмерного сближения, сформирована база правил нечетких продукций, состоящая из 525 правил, реализован алгоритм нечеткого вывода, разработан пользовательский интерфейс приложения НЧМ

расхождения. Программное приложение протестировано на примерах, анализ которых осуществлен с использованием маневренного планшета. Тестирование показало работоспособность приложения и адекватность тестовым примерам.

Дальнейшие исследования могут быть посвящены разработке устройств для автоматического получения информации с РЛС, а также передаче выходного значения, полученного из приложения нечеткой модели, исполнительным устройствам, в частности перу руля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нгуен Ким Фьонг. Теоретическое и экспериментальное исследование правила 17 МППСС-72/ Авто-реф. дис... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2006. — 22 с.
2. Вагушенко Л. Л., Вагушенко А. А. Поддержка решений по расхождению с судами. — Одесса: Феникс, 2010. — 229 с.
3. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
4. Регистровая книга [Электронный ресурс] / Главная страница Российского морского регистра судоходства — Электрон. дан. — Режим доступа: <http://www.rs-class.org/ru/>.
5. Международные правила предупреждений столкновений судов в море, 1972 г. / Под ред. Н. А. Долотова, Н. А. Паламарчука. — М., 1982. — 87 с.
6. Коккрофт А. Н., Ламейер Дж. Н. Ф. Толкование МППСС-72: Пер. с англ. — М.: Транспорт, 1981. — 280 с.
7. Яскевич А. П., Зурабов Ю. Г. Комментарии к МППСС-72: Справочник. — М.: Транспорт, 1990. — 479 с.
8. Седова Н. А. Система поддержки решений для привилегированных судов // Мир транспорта. — 2013. — № 3. — С. 110–115.
9. Chien-Min Su, Ki-Yin Chang, Chih-Yung Cheng. Fuzzy Decision on Optimal Collision Avoidance Measures for Ships in Vessel Traffic Service. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 38–48 (2012).
10. Hasegawa K., Fukuto J., Miyake R., Yamazaki M. An intelligent ship handling simulator automatic collision avoidance function of target ships. Proc. International Navigation Simulator Lecturers Conference, (INSL17), pp.F23–1–10, Rostock, Germany, Sep. 3–7, 2012.
11. Hasegawa K., Yamazaki M. Qualitative and Quantitative Analysis of Congested Marine Traffic Environment — An Application Using Marine Traffic Simulation System. The International Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav) Vol.7, No.2, pp.179–184, 2013.
12. Cheng-Neng Hwang, Joe-Ming Yang, Chung-Yen Chiang. The Design of Fuzzy Collision-Avoidance Expert System Implemented by H∞-Autopilot. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 25–37 (2001).

Автор является победителем конкурса на право получения гранта Общероссийской общественной организации «Российская академия транспорта» по поддержке молодых российских ученых. Статья публикуется в рамках соглашения о сотрудничестве между МИИТ и Российской академией транспорта.

COLLISION AVOIDANCE ACTIONS IN THE AREA OF EXCESSIVE APPROACH

Sedova, Nelly A. – Ph.D. (Tech.), associate professor, research associate at research laboratory for nonlinear and intelligent systems at the department of automatic and information systems of Admiral Nevelsky Maritime State University, Vladivostok, Russia.

ABSTRACT

A fuzzy model is proposed for collision avoidance actions of ships in the zone of excessive approach, consisting of four input linguistic variables – line of bearing, course of the vessel- operator, course of the vessel- target, speed of the vessel-target, and one output linguistic variable – course of the vessel- operator. The article provides a technique of forming fuzzy production rules, the base of which contains 525 rules, using maneuvering board.

ENGLISH SUMMARY

Background. One of the main problems of maritime navigation is safe passing of vessels. Statistics show that more than 80% of all emergencies are caused by human errors [1]. Only due to the organizational and technical measures, strengthening of requirements for training of specialists it becomes possible to prevent the growth in the number of collisions. However, and despite this, the problem of collision avoidance actions remains relevant and requires serious preventive measures, for example practical application of automatic decision making system.

Study of existing capabilities has been intensively conducted since the beginning of the application of computers on board of the vessels to solve problems on the bridge, that is, for nearly forty years. During this time, various options of mathematical description were proposed related to situations generated by the vessels and boundaries of the navigable water area, formalization of International Regulations for Preventing Collisions at Sea, synthesis of strategies for collision avoidance. Less attention is paid to the development of visual models, providing a high level of understanding of the situation and facilitating the selection of maneuvers for passing of vessels [2].

This paper presents a fuzzy model (hereinafter- FM) of passing of vessels in the area of excessive approach, which takes into account following assumptions and restrictions: the problem is considered in good visibility, i. e. Rule 19 of IRPCS is not considered [5]; the vessel is equipped with a radar station or two radar stations (depending on the gross tonnage of the vessel); in a simulated situation, we assume that the vessel-operator (VO), as well as vessel-target (VT) are power-driven vessels; VO speed is constant and equal to 15 knots; VT is located at a distance of 2 miles from VO, i. e. it is located in the zone of excessive approach; VT is the only dangerous target (FM can be extended to a large number of dangerous targets, in this case the most dangerous one is determined, a manoeuvre is undertaken for collision avoidance after that the next target is taken which is selected according to the danger level scale).

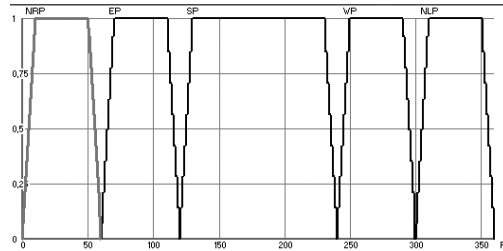
Objective. The objective of the author is to present a fuzzy model of vessels' passing at sea in the zone of excessive approach and to demonstrate its advantages.

Methods. The author uses descriptive method, analysis and modeling, methods of fuzzy logic, algorithms, and linguistic variables.

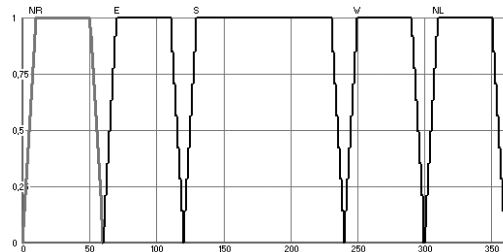
Results.

1. Description of the fuzzy model

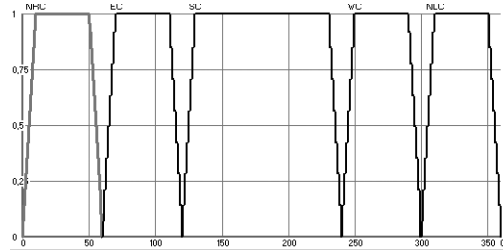
The developed FM for passing of vessels is implemented based on Mamdani algorithm [3] and consists



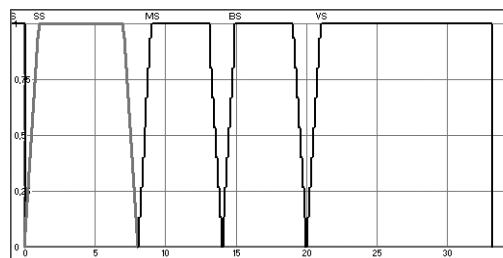
Pic. 1. Membership functions for input variable P.



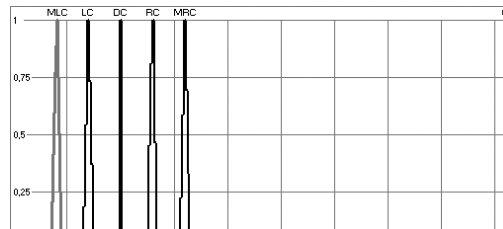
Pic. 2. Membership functions for input variable CC.



Pic. 3. Membership functions for input variable CP.

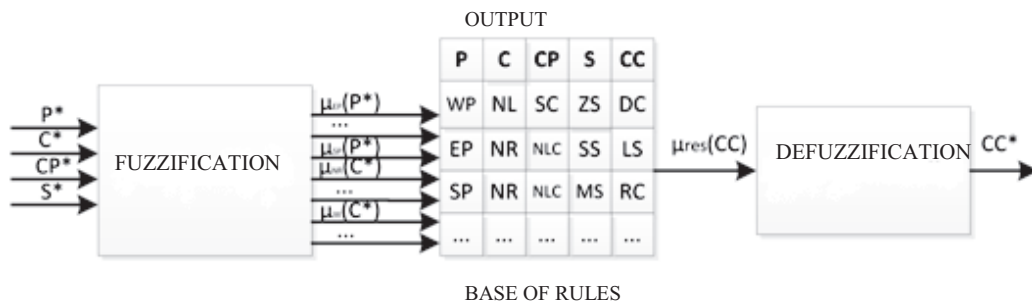


Pic. 4. Membership functions for input variable S.



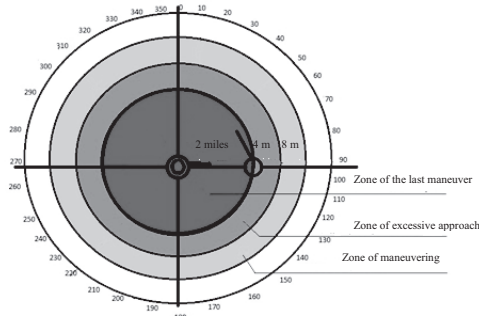
Pic. 5. Membership functions for the output variable CC.





Pic. 6. Scheme of fuzzy model of passing of vessels in the zone of excessive approach.

Pic. 7. Scheme of the second situation.



of four input linguistic variables (hereinafter-LV) [9-12] that significantly affect the determination of the course of VO. The first input LV «Peleng»* (hereinafter – P) is characterized by a ground set $[0^\circ; 360^\circ]$ and includes five terms of the base term set: EastPeleng (EP) as bearing for East; WestPeleng (WP) as bearing for West; NordLeftPeleng (NLP); NordRightPeleng (NRP); SouthPeleng (SP). Membership functions for the terms of the first input LV are shown in Pic. 1. They have a trapezoidal shape with the parameters for the function EP: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; for the function WP: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$; for the function NLP: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; for the function NRP: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; for the function SP: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$.

The second input LV «The course of the vessel-operator» (Course – CC) is characterized by a universal set $[0^\circ; 360^\circ]$, and the base term set consists of following elements: NordRight (NR) – course to the north; NordLeft (NL) – course to the north; East (E) – course to the east; South (S) – course to the south; West (W) – course to the west. Membership functions for the terms of the second input LV are shown in Pic. 2. They have a trapezoidal shape with the parameters for the function NR: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; for the function NL: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; for the function E: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; for the function S: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$; for the function W: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$.

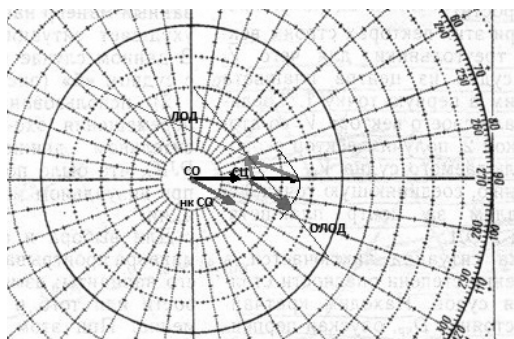
The third input LV «The course of the vessel-target» (CoursePoint – CP) is characterized by a universal set $[0^\circ; 360^\circ]$, and the base term set includes: NordLeftPoint (NLC) – course to the north; NordRightPoint (NRC) –

course to the north; EastPoint (EC) – course to the east; SouthPoint (SC) – course to the south; WestPoint (WC) – course to the west. Membership functions for the terms of the third input LV are given in Pic. 3. They have a trapezoidal shape with the parameters for the function NLC: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; for the function NRC: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; for the function EC: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; for the function SC: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$; for the function WC: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$.

The fourth input LV «The speed of the vessel-target» (Speed – S) is characterized by a universal set $[0; 34]$ of knots, obtained on the basis of information of the Russian Register of Shipping [4]. The terms of the basic term set are: ZeroSpeed (ZS) – fixed target; SmallSpeed (SS) – low speed; MiddleSpeed (MS) – moderate speed; BigSpeed (BS) – high speed; VeryBigSpeed (VS) – a very high speed. Membership functions for terms of the fourth input LV are shown in Pic. 4. They have a trapezoidal shape with the parameters for the function ZS: $a = 0, b = 0, c = 0, d = 0$; for the function SS: $a = 0, b = 1, c = 7, d = 8$; for the function MS: $a = 8, b = 9, c = 13, d = 14$; for the function BS: $a = 14, b = 15, c = 19, d = 20$; for the function VS: $a = 20, b = 21, c = 31, d = 34$.

Given the paragraph of the rule 8 of IRPCS [5] that «if there is a sufficient sea space, alteration of the course may be the most effective action to avoid an excessive approach», and the statement of the authors [2] that «a greater part of actions taken to avoid collisions accounts for course maneuvers», a change in the course of the vessel -operator (ChangeCourse – CC) is selected as an output LV. For convenience, we define a universal set in degrees from -90° to 360° , and in the description of the terms in parentheses there are values of the nuclei of fuzzy sets, corresponding to the terms: MaxLeftCourse (MLC) – much to the left (-60°); LeftCourse (LC) – left (-30°); DirectlyCourse (DC) – directly (without changing course and speed) (0°); MaxRightCourse (MRC) – much to the right (60°); MaxRightCourse

*Russian word «peleng» is originated from Dutch word «peiling» and means «bearing» in navigation. As the author uses term «peleng» in Russian original text and in the developed software in Roman letters we maintained that author's term in translated version, even for abbreviations. – ed.note.



Pic. 8. Decomposition of the second situation on the maneuvering board.

(RC) – to the right (30 °); Gyration (G) – Circulation (360 °). Membership functions for the terms of output LV are shown in Pic. 5. They have a triangular shape with the parameters for the function MLC: $a = -65$, $b = -60$, $c = -55$; for the function LC: $a = -35$, $b = -30$, $c = -25$; for the function DC: $a = 0$, $b = 0$, $c = 0$; for the function MRC: $a = 55$, $b = 60$, $c = 65$; for the function RC: $a = 25$, $b = 30$, $c = 35$; for the function G: $a = 360$, $b = 360$, $c = 360$.

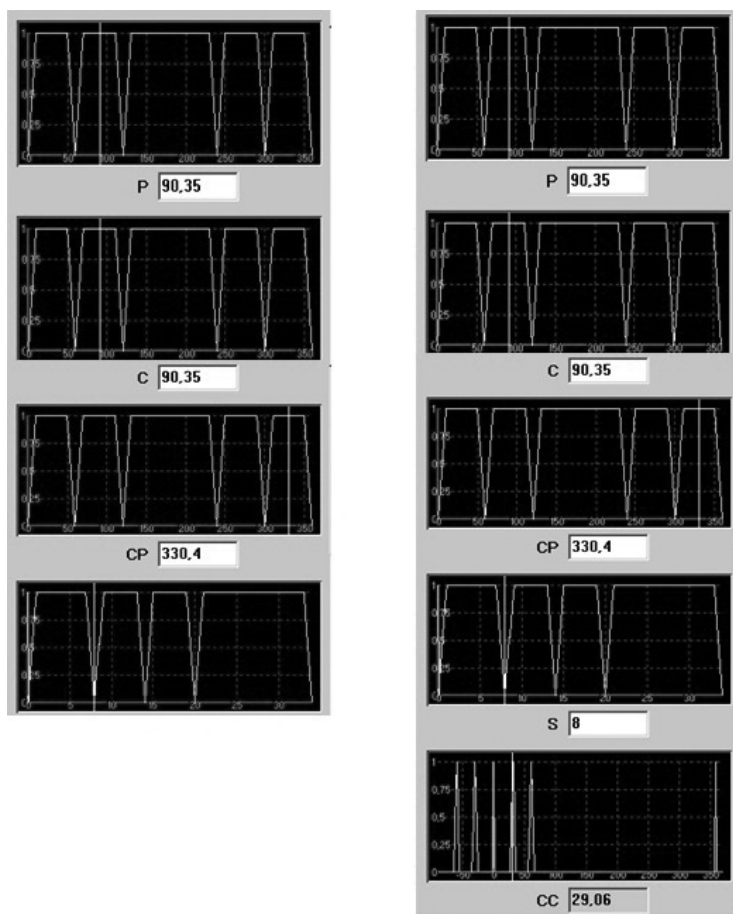
2. The system of fuzzy production rules

Pic. 6 shows the general scheme of FM of passing of vessels in the zone of excessive approach.

The base of fuzzy productions rules (FPR) consists of 525 rules, thus it is necessary to note that they were developed on the basis of information obtained with the help of manoeuvre plot. Methods of setting each rule included the following sub-steps: complete enumeration of a list of different situations that arise in case collision avoidance actions;; establishing of the terms constituting each rule for incorporation into the base FPR; decomposition of each situation on a maneuvering board and the determination of rate of the course change of the VO with account for rules of IRPCS [5], comments to them [6, 7], as well as the recommendations of the so-called «good seamanship»; fixing the terms corresponding to the obtained in the previous sub-step courses of VO, for insertion into FPR base.

For example, considering the first situation, let's assume that the distance to the target is 2 miles, the course of VO is equal to 330 °, speed is 15 knots. From the radar station we obtain the following information: the course of VT is 330 °, target bearing is 330 °, speed of VT is 25 knots. This situation is not considered dangerous, because VO and VT pass at a safe distance from each other and VO does not have to change a course. The analysis for this case made it possible to form FPR № 438.

The second situation. Let's assume that the distance to the target is 2 miles, the course of VO is 90 °, speed of VO is 15 knots. From the radar station we get that the course of VT is 330 °, the target bearing is 90 °, speed of VT is 8 knots (Pic. 7).



Pic. 9. The test situation.



In this situation, VT is right on the course of VO and is a dangerous target, because they pass at a small distance from each other. According to the rule 16 of IRPCS [5], VO must give way to pass with VT. Decomposing the situation on the maneuvering board (Pic. 8) and making all necessary calculations, we find that a new course of VO is 120° .

As a result, it was required to make a turnaway on 30° to the right, and VO will pass VT on the stern at a safe distance. Analysis of the situation allowed to form FPR № 91.

3. The algorithm of fuzzy inference

We show the fuzzy inference algorithm for the consideration of the second situation. In this case, fuzzification of the first input LV leads to a degree of truth, which is equal to 1, at the term EP. Fuzzification of the second and third input LV leads to a degree of truth, which is equal to 1, respectively, at the terms E and NLC. Fuzzification of the fourth input LV is 0, 1, the same is achieved when at the terms MS and SS.

Substituting these terms in the formula of fuzzy productions rules [3], we obtain rules:

R: IF (EP = P) AND (E = C) AND (NLC = CP) AND (SS = S), THEN (y = CC);

R: IF (EP = P) AND (E = C) AND (NLC = CP) AND (MS = S), THEN (y = CC).

The relevant sub-conditions are used jointly in FPR № 91 and 216. These rules are considered

activated and participate in the further process of fuzzy inference. Since all conditions specified in the rules are given in the form of fuzzy linguistic utterances of the first kind with the use of fuzzy conjunction operation, the stage of their aggregation is degree of truth of 0, 1 for both rules.

The next step of fuzzy inference is the activation of conclusion in rules № 91 and 216. In our case, the method of center of gravity is used for defuzzification. Having tested the situation in the developed application (Pic. 9) we get that the value of the output variable CC is approximately equal to 30. Thus, the turnaway angle of VO at these input parameters is 30° to the right.

Conclusion. Fuzzification of four input and one output LV was performed for FM of passage of vessels in the zone of excessive approach, the base of fuzzy productions rules, consisting of 525 rules was formed, fuzzy inference algorithm was implemented, user interface of FM of passage was developed. The software application was tested on examples, the analysis of which was done using the maneuvering board. Testing has shown efficiency of an application and the adequacy to test cases.

Further research may focus on the development of devices to automatically obtain information from the radar station, as well as to transfer an output value obtained from the application of fuzzy model, to actuating devices, in particular to a rudder blade.

Keywords: maritime shipping, control automation, collision avoidance actions, linguistic variable, fuzzy set, line of bearing, vessel course, vessel speed, fuzzy production rule.

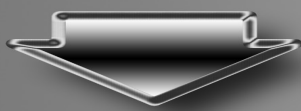
REFERENCES

1. Nguen Kim Phuong. Theoretical and experimental study of rule IRPCS- 72. Abstract of Ph. D. (Tech.) thesis [Teoreticheskoe i eksperimental'noe issledovanie pravila 17 MPPSS-72. Avtoref. dis... kand. tehn. nauk]. St.Petersburg, 2006, 22 p.
2. Vaguschenko, L.L., Vaguschenko, A. A. Support of solutions on collision avoidance actions [Podderzhka resheniy po rashozhdeniyu s sudami]. Odessa, Feniks publ., 2010, 229 p.
3. Leonenkov, A. V. Fuzzy modeling in MATLAB and FuzzyTECH [Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i FuzzyTECH]. St.Petersburg, BHV-Petersburg publ., 2005, 736 p.
4. Register of shipping [electronic resource] / Home page of the Russian Maritime Register of Shipping [Registrovaya kniga [Elektronnyj resurs] <http://www.rs-class.org/ru/>].
5. International Regulations for Preventing Collisions at Sea [Mezhdunarodnye pravila preduprezhdeniy stolknoveniy sudov v more], 1972. Russian edition. Ed. by Dolotov, N.A., Palamarchuk, N. A. Moscow, 1982, 87 p.
6. Cockcroft, A.N., Lameijer, J. N.F. A Guide to the Collision Avoidance Rules, 1972 [Tolkovanie MPPSS-72. Per. s angl]. Moscow, Transport publ., 1981, 280 p.
7. Yaskevich, A.P., Zurabov, Yu.G. Comments to IRPCS-72: A Handbook [Kommentarii k MPPSS-72: Spravochnik]. Moscow, Transport publ., 1990, 479 p.
8. Sedova, N. A. System of Decision-Making Support for Privileged Ships. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*. 2013, Iss. 3, Vol.47, pp.110–115.
9. Chien-Min Su, Ki-Yin Chang, Chih-Yung Cheng. Fuzzy Decision on Optimal Collision Avoidance Measures for Ships in Vessel Traffic Service. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 20, No. 1, pp. 38–48 (2012).
10. Hasegawa K., Fukuto J., Miyake R., Yamazaki M. An intelligent ship handling simulator automatic collision avoidance function of target ships. *Proc. International Navigation Simulator Lecturers Conference, (INSL17)*, pp.F23–1–10, Rostock, Germany, Sep. 3–7, 2012.
11. Hasegawa K., Yamazaki M. Qualitative and Quantitative Analysis of Congested Marine Traffic Environment – An Application Using Marine Traffic Simulation System. *The International Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav)* Vol.7, No.2, pp.179–184, 2013.
12. Cheng-Neng Hwang, Joe-Ming Yang, Chung-Yen Chiang. The Design of Fuzzy Collision-Avoidance Expert System Implemented by H ∞ - Autopilot. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 9, No. 1, pp. 25–37 (2001).

The author is the winner of the contest for the right to a grant of the Russian non-governmental organization «Russian Transport Academy» in support of young Russian scientists. The article is published within the framework of the cooperation agreement between Moscow State University of Railway Engineering (MIIT) and Russian Transport Academy to promote achievements of young researchers.

Координаты автора (contact information): Седова Н. А. (Sedova, N.A.) – nellyfish81@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 16.05.2014
Принята к публикации / article accepted 09.09.2014



ИСТОРИЯ С ПРОДОЛЖЕНИЕМ

Перспективы проекта железнодорожного кольца вокруг Каспия

В «МТ», 2014, № 4 редакция опубликовала в разделе «Колесо истории» текст из журнала «Железнодорожное дело» (1900, № 3). В нем сообщается о возвращении в России интереса к реализации идеи, родившейся за 24 года до того.

И вот новое продолжение темы.

Россия считает перспективным проект создания железнодорожного кольца вокруг Каспия. Об этом заявил президент РФ Владимир Путин, выступая по итогам саммита глав прикаспийских государств, на котором шла речь, в частности, о запуске масштабных проектов по развитию транспортной инфраструктуры.

Приоритет в этой сфере отдается коридору Север—Юг, который позволит связать страны Западной и Северо-Западной Европы с Южной Азией через Россию, Каспийский бассейн и Иран. «Все пять прикаспийских стран вовлечены в этот проект; его реализация позволит уменьшить расстояния перевозок в два раза по сравнению с существую-

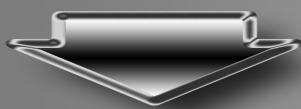
щим маршрутом», — пояснил президент РФ.

Другая идея — создать железнодорожное кольцо вокруг Каспия, отметил Путин.

К концу года планируется достроить восточное полукольцо между Казахстаном, Туркменистаном и Ираном, эта работа практически закончена; в 2016 году завершатся работы на западном полукольце Азербайджан — Иран. «Задача — соединить основные каспийские порты, что существенно сократит время и стоимость перевозки грузов, а значит, повысит конкурентоспособность наших экономик», — добавил российский лидер.

Владимир Путин подчеркнул, что такие многосторонние проекты требуют постоянной организационной поддержки: «Поэтому договорились с партнерами подумать над возможностью создания пятисторонней структуры, которая занималась бы соответствующими вопросами».

*По материалам «Транспортной ленты»
ИТАР-ТАСС и других источников ●*



SEQUEL OF THE STORY

Outlook of the Project of a Railway Ring around the Caspian Sea

In the chapter «History's Wheel» of the issue 4 (Vol.53) of our Journal we published a text reprinted from the № 3 of the journal «Rail business» [Zheleznodorozhnoe delo] of 1900. The reprinted article outlined the returning interest of Russia towards the idea that had been born 24 years before.

And here is a new sequence of the topic.

Russia considers as promising a project to develop a railway ring around the Caspian Sea. It was declared by Russian president Vladimir Putin who summed up the results of the Summit of Caspian littoral states that discussed particularly launching of high scale transport structural projects.

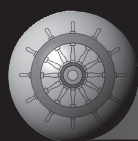
The priority is given to the North-South corridor that might connect countries of West and North-West Europe to Southern Asia via Russia, Caspian basin and Iran. «All five Caspian littoral countries are engaged into that project; its implementation will permit to reduce haulage distances by two times as compared to existing routes» — explained Russian president. He also

stressed out that there is another idea, that of developing railway ring around the Caspian Sea.

It is scheduled that eastern semi ring between Kazakhstan, Turkmenistan and Iran should have been constructed by the end of 2014. This construction has been almost accomplished. Accomplishment of construction of western semi ring between Azerbaijan and Iran is scheduled for 2016. « The objective is to connect major Caspian ports, thus reducing considerably time and costs of transportation of goods, and increasing competitiveness» — added Vladimir Putin. He also outlined that multilateral projects of that nature required permanent organization support, that's why the partners agreed to consider a possibility to establish pentilateral structure in charge of relevant issues.

Based on the materials of «Transport band» edited by ITAR-TASS (authorized use within the agreement with Mir Transporta Journal) and other sources





Интегрированная система управления рисками



Анастасия КОПЫЛОВА

Anastasia V. KOPYLOVA

В рамках предложенной темы автор подтверждает актуальность создания системы управления рисками на железнодорожном транспорте. При этом речь идет о моделировании процессов с использованием апробированных управленческих методов. Приоритет в статье отдается системе управления рисками на основе интеграции международных стандартов ISO 31000:2009 и IEC 622+8:2002 (RAMS). Ее представление сопровождается описанием методов оценки риска и их соответствия этапам жизненного цикла железнодорожного подвижного состава.

Ключевые слова: управление рисками, надежность, безопасность, жизненный цикл, железнодорожный транспорт, подвижной состав, технический регламент, международные стандарты.

Копылова Анастасия Витальевна — аспирант кафедры «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Развитие международной стандартизации в области управления рисками свидетельствует о серьезном внимании ведущих мировых держав к проблемам оценки уровня риска и его прогнозирования. Такие стандарты, как ISO 31000 «Риск-менеджмент. Принципы и рекомендации» и ISO 31010 «Риск-менеджмент. Методы риск-менеджмента», предлагают универсальные подходы для различных сфер деятельности. Стандарт ISO 31010:2009 обеспечивает систему управления рисками разнообразием методов их оценки и даёт им чёткую классификацию. Наличие международных стандартов и методик создаёт необходимое правовое поле при выборе средств, которыми поддерживается качественная, надежная эксплуатация транспортной техники.

Федеральный закон «О техническом регулировании» [1] требует оценивать риски с учётом тяжести последствий применительно к сферам деятельности, связанным с обеспечением безопасности. Подобные требования выражаются в таких отраслевых документах, как технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного

подвижного состава» ТР ТС-001-2011 [2]. Однако в этом регламенте речь идет об элементах подвижного состава исключительно на этапах проектирования и производства, в то время как международные стандарты призывают оценивать риски на всех этапах жизненного цикла технических систем.

Жизненный цикл объектов железнодорожного транспорта описан в международном стандарте IEC 62278:2002 «Железные дороги. Технические условия и демонстрация надёжности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS)». Из него следует, что принципы обеспечения безопасности должны основываться на сведениях о всех возможных опасных состояниях в системе, при всех режимах эксплуатации, технического обслуживания, а также на показателях каждого опасного состояния, тяжести его последствий [3].

Требования RAMS к жизненному циклу железнодорожных объектов в России стали применяться только с 2012 года в виде комплекса стандартов «Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла (УРПАН)» [4]. Если RAMS предполагает наличие на предприятиях железнодорожного транспорта уже внедренных и налаженных процессов управления качеством и рисками в соответствии с международными стандартами, то УРПАН акцентирует внимание на построении системы управления.

УРПАН даёт схожее с RAMS описание жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта, имея в виду прежде всего возможность производить оценку риска повторно на нескольких этапах и в завершение каждого из них приводить требования к видам верификации, необходимым для сопоставления целей и результатов. При этом любое несоответствие не исключает повторных работ на предыдущих этапах, а если же вернуться туда уже невозможно из-за находящегося в эксплуатации объекта, то риски возрастают и нужен метод их оценки, обеспечивающий низкую степень неопределённости.

Поскольку требования RAMS в России стали применяться недавно, большая

часть подвижного состава проходила процедуру оценки риска не на всех этапах жизненного цикла. В связи с чем на железнодорожном транспорте актуализировалась задача комплексного подхода к управлению рисками, включающего совместное применение таких международных стандартов, как ISO 9001:2008; ISO 31000:2009; RAMS и IRIS.

С целью моделирования процесса управления рисками, основанного на требованиях международных стандартов ISO 31000:2009 и RAMS, была разработана интегрированная система, представленная на рис. 1. Она предполагает оценку риска на всех этапах жизненного цикла подвижного состава, в том числе: определение концепции, описание системы и технических условий, анализ риска, требования к системе, распределение требований, конструирование и реализация, производство, установка/монтаж, аттестация системы, приёмка, эксплуатация, техническое обслуживание, утилизация.

Входными данными процесса управления рисками являются коммуникации/консультации и первый этап жизненного цикла по RAMS — определение концепции. Коммуникации и консультации осуществляются со всеми заинтересованными сторонами на всех стадиях, имея в виду идентификацию и документирование видения этими сторонами оцениваемого процесса. Определение концепции включает в себя: регламентацию управления проектом, выделение области применения и целей, проверку связи проекта с безопасностью, анализ финансирования [3].

Началом процесса управления риском становится определение оценочных критериев с учетом внешнего и внутреннего контекстов. Первый контекст — внешняя среда, в которой организация стремится достигнуть своих целей. Здесь можно подразумевать разные сферы: социальную и культурную, политическую, законодательную, технологическую, экономическую и конкурентную среду [5]. Второй контекст — это внутренняя среда организации, которая способна влиять на процесс управления риском. К внутреннему контексту, кстати, относится



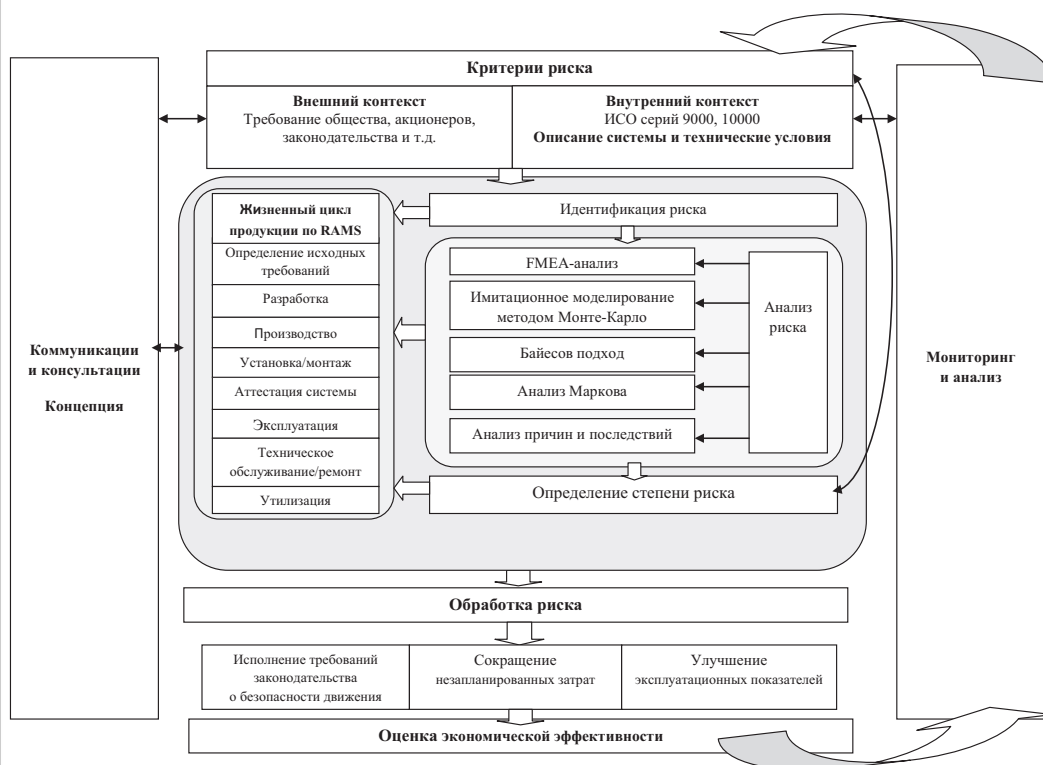


Рис. 1. Система управления рисками на основе интеграции стандартов ISO 31000:2009 и RAMS.

и второй этап жизненного цикла подвижного состава по RAMS – описание системы и технических условий, когда в том числе закладываются критерии оценки риска.

Следующим этапом управления является анализ риска, представляющий собой всеобщий процесс идентификации и оценки степени угроз. В первую очередь организация должна определить источник риска, области его влияния, рискованные случаи, их причины, а также потенциальные последствия, то есть идентифицировать риск для каждого этапа жизненного цикла. Их классификацию и соответствие заявленным требованиям можно определить с помощью стандарта ISO 31010 «Риск-менеджмент. Методы риск-менеджмента».

Поскольку управление рисками на железнодорожном транспорте связано с безопасностью движения, то среди методов их оценки следует выделить те, которые обеспечивают высокую результативность и низкую степень неопределённости. Учитывая это, из таблицы «Параметры выбора методик оценки риска» стандарта ISO/IEC 31010:2009 для

анализа были выбраны метод Монте-Карло, метод Маркова и Байесовы сети. Сюда же целесообразно включить FMEA-анализ и метод анализа причин и последствий, который представляет собой совокупность дерева неисправностей и дерева событий.

Метод Маркова берется, когда будущее состояние системы зависит только от ее текущего состояния. В этом случае используют диаграмму состояний и переходов, графически представляющую функционирование системы и позволяющую отразить порядок, в котором происходят многократные отказы.

Главным преимуществом марковского анализа считается возможность моделирования стратегии технического обслуживания, в том числе и приоритетов восстановления [6]. В рамках RAMS он подходит для расчета готовности и ремонтпригодности систем, которые могут находиться в различных состояниях, к примеру, «исправном» и «неисправном», а также учитывает переходы между двумя этими состояниями во времени [7].

Метод применим для оценки рисков на таких этапах жизненного цикла под-

вижного состава, как установка/монтаж и техническое обслуживание/ремонт. Для этапа эксплуатации он неудобен ввиду того, что предполагает значительное количество допущений и не учитывает взаимовлияния отказов между узлами.

Причинно-следственный анализ представляет собой сочетание дерева событий и дерева отказов. Он даёт схематическое описание последовательности выхода из строя системы, вероятностную оценку возможных последствий, обладает преимуществами «дерева» неисправностей при отображении последовательности отказов и обеспечении полного их понимания на системном уровне.

При построении метода устанавливаются критическое событие, которое выступает конечным событием дерева отказов и исходным событием дерева событий. Далее применяется стандартная процедура построения дерева отказов для исходного события. Определяется порядок, в котором рассматриваются состояния, а в завершение выстраиваются возможные последствия в зависимости от различных состояний. Метод демонстрирует качественную визуализацию процесса, однако вычисление вероятностей не предполагает учёта взаимосвязей между выделенными узлами системы и учёта значимости событий.

Имитационное моделирование *методом Монте-Карло* применяется с целью распределения неопределённости на аналитические модели. Метод, как известно, предполагает использование в виде входных данных случайные переменные и проведение некоторого количества имитаций с выборочным формированием данных для получения искомого результата. Требуемый уровень точности достигается обычно, когда совершается около 10000 имитаций. На основе вычислений можно определить вероятности отказа системы при различном наборе элементов с различной надёжностью.

Метод Монте-Карло обладает такими преимуществами, как возможность совместного использования вероятностной и экспертной оценок и вычисления вероятности с учётом значимости событий. Соответственно он подходит для оценки

риска при определении исходных данных и разработке подвижного состава. Для этапа эксплуатации подвижного состава метод не подходит, поскольку в нём некорректно учитываются события низкой вероятности, но влекущие за собой серьёзные последствия.

FMEA-анализ проводят с целью определения последовательности возникновения отказов и их влияния на систему в целом. Процесс анализа включает:

1. Определение целей исследования.
2. Формирование группы экспертов.
3. Представление системы, подвергаемой исследованию.
4. Разложение системы на составляющие.
5. Определение функций каждой составляющей системы.
6. Определение баллов значимости, возникновения и обнаружения для каждой составляющей системы.
7. Установление граничного приоритетного числа рисков.
8. Организация корректирующих и предупреждающих мероприятий.

Первые пять этапов построения метода являются подготовительными и должны гарантировать, что результат исследования будет адекватным. Описание каждого вида дефекта заносится в протокол анализа видов, причин и последствий отказов, составляемый в соответствии с приложением А стандарта ГОСТ Р 51814.2-2001. На шестом этапе с помощью экспертов устанавливают шкалы баллов значимости (S), возникновения (O) и обнаружения (D). Баллы S и O изменяются от 1 (для наименее значимых по ущербу отказов) до 10 (для наиболее значимых по ущербу отказов). Балл D, напротив, изменяется от 10 (для практически не обнаруживаемых отказов) до 1 (для достоверно обнаруживаемых отказов). После получения экспертных оценок S, O, D вычисляют приоритетное число рисков:

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D.$$

Каждое ПЧР может иметь значения от 1 до 1000. Для приоритетного числа рисков установлена критическая граница (ПЧР_{гр}) в пределах от 100 до 125. Для объектов, связанных с безопасностью, значение ПЧР_{гр} меньше 100.





FMEA-анализ используется для оценки риска на этапах разработки, производства и эксплуатации. Он лёгок в применении и выдает итоговый материал в удобной для восприятия форме. Среди его недостатков — отсутствие возможности моделировать результаты исследований при заданных условиях.

Байесов подход к оценке риска получил распространение в медицине и военной промышленности, так как позволяет предугадать неблагоприятные события при установленных условиях. Отличительной его особенностью является то, что он объединяет в себе вероятностную и экспертную оценки и тем самым позволяет определить достоверный результат даже при нехватке исходных данных. Метод предполагает построение графа так называемой байесовой сети, в которой устанавливаются взаимосвязи между элементами рассматриваемой системы.

Байесов подход позволяет спрогнозировать риск отказа подвижного состава железнодорожного транспорта, что делает метод незаменимым на таких этапах жизненного цикла, как эксплуатация и техническое обслуживание/ремонт.

Следующим этапом системы управления является обработка риска, которая предполагает принятие решений о его допустимости и оценку эффективности проведенного анализа. Должна быть четко определена экономическая целесообразность уменьшения степени риска, в том числе путем сопоставления с величиной затрат на его устранение. Система управления рисками обязана приносить компании прибыль за счет снижения дорогостоящих несоответствий. Однако итоговое решение всегда следует принимать в пользу обеспечения безопасности.

Результаты мониторинга и анализа должны быть зафиксированы и донесены до сведения внешних и внутренних заинтересованных сторон, а также используются как входные данные процесса управления риском [5].

Применение подобных моделей управления рисками позволит организациям железнодорожного транспорта:

- выполнять требования законодательства о безопасности движения;

- сократить незапланированные затраты;

- улучшить эксплуатационные показатели.

Использование RAMS как стандарта, сфокусированного на обеспечении качества функционирования и предоставления услуг, в комбинации со специализированным стандартом по управлению рисками ISO 31000:2009 способствует утверждению интегрированного подхода, отвечающего условиям железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» — 52 с. Электронный ресурс http://www.gost.ru/wps/wcm/connect/a0a4b580455e4860ae96bfe4dffd2ca/FZ_27.12.2002_184.pdf?MOD=AJPERES. Доступ 18.11.2014.

2. ТР ТС — 001—2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» (утв. Комиссией Таможенного союза (от 18 ноября 2010 года № 710) — 66 с. Электронный ресурс http://www.tsouz.ru/KTS/KTS29/Documents/P_710_9.pdf. Доступ 18.11.2014.

3. IEC 62278: 2002. Railway applications — the specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) — 162 p. Электронный ресурс <http://www.vniiki.ru/document/3642099.aspx>. Доступ 18.11.2014.

4. IEC 62278:2002. Railway applications — Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) (IDT) (Неутвержденный проект национального стандарта Российской Федерации IEC 62278: 2002 — Железные дороги. Технические условия и демонстрация надёжности, эксплуатационной готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS)) на русском языке. Электронный ресурс <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fszd.rzd.ru%2Fdbmm%2Fdownload%3Fv%3D3%26load%3Dy%26col%3D121%26id%3D80162&ei=O-NPVKDCIaHVygPN7oLYDA&usq=AFQjCNEfj6GeePOMb1k1EbAl7PcJaejMA&bvm=bv.78597519,d.bGQ&cad=rjt>. Доступ 18.11.2014.

4. СТО РЖД 1.02.030—2010 «Управление ресурсами на этапах жизненного цикла, рисками и анализом надежности (УПРАН). Политика обеспечения безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности объектов железнодорожного транспорта». — 35 с.

5. ГОСТ Р ИСО 31000—2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» — 28 с. Электронный ресурс <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=1&year=2012&search=%D0%B8%D1%81%D0%BE%2031000&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=171333>. Доступ 18.11.2014.

6. ГОСТ Р 51901.15—2005 «Менеджмент риска. Применение марковских методов». — 15 с.

7. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. — 74 с. Электронный ресурс <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=4&month=10&year=2012&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=171417>. Доступ 18.11.2014. ●

INTEGRATED RISK MANAGEMENT SYSTEM

Kopylova, Anastasia V. – Ph.D. student at the department of Engineering science, design, standardization and certification of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

In the context of the proposed topic the author confirms the relevance of creation of the risk management systems on rail transport. The article is focused on modeling processes using proven management techniques. The priority is given to the risk management system based on the integration of international standards ISO 31000: 2009 and IEC 622 + 8: 2002 (RAMS). Its presentation is accompanied by a description of risk assessment techniques and their correspondence to appropriate stages of the life cycle of railway rolling stock.

ENGLISH SUMMARY

Background. The development of international standardization in the field of risk management demonstrates serious attention of leading world powers to assessing the level of risk and its prediction. Standards such as ISO 31000 «Risk management. Principles and guidelines» and ISO 31010 «Risk management. Risk assessment techniques» offer universal approaches for different areas. ISO 31010: 2009 provides a risk management system using a variety of methods for their assessment and gives a clear classification of risks. The presence of international standards and practices create a necessary legal framework for selecting means that support high-quality, reliable operation of transport equipment.

Federal Law «On Technical Regulation» [1] requires to assess risks with account for severity of the impact in relation to activities associated with safety. These requirements are expressed more specifically in the documents of some industrial sectors, e.g. technical regulation of the Customs Union TR CU 001/2011 «On the safety of railway rolling stock» [2]. However, this regulation deals with elements of the rolling stock only at design and production stages, while international standards assess risks at all stages of the life cycle of technical systems.

The life cycle of railway facilities is described in the international standard IEC 62278:2002. «Railway applications. Specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)». From this it follows that safety principles should be based on the knowledge of all possible hazardous conditions in the system, under all modes of operation, maintenance, and they also should be based on performance indicators of each dangerous condition, of severity of its consequences [3].

RAMS requirements for the life cycle of railway facilities in Russia began to be applied only from 2012, in the form of a set of standards «Management of resources at the stages of the life cycle, risks and reliability analysis (MRRAR or URRAN if based on Russian term)» [4]. If RAMS presupposes that railway transport enterprises apply already implemented and well-established processes of quality control and risk management in accordance with international standards, MRRAR focuses on building management system.

MRRAR gives description of the life cycle of railway facilities, similarly to RAMS, and referring primarily to an opportunity to assess risks repeatedly at several stages and upon completion of each of them to formulate verification requirements necessary to

match goals and results. In this case any discrepancy does not preclude repeated operations at previous stages, and if it is impossible to go back to a previous stage due to the in-use facility, risks increase and a method of their assessment is required that provides a low degree of uncertainty.

As the requirements of RAMS have been used recently in Russia, most of the rolling stock underwent the process of risk assessment not at all stages of the life cycle. Therefore a task of an integrated approach to risk management has become acute for the railway transport, including the combined use of international standards such as ISO 9001: 2008; ISO 31000: 2009; RAMS and IRIS.

Objective. The objective of the author is to show advantages of creation of an integrated risk management system, which can be implemented at rail transport.

Methods. The author uses analysis, descriptive method and comparison.

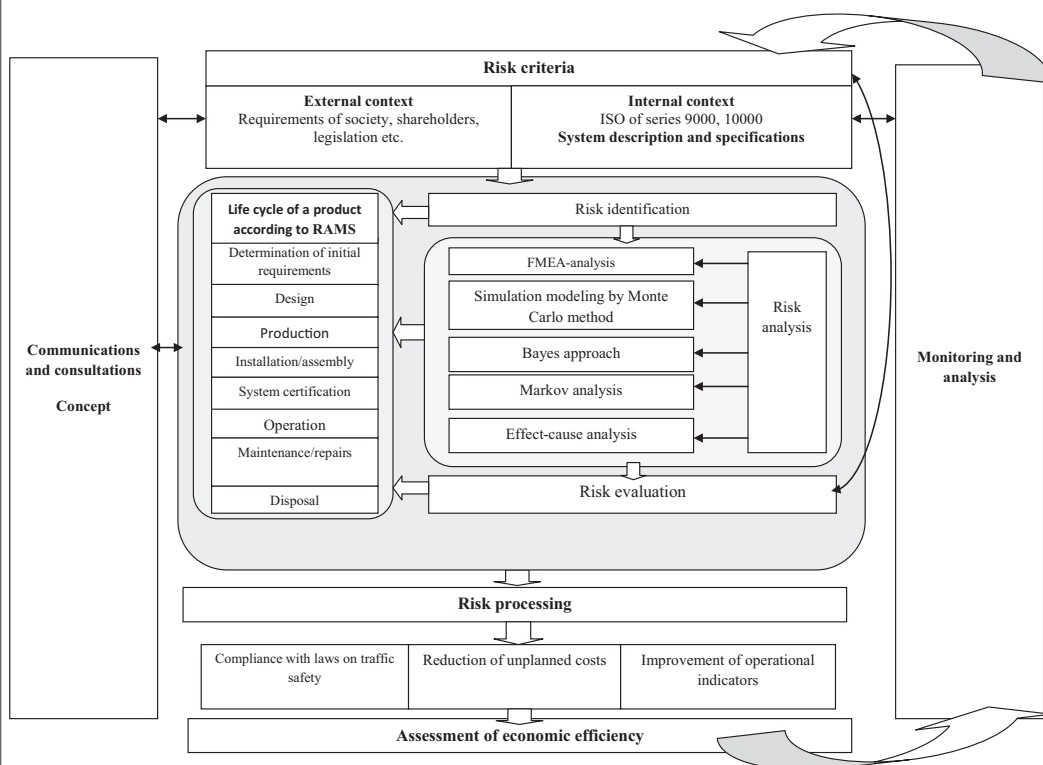
Results. With the aim of modeling risk management process, based on the international standard ISO 31000: 2009 and RAMS, an integrated system has been developed, which is shown in Pic. 1. It involves the assessment of risk at all stages of the life cycle of rolling stock, including: determination of a concept, description of system and specifications, risk analysis, system requirements, distribution of requirements, design and implementation, production, installation / assembly, certification of a system, acceptance, operation, maintenance and disposal.

Input data to the risk management process are communications / consultations and the first stage of the life cycle by RAMS is determination of the concept. Communication and consultation are carried out with all stakeholders at all stages, meaning identification and documentation of opinions of the parties in relation to the process under evaluation. Determination of the concept includes: regulation of project management, the allocation of the scope and objectives, check of the project's safety relevance, funding analysis [3].

The process of risk management starts with determination of evaluation criteria, taking into account external and internal contexts. The first context is the external environment in which the organization seeks to achieve its objectives. It can mean different areas: social and cultural, political, legal, technological, economic and competitive environment [5]. The second context is the internal environment of the organization, which can affect the risk management process. The internal context, incidentally, involves the second stage of the life cycle of the rolling stock as stipulated by RAMS, which includes system description and specifications, setting up of risk assessment criteria.

The next stage of risk management is the analysis of risks, which is a universal process of identifying and assessing threats. In the first place the organization must identify the source of the risk, its area of influence, risky cases, their causes and potential consequences, that is, to identify a risk for each stage of the life cycle. Their classification and compliance with the stated requirements can be determined using standard ISO 31010 «Risk management. Risk management techniques».





Pic. 1. Risk management system based on the integration of ISO 31000: 2009 and RAMS.

Since risk management on rail transport is connected with traffic safety, among the methods of their assessment we should identify those that provide high performance and low degree of uncertainty. Given this, from the table «Selection of risk assessment techniques» of ISO / IEC 31010: 2009 Monte Carlo method, Markov method and Bayes networks were selected as tools of analysis. It is also advisable to include FMEA-analysis and analysis of causes and consequences, which is a set of fault tree and event tree.

Markov method is taken when the future state of the system depends only on its current state. In this case, we use the diagram of states and transitions, graphically representing the operation of the system and enabling to reflect the order in which multiple failures occur.

The main advantage of the Markov analysis is the possibility to simulate a maintenance strategy, including restoring priorities [6]. Within RAMS it is suitable for calculation of readiness and maintainability of systems that may be in different states, for example, «intact» and «defective» and also takes into account transitions between these states in time [7].

The method is applicable for risk assessment at such stages of the life cycle of rolling stock, as installation / assembly and maintenance / repair. For operation phase it is inconvenient since it implies a considerable number of assumptions and does not take into account failure interaction between nodes.

Causal analysis is a combination of event tree and fault tree. It gives a schematic description of the sequence of failure of the system, a probabilistic assessment of possible consequences, has the advantages of a «tree» of faults when displaying a sequence of failures and ensuring their full understanding at the system level.

In the construction of a method a critical event is set, which acts as an end event of a fault tree and an initial event of an event tree. Next, we apply a standard procedure for constructing a fault tree for the initial event. An order is determined in which states are considered, and upon the completion possible consequences are lined up, depending on various conditions. The method demonstrates a qualitative visualization of the process, but the calculation of probabilities does not involve accounting of relationships between selected nodes in the system and accounting of event importance.

Simulation modeling by Monte Carlo method is used to allocate the uncertainty within the analytical model. The method involves the use of random variables as input data and holding a number of simulations with selective formation of data to obtain a desired result. The required level of accuracy is usually achieved when around 10000 simulations are made. On the basis of calculations it is possible to determine the probability of failure of the system under a different set of elements with different reliability.

Monte Carlo method has advantages such as the possibility of combined use of probabilistic and expert estimates and calculations of probability, taking into account the significance of the event. Accordingly, it is appropriate for the risk assessment in determining initial data and the design of rolling stock. The method is not suitable for the operational phase of rolling stock, because it incorrectly takes into account low probability events, which entail serious consequences.

FMEA-analysis is applied to determine the sequence of failures and their impact on the overall system. The analysis process includes:

1. Determination of research objectives.
2. Formation of the group of experts.
3. Presentation of the system under investigation.
4. The decomposition of the system into components.
5. Identification of functions of each component of the system.
6. Determination of points of significance, occurrence and detection for each component of the system.
7. Determination of the boundary priority number of risks.
8. Organization of corrective and preventive actions.

The first five steps of the method construction are preparatory and must ensure that the research results will be adequate. Description of each type of defect is written in the report of analysis of types, causes and consequences of failures, compiled in accordance with Annex A of GOST R 51814.2–2001. At the sixth stage with the help of experts we set scales of points of significance (S), occurrence (O) and detection (D). Points S and O vary from 1 (the least significant failures as for the damage caused by them) to 10 (for the most significant failures see the damage caused by them). Point D, on the contrary, ranges from 10 (for virtually undetectable failure) to 1 (for reliably detectable failures). After obtaining expert judgments of S, O, D a priority number of risks (PNR) is calculated:

$PNR = S \cdot O \cdot D$.

Each PNR can have values from 1 to 1000. For priority number of risks critical boundary is set (PNR_{bound}) ranging from 100 to 125. For the objects related to safety, PNR_{bound} value is less than 100.

FMEA-analysis is used to assess the risk at the stages of design, production and operation. It is easy-to-use and provides the final material in readable form. Among its disadvantages there is a lack of ability to simulate results of studies under the given conditions.

Keywords: risk management, reliability, security, life cycle, rail transport, rolling stock, technical regulation, international standards.

REFERENCES

1. Federal Law «On technical regulation» N184-FZ of December 27, 2002 [*Federal'nyy zakon «O tehnikeskom regulirovaniy» N184-FZ 27 dekabrya 2002 g.*], 52 p. http://www.gost.ru/wps/wcm/connect/a0a4b580455e4860ae96bfe4dffffd2ca/FZ_27.12.2002_184.pdf?MOD=AJPERES. Last accessed 18.11.2014.
2. TR CU 001/2011 «On the safety of railway rolling stock» (app. by Commission of the Customs Union on November 18, 2010 № 710) [*TR TS 001/2011 «O bezopasnosti zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava» (utv. komissiei Tamozhennogo soyuza 18 noyabrya 2010 g. № 710)*] – 66 p. http://www.tsouz.ru/KTS/KTS29/Documents/P_710_9.pdf. Last accessed 18.11.2014.
3. IEC 62278:2002. Railway applications. Specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – 162 p. <http://www.vniiki.ru/document/3642099.aspx>. Last accessed 18.11.2014.
4. Company standard of JSC «Russian Railways» 1.02.030–2010 «Management of resources at the stages of the life cycle, risks and reliability analysis (MRRAR). Policy to ensure reliability, availability, maintainability and

Bayes approach to risk assessment became widespread in medicine and military industry, as it allows predicting adverse events under stated conditions. A distinctive feature is that it combines probabilistic and expert estimates, and thereby enables to determine a reliable result even with the lack of initial data. The method involves the construction of a graph, a so-called Bayes network, in which the relationships between elements of the system are set.

Bayes approach enables to predict a risk of failure of railway rolling stock, which makes the method indispensable at such stages of the lifecycle as operation and maintenance / repair.

The next stage of management system is risk processing, which involves making decisions on risk's admissibility and assessment of the effectiveness of the analysis. It is necessary to determine clearly the economic feasibility of risk prevention, including by comparison with the value of the cost of its elimination. The risk management system is required to bring profits to a company by reducing costly discrepancies. However, the final decision should always be taken in favor of safety.

The results of monitoring and analysis should be documented and brought to the attention of internal and external stakeholders, as well as used as input data of risk management process [5].

Conclusion. The use of described models of risk management will allow rail transport organizations to:

- comply with the requirements of the legislation on traffic safety;
- reduce unplanned expenses;
- to improve operational performance.

The use of RAMS as a standard, focusing on providing quality performance and service delivery, in combination with a specialized standard on risk management ISO 31000: 2009 promotes an integrated approach that meets the conditions of rail transport.

safety of rail transport» [*STO RZhD 1.02.030–2010 «Upravlenie resursami na etapah zhiznennogo tsikla, riskami i analizom nadezhnosti (URRAN). Politika obespecheniya bezotkaznosti, gotovnosti, remontoprigodnosti i bezopasnosti obektov zheleznodorozhnogo transporta*"] – 35 p.

5. GOST R ISO 31000-2010. Risk management. Principles and guidelines [*Menedzhment riska. Printsipy i rukovodstvo*], 28 p. <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=1&year=2012&search=%D0%B8%D1%81%D0%BE%2031000&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=171333>. Last accessed 18.11.2014.

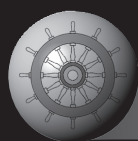
6. State standard 51901.15–2005 «Risk management. Application of Markov's techniques» [*GOST R 51901.15–2005 «Menedzhment riska. Primenenie markovskikh metodov*"]. Moscow, Standartinfo publ., 2005, 15 p.

7. GOST R ISO/MEK 31010–2011 2011. Risk management. Methods of risk assessment [*Menedzhment riska. Metody otsenki riska*], 74 p. <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=4&month=10&year=2012&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=171417>. Last accessed 18.11.2014.

Координаты автора (contact information): Копылова А. В. (Kopylova, A.V.) – xzx-mot@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 16.07.2014
Принята к публикации / article accepted 26.10.2014





Маркетинговый подход к исследованию городских пассажиропотоков



Александр САЛЬНИКОВ

Alexander M. SALNIKOV

Статья посвящена проблемам организации пассажиропотоков общественного транспорта в Ярославле. Взамен традиционных способов изучения спроса на городские пассажирские перевозки обоснован новый метод исследования, базирующийся на маркетинговой концепции. Полевая часть программы реализована в мае 2012 года. Результаты изучения транспортной ситуации позволили предложить коррекции, оптимизирующие маршрутную сеть города.

Ключевые слова: общественный транспорт, пассажиропоток, управление, маршрутная сеть, оптимизация, маркетинговый подход.

Сальников Александр Михайлович – кандидат экономических наук, доцент кафедры маркетинга и коммерции Ярославского филиала Московского государственного университета экономики, статистики и информатики, Ярославль, Россия.

Перед большинством городов стоит вполне реальная проблема оптимизации сети маршрутов муниципального транспорта, которую нужно решать не в отдаленном будущем, а прямо сейчас.

Первой задачей, связанной с этим, является исследование спроса на внутригородские пассажирские перевозки всеми видами общественного транспорта.

Анализируя работы 2004–2013 годов, можно прийти к выводу, что исследование спроса производится неверно. Подход, который мы будем в дальнейшем называть «традиционным» [напр., 2, 3, 6, 7, 10, 14], сводится к следующему. В каждую единицу подвижного состава помещается учетчик, фиксирующий количество вошедших и вышедших пассажиров на каждой остановке. В ряде случаев [5, 8, 11] предлагается поставить учетчика на остановке и фиксировать количество вышедших из каждого трамвая, троллейбуса или автобуса и количество вошедших.

Такой метод весьма распространен, однако обладает рядом существенных недостатков.

Во-первых, он весьма трудозатратен. Например, в Ярославле на линии выходит

Таблица 1

Перемещение пассажиров между остановками

		Номер остановки назначения, j			
		1	2	...	m
Номер остановки отправления, i	1				
	2				
	...			p_{ij}	
	m				

950 единиц подвижного состава, работающих примерно по 18 часов в сутки. За одни сутки это составит 34200 человеко-часов (в салоне должно находиться минимум два учётчика).

Во-вторых, традиционный подход не учитывает пересадки одного и того же пассажира на транспорт другого маршрута (хотя есть работы, в которых предлагается отслеживать пересадки — например, [1]). Это, в свою очередь, приводит к тому, что собранные данные могут применяться либо для решения задачи о графиках движения, либо для выбора модели транспортного средства под условия маршрута. Изменить же сам маршрут или создать новый невозможно — информация для этого отсутствует.

В целом такой подход соответствует производственной или продуктовой концепции ведения бизнеса [15, 17]. Согласно Левитту [16], он рано или поздно приведет к резкому оттоку клиентов и, как следствие, к банкротству. Это, собственно, уже и происходит во многих городах, в том числе Ярославле: муниципальные перевозчики являются убыточными и существуют только благодаря дотациям.

МАРКЕТИНГОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Все очевиднее, что в современных условиях организация движения общественного транспорта должна соответствовать маркетинговой концепции ведения бизнеса [15, 17]. Концепция маркетингового управления предполагает, что компания обязана производить и продавать продукт, полностью удовлетворяющий какую-либо потребность населения. Применительно к городскому общественному транспорту такую потребность можно описать рядом параметров:

- пункт (остановка) отправления;
- пункт (остановка) назначения;
- время отправления.

Стоимость проезда в городском пассажирском транспорте определяется органами власти, и перевозчики не могут устанавливать ее самостоятельно. Тип же транспортного средства (трамвай, троллейбус, автобус) и модель для пассажира второстепенны, как и маршрут передвижения, — главное, чтобы обеспечивалась доставка пассажира из пункта отправления в пункт назначения с минимальными затратами времени и минимумом пересадок.

В соответствии с маркетинговой концепцией бизнеса предложение компании должно полностью соответствовать спросу, а следовательно, исходную информацию нужно получить от самих пассажиров. Подобные идеи высказывались и ранее [4, 12], но они не были доведены до своего логического завершения.

Сама процедура получения исходной информации выглядит следующим образом. На каждой остановке в утренние часы-пик опрашивается n_i человек по анкете с вопросами:

- 1) До какой остановки вы сейчас поедете?
- 2) Ваш пол?
- 3) Ваш возраст?

Если опрос проводится в вечерние часы-пик, то первый вопрос трансформируется: «От какой остановки вы сюда ехали?» Кроме того, на той же остановке фиксируется общее количество людей, которые на нее приходят, чтобы воспользоваться общественным транспортом.

Обработка результатов сводится к построению таблицы корреспонденции остановок в пределах города (образец — таблица 1).

Значение $p_{i,j}$ — число пассажиров, едущих от остановки с номером i до остановки с номером j , рассчитывается следующим образом:

$$p_{i,j} = \frac{o_{i,j}}{n_i} \times h_i,$$

(1)



Таблица 2

Пассажирооборот между различными районами Ярославля

		РАЙОН ПРИБЫТИЯ («РАБОТА»)																
		Нефестрой	Кресты	Суздалка	Липовая гора	Средний и Нижний поселки	проспект Машиностроителей	проспект Авиаторов	Резинотехника	Норское	Брагино	проспект Дзержинского	Перекоп	центр города	проспект Ленина	Пятерка	Ярославль-Главный	
РАЙОН ОТПРАВЛЕНИЯ («ДОМ»)	Нефестрой	85	273	904						255	85			1177	631		170	3580
	Кресты			1000						436			500	872	4372			7180
	Суздалка	406	467	1623	561		47	622			885			1110	1028	466		7215
	Липовая гора	176		178	890			88		88	90	180		1602	88	90	90	3560
	Средний и Нижний поселки					324	306	45			108			90	504	153		1530
	проспект Машиностроителей	1122		1122		561	2295							1683	2244	561	561	10149
	проспект Авиаторов	259					328	82		518				259	259			1705
	Резинотехника							400	1422					1284	921			4027
	Норское			220					217	3772	217			418	1050	198	198	6290
	Брагино	741	741	741		1482				741	1482				1482			7410
	проспект Дзержинского	1481	2962	3027							166	664	1481	773	1546			12100
	Перекоп		840	420								420	2550	840			1320	6390
	центр города	221	168	266	46	54	62	168				108	222	704	582	357	382	3340
	проспект Ленина	43		58			210	159		90	180	38		136	310	58	415	1697
	Пятерка		1822	4396				2574			1605		1287	2892	2357		1287	18220
Ярославль-Главный	54	29			29	29			27	56			58	249		78	609	
ИТОГО		4588	7302	13955	1497	2450	3277	4138	1639	5927	4874	1410	6040	13898	17623	1883	4501	95002

где $p_{i,j}$ – количество пассажиров, едущих от остановки номер i до остановки номер j ;

$o_{i,j}$ – количество респондентов на остановке номер i , ответивших, что они собираются ехать до остановки номер j ;

n_i – число респондентов, опрошенных на остановке номер i ;

h_i – общее число пассажиров, пришедших на остановку номер i .

Точность исследования можно повысить, разбив сутки на интервалы (например, продолжительностью один час) и проведя замеры $o_{i,j}$ и h_i в пределах каждого интервала. В свою очередь, h_i можно измерить упрощенно: определить количество пассажиров, пришедших на остановку в течение пяти минут, а затем, сделав предположение о неизменности потока, умножить полученную цифру на двенадцать. Подобный вариант позволит существенно уменьшить ресурсы, необходимые для проведения исследования.

АПРОБАЦИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ СХЕМ

Предложенная методика апробирована в мае 2012 года.

В городе были выделены шестнадцать изолированных районов, в каждом из них отбиралось по две-четыре остановки для проведения опроса. Количество таких остановок составило 40. Общее число опрошенных пассажиров в возрасте от 15 лет и старше – 400; ошибка выборки равна ± 5 пунктов при доверительной вероятности 95,4% (население Ярославля в этом возрасте составляет 528482 человека [13]).

Число отъезжающих с каждой из сорока остановок фиксировалось трижды: в интервалах с 7⁰⁰ до 8⁰⁰, с 8⁰⁰ до 9⁰⁰, с 9⁰⁰ до 10⁰⁰, в течение десяти минут на протяжении каждого часового интервала. Таким образом, исследование затрагивало часы-пик – как правило, самые проблемные периоды в большинстве городов, поскольку за небольшой промежуток времени нужно пе-

ревезти значительное количество людей на значительное расстояние.

Предполагалось, что количество пассажиров и типовые направления их убытия со всех остановок в одном районе одинаковы. Тогда общее количество пассажиров, уезжающих из района k в район l , будет равно:

$$p_{k,l} = \frac{o_{k,l}}{n_k} \times h_k \times \frac{t_k}{s_k}, \quad (2)$$

где $p_{k,l}$ — количество пассажиров, едущих из района номер k в район номер l ;

$o_{k,l}$ — количество респондентов на остановках района номер k , ответивших, что они собираются ехать до остановки в районе номер l ;

n_k — число респондентов, опрошенных на остановках района номер k ;

h_k — общее число пассажиров, пришедших на остановки в районе номер k , на которых проводилось исследование;

s_k — число остановок в районе k , на которых проводилось исследование;

t_k — общее число остановок в районе k .

Кроме того, в состав анкеты был добавлен вопрос: «Какими маршрутами общественного транспорта вы пользуетесь для поездок на работу?» Ответы на него помогали оценить, справляются ли существующие маршруты с перевозкой пассажиров, или же пассажиры вынуждены производить пересадки, пользоваться объездными маршрутами и так далее.

На основе полученных данных построена таблица 2 пассажирооборота между различными районами города и сделан анализ сложившейся ситуации с общественным транспортом.

Общее число пользующихся услугами общественного транспорта в часы-пик — 95002 человека, что составляет 18% от численности населения Ярославля в возрасте 15 лет и старше. В выборке оказалось всего лишь 8,8% людей в возрасте 50 лет и старше и 4% — в возрасте от 15 до 20 лет. То есть можно считать, что пенсионеры, школьники и студенты предпочитают использовать общественный транспорт вне часов-пик. Получается, что в часы-пик на трамваях, автобусах, троллейбусах перемещается 33% экономически активного населения города. (В вечерние часы-пик объемы перевозок будут, разумеется, теми же самыми.)

Анализируя таблицу, можно заметить, что 17,1% пиковых пассажиров (16281 человек) работают в том же районе, что и живут — именно для них и требуются короткие «внутрирайонные» маршруты. Однако чисто «внутрирайонных» маршрутов нет — пассажиры чаще всего вынуждены использовать маршрутные такси. Особенно это касается таких районов, как Норское (автобус № 6 или маршрутные такси № 96 при 3772 пиковых пассажирах), Перекоп (маршрутные такси № 85 и № 87, 2550 пассажиров) и район проспекта Машиностроителей (маршрутные такси № 36, № 83, № 85, 2295 пиковых пассажиров).

ПРОБЛЕМНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Основу пассажирского транспорта в Ярославле составляют автобусы малой вместимости (типа ПАЗ-3205 и ПАЗ-3204), а также микроавтобусы типа «Газель», используемые в качестве маршрутных такси. Муниципальный транспорт главным образом представлен автобусами большой вместимости типа ЛиАЗ-5256 и ЛиАЗ-5292, троллейбусами типа ЗиУ-9.

Очевидно, что ситуация, при которой значительная часть пассажиров перевозится общественно-опасными маршрутками, в современном городе неприемлема: маршрутки необходимо заменять на транспорт большой вместимости с установленными местами посадки/высадки пассажиров. В таблице пассажирооборота были выделены направления, которыми пользуются более 300 человек, — в этом случае предполагалась возможность создать маршрут, обслуживаемый автобусом большой вместимости, способный сделать как минимум три рейса за утренний час-пик при 100% загруженности (и соответственно три рейса в вечерний час-пик).

По направлению Нефестрой — Суздалька в часы-пик перевозится 904 человека. Единственным видом транспорта здесь является маршрутные такси № 47, которое обслуживается микроавтобусами типа «Газель» и их аналогами. Очевидно, что для перевозки такого количества пассажиров требуется около 25 рейсов «Газелей» в час. Реальное же количество гораздо меньше — не более шести рейсов, что, во-первых, приводит к перегрузке подвижного состава (нередки случаи перевозки пассажиров



стоя); во-вторых, многие пассажиры вынуждены ехать «в объезд» с пересадкой на остановке «Выемка» (расстояние при этом увеличивается в три-четыре раза). Решением этой проблемы может стать создание «укороченного» маршрута, связывающего эти два района, с использованием автобусов большой вместимости.

Кроме того, можно выделить еще три направления: Кресты — Суздалка (1000 пиковых пассажиров), Суздалка — Нефестрой (406), Суздалка — Кресты (467), которые имеют те же самые проблемы.

Следующее проблемное направление Нефестрой — район проспекта Ленина (631 пассажир). Существующие маршруты в целом удовлетворяют спрос (автобус № 2, маршрутные такси № 97 и № 98), однако все они проходят через Московский проспект в зоне наибольших пробок, а также через исторический центр города, тоже перегруженный транспортом. Решением может служить запуск маршрута в объезд пробок — через Юго-Западную окружную дорогу и Перекоп. Этот же маршрут поможет доставке жителей по направлениям Кресты — район проспекта Ленина (4372 пассажира), Суздалка — район проспекта Ленина (1028 пассажиров).

Серьезные проблемы наблюдаются в районе Липовой горы. Самое массовое направление выезда отсюда — в центр города (1602 человека). Большинство пассажиров здесь перевозится маршрутными такси, которые в час-пик переполнены. В качестве первичных мер можно назвать увеличение количества автобусов на маршрутах № 4 и № 41, в качестве перспективной задачи — перенос части маршрута № 41 с проспекта Фрунзе (в районе «нового» Сокола) и Московского проспекта на Тормозное шоссе.

Район проспекта Машиностроителей и в советские времена отличался низкой транспортной доступностью. Эта репутация сохраняется: есть два направления — на Нефестрой и на Суздалку — с большой загрузкой (2244 пассажира), которые обслуживаются маршрутными такси — автобусами типа ПАЗ-3205 и ПАЗ-3204, причем их пути пролегают через «пробкоопасные» места. Облегчить ситуацию может прокладка нового маршрута с автобусами повышенной вместимости через проспект Ле-

нина, Перекоп и Юго-Западную окружную дорогу.

Из районов Брагино и проспекта Дзержинского на Нефестрой, Суздалку и в Кресты ежедневно уезжают 9693 человека — более 10% всего количества «пиковых» пассажиров. В основном они перевозятся маршрутными такси, что приводит к высокой загруженности подвижного состава, и пробкам на проспекте Октября, в центре города, на Московском проспекте. Проблема решается двумя способами. Первый заключается в организации автобусного маршрута через Юго-Западную окружную дорогу с обслуживанием автобусами особо большой вместимости (типа ЛиАЗ-6212 или ЛиАЗ-6213), второй — в совмещении двух троллейбусных маршрутов № 8 и № 9 в один, причем с обязательным использованием на трассе троллейбусов повышенной вместимости типа ЗиУ-683.

Трамвайные линии, большей частью уничтоженные в 2004—2009 годах, служили транспортной основой двух районов — Перекопа и Пятерки. Как оказалось, с Пятерки на Перекоп желают попасть 1287 человек ежедневно, прямых маршрутов (или хотя бы с удобной пересадкой) сейчас не существует. Временным решением является перевозка пассажиров автобусами маршрута проспект Дзержинского — Перекоп, кардинальным, но маловероятным — восстановление трамвайного движения на Перекопе.

Ликвидация трамваев на Перекопе негативно отразилась и на направлении Перекоп — центр города (840 пассажиров). В момент опроса пассажиры пользовались автобусом маршрута № 19-К. Проблема маршрута заключается в том, что часть его проходит по очень загруженному Московскому проспекту. К тому же для выезда на проспект и съезда с него автобус должен проехать несколько узких улиц с односторонним движением, что увеличивает протяженность маршрута на два-три километра и вероятность возникновения аварийных ситуаций. Решением может служить запуск этого же маршрута через Толбухинский мост и улицу Большую Октябрьскую.

Район Пятерки «богат» нерешенными транспортными проблемами. Отсюда на Суздалку и в Кресты ежедневно уезжают 6218 человек. Прямого маршрута, связывающего Пятерку с Крестами, нет; на Суздалку (4396 пиковых пассажиров)

запущено маршрутное такси № 94 — обслуживается микроавтобусами типа «Газель», идущими через центр города и Московский проспект. Изменить ситуацию может запуск автобусов большой вместимости через улицу Угличскую, Перекоп и Юго-Западную окружную дорогу.

Другим направлением, требующим реформирования, является Пятёрка — Брагино (1605 человек). Имеющиеся маршрутные такси № 61 и № 78 со сложившимися потребностями не справляются. Выход видится в увеличении количества вагонов на трамвайном маршруте № 5 с уменьшением интервалов движения (сейчас — около 30 минут [9]).

Приведенные примеры, разумеется, не исчерпывают выявленных исследований проблем, они лишь иллюстрируют суть метода и его результативность. Что касается в целом оценки городской сети пассажирского транспорта, то она имеет и немало направлений, которые достаточно хорошо обслуживаются существующими маршрутами, и проведения каких-либо реформ в их отношении не требуется.

ВЫВОДЫ

Предложен способ исследования пассажиропотоков в городе. Он прошел проверку практикой, преимущества его подтвердились: трудозатраты на полевую часть при сопоставимой точности составили всего лишь около 60 человеко-часов (традиционный способ потребовал бы как минимум 11400 человеко-часов), по результатам опросов и анализа выданы почти три десятка предложений по реформированию сети маршрутов, более половины из которых невозможно было бы получить традиционным способом.

Новый метод хорошо подходит для принятия стратегических решений при формировании транспортной среды: он позволяет оценить количество людей, перемещающихся из района в район или от одной остановки до другой, и создать на основе этих данных сеть маршрутов, определить наиболее пригодный для каждого маршрута тип транспортного средства. Прежний способ исследования помогал лишь уточнить, сделать более оптимальным график движения подвижного состава по тому или иному пути.

Неиспользованный пока методический ресурс: опросы в непиковое время, а также в выходные дни для формирования графиков движения и выделения маршрутов, работающих исключительно в выходные или исключительно в будние дни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баламирзоев А. Г., Алиева Х. Р., Баламирзоева Э. Р. Принятие решений пассажиропотоком по выбору маршрута передвижения // *Фундаментальные исследования*. — 2013. — № 4. — С. 267–271.
2. Базюк Т. Ю., Ломтадзе В. В. Оптимизация распределения пассажирского транспорта по маршрутам // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. — 2011. — № 2. — С. 96–99.
3. Васильев В. И., Борщенко Я. А., Димова И. П. Оптимизация пассажирских транспортных средств на городских маршрутах // *Транспорт Урала*. — 2012. — № 2. — С. 94–97.
4. Горбачев П. Ф., Любый Е. В. Закономерности распределения трудовых корреспонденций пассажиров в малых городах // *Автомобильный транспорт*. — 2008. — № 22. — С. 68–72.
5. Гудков В. А., Тарантул А. Б. О целесообразности проведения комплексного обследования пассажиропотоков в г. Волгограде // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. — 2012. — № 5. — Том 2. — С. 58–62.
6. Ерихов М. М., Знаменский Д. Н. Модели маршрутных пассажиропотоков // *Мир транспорта*. — 2010. — № 4. — С. 82–87.
7. Караева М. Р., Напхоненко Н. В. Оптимизация системы пассажирских перевозок с учетом динамично меняющихся пассажиропотоков // *Вестник Южно-Российского государственного технического университета. Серия «Социально-экономические науки»*. — 2013. — № 4. — С. 109–112.
8. Кит М. Р., Плесовских С. В. Организация системы для подсчета пассажиропотока // *Ученые заметки ТОГУ*. — 2013. — № 4. — Том 4. — С. 1271–1277.
9. Сайт «Яргортранс». <http://www.yargortrans.ru>.
10. Сизый С. В., Вихарев С. В., Бруснянин Д. А., Низовцева И. Г. Методика формирования оптимальной региональной маршрутной сети регулярного пассажирского транспорта // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. — 2013. — № 3. — С. 73–79.
11. Сорокин А. А. К методике анализа результатов обследования пассажиропотоков // *Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета*. — 2011. — № 1. — С. 267–272.
12. Федоров С. В. Развитие методов определения пассажиропотоков в городах // *Наука и техника в дорожной отрасли*. — 2010. — № 4. — С. 15–18.
13. Сайт «Всероссийская перепись населения 2002 года». <http://www.perepis2002.ru>.
14. Якунина Н. В. Совершенствование методологии определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта // *Вестник Оренбургского государственного университета*. — 2011. — № 10. — С. 13–19.
15. Keith, Robert J. The Marketing Revolution. *Journal of Marketing*. 1960. Vol. 24, Iss. 3, pp. 35–38.
16. Levitt, T. Marketing Myopia. *Harvard Business Review*. 2004, July–August, pp. 138–149.
17. Menon, Ajay, Menon, Anil. *Enviropreneurial Marketing Strategy: The Emergence of Corporate Environmentalism as Marketing Strategy*. *Journal of Marketing*. 1997, Vol. 61, Iss. 1, pp. 51–67.



MARKETING APPROACH TO THE STUDY OF URBAN PASSENGER FLOWS

Salnikov, Alexander M. – Ph.D. (Economics), associate professor at the department of Marketing and commerce at Yaroslavl branch of Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, Yaroslavl, Russia.

ABSTRACT

The article is devoted to the organization of passenger flows of public transport in Yaroslavl. A new method for the study is proposed, based on the marketing concept. The field portion of the program was accomplished in May 2012. The results of the study on the transport situation allowed offering correction methods that optimize the route network of the city.

Despite localization of problems under review, which was determined by the necessity to apply and verify the methods in real situation, the approaches and techniques suggested by the researcher can be generalized and used for other locations.

ENGLISH SUMMARY

Background. Many cities face a very real problem how to optimize a route network of public transport. And that problem evidently should be solved not in a distant future but right now.

The first task, associated with it, is the study of the demand for intercity passenger transportation by all modes of public transport.

Analyzing works of 2004–2013 years, it can be concluded that the study of the demand is made incorrectly. The approach that we will call «traditional» [e.g., 2, 3, 6, 7, 10, 14] is as follows. In each unit of rolling stock or in a vehicle a record-keeper is placed, fixing the number of passengers getting on and getting off at each stop. In a number of cases [5, 8, 11] it is proposed to place a record-keeper at the stop and fix the number of passengers, who get off from each tram, trolleybus or bus and the number of passengers who get on.

This method is quite common, but has some significant drawbacks.

Firstly, it is a very labor-intensive. For example, in Yaroslavl there are 950 units of public transport working about 18 hours a day at city routes. It will make about 34200 person-hours per day (there should be at least two record-keepers in each vehicle).

Secondly, the traditional approach does not account for transfers of the same passenger to the transport of another route (although there are works, which propose to track transfers – for example, [1]). This in turn leads to the fact that the data collected can be applied either to resolve the problem of the graphs of motion, or to select a model of a vehicle according to the conditions of the route. It is impossible to change the same route itself or to create a new one – for this information is missing.

In general, this approach is consistent with production or product business concept [15, 17]. According to Levitt [16], it will sooner or later lead to a sharp outflow of customers and, as a consequence, to bankruptcy. This is, in fact, already happening in many cities, including Yaroslavl: municipal carriers are unprofitable and exist only because of subsidies.

Objective. The objective of the author is to investigate problems related to the organization of passenger flows of public transport in Yaroslavl and to propose a new method for the study, based on the marketing concept.

Methods. The author uses analytical method, comparison, modeling, mathematical calculations.

Results.

Marketing management

It is clear that in modern conditions the organization of public transport must comply with the marketing concept of business operations [15, 17]. The concept of marketing management suggests that the company is appealed to produce and to sell a product that fully meets any needs of population. With regard to the urban public transport such a need can be described by a number of parameters:

- Point (stop) of departure;
- Point (stop) of destination;
- Departure time.

The fare of one travel in the city public transport is determined by authorities and carriers cannot set it independently. A type of a vehicle (tram, trolleybus, bus) and a model are of secondary importance for a passenger, as well as a route of movement – the main thing that passengers are transported from point of departure to a point of destination with minimal time expenditures and fewer transfers.

In accordance with the marketing concept of business a proposal of a company should fully meet the demand, and hence baseline information should be obtained from passengers. Similar ideas were expressed earlier [4, 12], but they have not been brought to a logical end.

The procedure of obtaining baseline information is as follows. At each stop during morning rush hours n_i people are interviewed on a questionnaire:

- 1) To what stop will you go now?
- 2) What is your gender?
- 3) What is your age?

If the survey is conducted during evening peak hours, the first question is transformed: «From what stops did you arrive here?». In addition, at the same stop the total number of people is recorded who come to it to use public transport.

Processing of results is reduced to the construction of the table of stops correspondence within city limits (sample – Table 1).

The value $p_{i,j}$ is the number of passengers going from the stops' number i to a stop with a number j and is calculated as follows:

$$p_{i,j} = \frac{o_{i,j}}{n_i} \times h_i, \quad (1)$$

where $p_{i,j}$ is a number of passengers, going from a stop number i to a stop number j ;

$o_{i,j}$ is a number of respondents at the stop number i , replied that they were going to a stop number j ;

n_i is a number of respondents surveyed at a stop number i ;

h_i is the total number of passengers coming to the stop number i .

Precision of studies can be improved by dividing the day into intervals (for example, of one hour) and performing measurements of $o_{i,j}$ and h_i in each interval. In turn, h_i can be measured simplistically: to determine a number of passengers who came to a stop within five minutes, and then with the assumption of constancy of flow, to multiply the resulting figure by twelve. Such an option will significantly reduce the resources required to conduct the study.

Table 1

Movement of passengers between stops

		Number of destination stop, j			
		1	2	...	m
Number of departure stop, i	1				
	2				
	...			p_{ij}	
	m				

Testing of conceptual schemes

The proposed method was tested in May 2012.

In the city sixteen isolated districts were taken, in each of them two to four stops were selected for the survey. There were 40 stops. The total number of surveyed passengers aged 15 years and older was 400; sampling error was ± 5 points at a confidence level of 95,4% (the population of Yaroslavl in this age is 528482 people [13]).

The number of passengers departing from each of forty stops was recorded three times: at intervals from 7⁰⁰ to 8⁰⁰, from 8⁰⁰ to 9⁰⁰, from 9⁰⁰ to 10⁰⁰ during ten minutes throughout each time interval. Thus, the study covered peak hours – typically the most problematic periods in most cities, because it is required to transport a large number of people for a considerable distance over limited time period.

It was assumed that the number of passengers and the typical direction of their departure from all stops in one district were the same. Then the total number of passengers departing from a district k to a district l, is equal to:

$$p_{k,l} = \frac{o_{k,l}}{n_k} \times h_k \times \frac{t_k}{s_k}, \tag{2}$$

where $p_{k,l}$ is a number of passengers, going from a district number k to a district number l;

$o_{k,l}$ is a number of respondents at stops of the district number k, replied that they were going to travel to a stop in a district number l;

n_k is a number of respondents surveyed at stops of a district number k;

h_k is a total number of passengers who came to stops in the district number k, at which the study was conducted;

s_k is a number of stops in the district k, at which the study was conducted;

t_k is a total number of stops in the district k.

In addition, a new question was added to the questionnaire: «What routes of public transport do you use to go to work?». The answers helped to assess whether the existing routes coped with the carriage of passengers or passengers were forced to make transfers, use alternative routes, and so on.

On the basis of the data table 2 was constructed related to a passenger turnover between different districts of the city and an analysis of the situation with public transportation was made.

The total number of users of public transport services in peak hours is 95002 people, representing 18% of the population of Yaroslavl aged 15 and older. The sample included only 8,8% of people aged 50 years and older and 4% – in age from 15 to 20 years. That is, we can assume that pensioners, schoolchildren and students prefer to use public transport outside peak hours. It turns out that in rush hours trams, buses, and trolleybuses carry 33% of the economically active population. (During evening rush hours traffic volume will be, of course, the same.)

Analyzing the table, we can see that 17,1% of peak passenger (16281 people) work in the same district, where they live – they need short «intra-district» routes. However, there are no pure «intra-district» routes – passengers often have to use minibuses. This is especially true for such areas as Norkoe (bus of the route N6 or a minibus № 96: 3772 peak passengers), Perekop (minibuses № 85 and № 87, 2550 passengers) and area of prospect Mashinostroiteley (minibuses № 36, № 83, № 85, 2295 peak passengers).

Problem directions

Passenger transport in Yaroslavl comprises primarily small capacity buses (type PAZ-3205 and PAZ-3204), as well as minibuses «Gazelle», used fixed-run taxi (a minibus that has a fixed route but can stop not only at recognized and equipped stops of public transport but at every allowed place at the demand of passengers - ed.note).. Municipal transport is mainly represented by large capacity buses type LiAZ 5256 and LiAZ 5292, trolleybus type ZIU-9.

Obviously, the situation in which a significant portion of passengers is transported with socially dangerous minibuses is unacceptable in a modern city: minibuses should be replaced with large capacity transport with established sites of embarkation / disembarkation of passengers. Areas used by more than 300 persons were underlined in an initial copy of a table of passenger turnover – in this case a possibility was implied to create a route serviced by large capacity buses, able to make at least three trips during morning rush hours at 100% load (and therefore three trips in evening rush hours).

Within direction Nefteystroy – Suzdalka 904 people are carried in peak hours. The only mode of transportation here is the minibus № 47, which is served by minibuses «Gazelle» and their analogues. Obviously, for transportation of such a large number of passengers «Gazelle» has to make 25 trips in an hour. The actual number is much less – no more than six trips that, firstly, leads to overloading of vehicles (transportation of standing passengers); secondly, many passengers are forced to go «detour» with a transfer at the stop «Vyemka» (distance increases by three to four times). The solution to this problem is creation of «shortcut» routes linking these two districts, using large capacity buses.

Furthermore, we can distinguish also three directions: Kresty – Suzdalka (1000 peak passengers), Suzdalka – Nefteystroy (406), Suzdalka – Kresty (467), which have the same problems.

Another problem direction is Nefteystroy – prospect Lenina (631 passengers). Existing routes in general satisfy the demand (bus № 2, minibuses № 97 and № 98), but they all pass through prospect Moscovky in the area of the biggest traffic jams, as well as through the historic center of the city, too congested. The solution may be made by a launch of the route to detour traffic jams through South-Western



Table 2

Passenger turnover between different districts of Yaroslavl

		ARRIVAL DISTRICT («WORK»)																TOTAL
		Neftestroy	Kresty	Suzdalka	Lipovaya gora	Spedniy and Nizhniy settlements	prospect Mashinostroiteley	prospect Aviatorov	Rezintekhnika	Norskoe	Bragino	prospect Dzerzhinskogo	Perekop	city center	prospect Lenina	Pyaterka	Yaroslavl-Glavny	
DEPARTURE DISTRICT («HOME»)	Neftestroy	85	273	904						255	85			1177	631		170	3580
	Kresty			1000						436			500	872	4372			7180
	Suzdalka	406	467	1623	561		47	622			885			1110	1028	466		7215
	Lipovaya gora	176		178	890			88		88	90	180		1602	88	90	90	3560
	Spedniy and Nizhniy settlements					324	306	45			108			90	504	153		1530
	prospect Mashinostroiteley	1122		1122		561	2295							1683	2244	561	561	10149
	prospect Aviatorov	259					328	82		518				259	259			1705
	Rezintekhnika							400	1422					1284	921			4027
	Norskoe			220					217	3772	217			418	1050	198	198	6290
	Bragino	741	741	741		1482				741	1482				1482			7410
	prospect Dzerzhinskogo	1481	2962	3027							166	664	1481	773	1546			12100
	Perekop		840	420								420	2550	840			1320	6390
	city center	221	168	266	46	54	62	168				108	222	704	582	357	382	3340
	prospect Lenina	43		58			210	159		90	180	38		136	310	58	415	1697
	Pyaterka		1822	4396				2574			1605		1287	2892	2357		1287	18220
	Yaroslavl-Glavny	54	29			29	29			27	56			58	249		78	609
TOTAL		4588	7302	13955	1497	2450	3277	4138	1639	5927	4874	1410	6040	13898	17623	1883	4501	95002

ring road and Perekop. The same route will help to deliver residents in directions «Kresty – prospect Lenina» (4372 passengers), «Suzdalka – prospect Lenina» (1028 passengers).

Serious problems are observed in the vicinity of Lipovaya gora. The most massive departure direction from here is to the city center (1602 people). Most of passengers are transported by minibuses, which are overcrowded in rush hours. The primary measures include increasing the number of buses on routes № 4 and № 41, as a promising task is to move a part of the route № 41 from prospect Frunze (near the «new» Sokol) and prospect Moscovsky to Tormoznoe highway.

District of prospect Mashinostroiteley in Soviet times was characterized by low transport accessibility. This reputation is maintained: there are two directions – to Neftestroy and Suzdalka – with heavy load (2244 passengers), which are served by minibuses – buses type PAZ-3205 and PAZ-3204, and their routes go through «traffic jams dangerous» places. A new route with buses of increased capacity through prospect Lenina, Perekop and Southwest ring road can ease the situation.

Daily 9693 people go from Bragino and prospect Dzerzhinskogo to Neftestroy, Suzdalka and Kresty – more than 10% of the total number of «peaks» passengers. Basically, they are transported by minibuses, that leads to high load of vehicles, and traffic jams at

prospect Oktyabrya, in the city center, at prospect Moskovsky. The problem might be solved in two ways. The first is to organize a bus route through Southwest ring road with buses of large capacity (such as LiAZ-6212 or LiAZ-6213), the second is a combination of two trolleybus routes № 8 and № 9 in one, followed mandatory use of high capacity trolleybuses type ZiU-683.

Tram lines, mostly closed in 2004–2009, served as the transport basis for two districts – Perekop and Pyaterka. It turned out, that daily 1287 people want to get from Pyaterka to Perekop, direct routes (or at least with a convenient transfer) do not exist now. A temporary solution is transportation of passengers by bus route serving prospect Dzerzhinskogo – Perekop, a cardinal, but unlikely solution is restoration of tram traffic on Perekop.

Elimination of tram traffic at Perekop negatively affected the direction Perekop–city center (840 passengers). At the time of the survey, passengers used the bus route № 19-K. The problem of the route lies in the fact that part of it goes through a very busy prospect Moscovsky. In addition to come and to leave this prospect a bus must pass several narrow one-way streets, increasing the length of the route by two to three kilometers, and undergoing risks of accidents. The solution may be a launch of the same route through Tolbukhinsky Bridge and Bolshaya Oktyabrskaya Street.

Pyaterka district is «rich» with unsolved transport problems. 6218 people go daily to Suzdalka and Kresty. There is no direct route linking Pyaterka and Kresty; there is a fixed-run taxi № 94 served by minibuses «Gazelle», going through the city center and prospect Moscovsky to Suzdalka (4396 peak passengers). The situation can change with the launch of large capacity buses going by the street Uglichskaya, Perekop and Southwest ring road.

Another direction requiring reform is Pyaterka – Bragino (1605 people). Existing minibuses № 61 and № 78 do not meet the established needs. The solution is to increase the number of cars on the tram route № 5 while decreasing intervals of awaiting next tram (now – about 30 minutes [9]).

These examples, of course, do not exhaust the problems identified by the study; they only illustrate the essence of the method and its effectiveness. As for the overall assessment of the urban public transport network, it has a lot of areas that are well served by the existing routes, and there is no need to conduct any reforms related to them.

Keywords: public transport, passenger management, flight network, optimization, marketing approach.

REFERENCES

1. Balamirzoev, A.G., Alieva, H.R., Balamirzoeva E. R. Making decisions on the choice of the route of movement by passenger flows [Prinyatie resheniy passazhiropotokom po vyboru marshruta peredvizheniya]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, Iss.4, pp. 267–271.
2. Bazyuk, T. Yu., Lomtadze, V. V. Optimizing the distribution of passenger transport on routes [Optimizatsiya raspredeleniya passazhirskogo transporta po marshrutam]. *Herald of Irkutsk State Technical University*, 2011, Iss.2, pp. 96–99.
3. Vasiliev, V.I., Borschenko, Ya.A., Dimova, I. P. Optimization of passenger vehicles on city routes [Optimizatsiya passazhirskih transportnykh sredstv na gorodskikh marshrutah]. *Transport Urala*, 2012, Iss.2, pp. 94–97.
4. Gorbachev, P.F., Lyubiy, E. V. Regularities of distribution of labor correspondences of passengers in small towns [Zakonomernosti raspredeleniya trudovykh korrespondentsiy passazhirov v malyykh gorodakh]. *Avtomobil'nyy transport*, 2008, Iss.22, pp. 68–72.
5. Gudkov, V.A., Tarantul, A. B. The feasibility of a comprehensive survey of passenger flows in Volgograd [O tselesoobraznosti provedeniya kompleksnogo obsledovaniya passazhiropotokov v g. Volgograde]. *Proceedings of Volgograd State Technical University*, 2012, Iss.5, Vol. 2, pp. 58–62.
6. Erihov M. M., Znamensky D. N. Models of Route Passenger Traffic. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2010, Iss. 4., Vol.32, pp. 82–87.
7. Karaeva, M.R., Naphonenko, N. V. Optimization of passenger transportation system with account for dynamically changing passenger flows [Optimizatsiya sistemy passazhirskih perevozok s uchetom dinamichno menyayushchisya passazhiropotokov]. *Bulletin of South-Russian State Technical University. Series «Socio-economic sciences»*, 2013, Iss.4, pp. 109–112.
8. Kit, M.R., Plesovskih, S. V. The organization of the system for calculating passenger flows [Organizatsiya

Conclusion. A method of conducting of studies of passenger flows was suggested. It was tested and its advantages were confirmed: labor costs for field part with comparable accuracy amounted to only about 60 man-hours (the traditional method would require a minimum of 11400 man-hours), based on the results of surveys and analysis nearly three dozen proposals were put forward to reform route networks, more than half of which could not be prepared in a conventional manner.

The new method is well suited for making strategic decisions in the transport medium: it allows us to estimate the number of people moving from district to district or from one stop to another, and to build on the basis of these data, a network of routes, to determine the most suitable vehicle type for each route. The old way of study only helps clarify and make more optimal schedule of rolling stock on a particular route.

Unused methodological resources, awaiting their application, are: surveys in off- peak hours, and on weekends for scheduling and determination of routes, that should operate exclusively on weekends or only on weekdays.

sistemy dlya podscheta passazhiropotoka]. *Uchenye zametki TOGU*, 2013, Iss. 4, Vol. 4, pp. 1271–1277.

9. Website of «Yargotrans». <http://www.yargotrans.ru>.
10. Sizyj, S.V., Viharev, S.V., Brusyanin, D.A., Nizovtseva, I. G. Methods of designing an optimal regional route network of regular passenger transport [Metodika formirovaniya optimal'noy regional'noy marshrutnoy seti regul'yarnogo passazhirskogo transporta]. *Proceedings of St. Petersburg University of Railways*, 2013, Iss. 3, pp. 73–79.
11. Sorokin, A. A. On the method of analysis of results of passenger flows survey [K metodike analiza rezul'tatov obsledovaniya passazhiropotokov]. *Bulletin of North Caucasus State Technical University*. 2011, Iss. 1, pp. 267–272.
12. Fedorov, S. V. Development of methods for the determination of passenger traffic in the city [Razvitiye metodov opredeleniya passazhiropotokov v gorodakh]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*, 2010, Iss. 4, pp. 15–18.
13. Website «National Census 2002» [«Vserossiyskaya perepis' naseleniya 2002 goda»]. <http://www.perepis2002.ru>.
14. Yakunina, N. V. Improvement of the methodology for determining the structure of the rolling stock of urban road passenger transport [Sovershenstvovanie metodologii opredeleniya struktury podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo avtomobil'nogo transporta]. *Bulletin of Orenburg State University*, 2011, Iss. 10, pp. 13–19.
15. Keith, Robert J. The Marketing Revolution. *Journal of Marketing*, 1960. Vol. 24, Iss. 3, pp. 35–38.
16. Levitt, T. Marketing Myopia. *Harvard Business Review*, 2004, July–August, pp. 138–149.
17. Menon, Ajay, Menon, Anil. Enviropreneurial Marketing Strategy: The Emergence of Corporate Environmentalism as Marketing Strategy. *Journal of Marketing*, 1997, Vol. 61, Iss. 1, pp. 51–67.

Координаты автора (contact information): Сальников А. М. (Salnikov, A.M.) – alexander@salnicoff.com.

Статья поступила в редакцию / article received 23.06.2014
Принята к публикации / article accepted 02.10.2014





НОВОСТИ ПАРТНЕРОВ

Бюллетень ОСЖД: сдвоенный номер



ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

Очередной выпуск информационного журнала Организации сотрудничества железных дорог (2014, № 4–5) открывается сообщением об итогах прошедшей 3–6 июня с. г. в литовской столице Вильнюсе XLII сессии Совещания министров ОСЖД.

Повестка сессии была обширной — семнадцать вопросов, каждый из которых (независимо от своего характера, продолжительности обсуждения или принципиальности принимаемых решений) отражает тот или иной аспект международного сотрудничества более чем двадцати стран и многих десятков транспортных организаций разного профиля, большого числа производственных формирований, принадлежащих сети железных дорог.

Содержательную основу номера составляют статьи специалистов

из Ирана (Х. Ашоори. Ближний Восток как стратегический мост для коридоров Восток–Запад и Север–Юг), России (из трех публикуемых статей выделим тему развития контрейлерных перевозок), Польши (М. Столярски, Й. Жилковска. Аварии на железнодорожном транспорте с участием животных: причины, последствия, профилактика).

В разделе «О работе ОСЖД» отметим материалы о совершенствовании транзитных тарифов на грузовые перевозки, а также о кодировании и информатике. Насыщен информацией раздел «Новости железных дорог». Что касается заключительного раздела «Международные конференции и выставки», то здесь приоритет за первым форумом транспортных вузов Китая и России, который прошел в Санкт-Петербурге. ●



OUR PARTNERS' NEWS

OSJD Bulletin: Two Numbers in One



ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

Successive issue of information magazine of Organization of cooperation of railways (OSJD), which is 2014 № 4–5, is opened by the release of the results of XLII session of Conference of ministers of OSJD, held on June, 3–6 in Vilnius.

The agenda of the session included 17 points concerning different aspects of international cooperation of more than 20 countries and several tens of organizations.

The main contents comprises articles of the experts from Iran (Ashoori, H. Middle East as a strategic bridge for corridors East-West and North-South), Russia (three articles: Development of contrail transportation within the 1520 space as a main guideline for

reducing logistics costs by Pisarevsky, G., Lomakina, N.; Rail safety maintenance at the section Sochi-Adler-Imeretinsky resort-Alpika-Service-Airport by Korovin, A., Rozenberg, E., Siemushkin, V., Shuhina, A.; Aluminothermic welding by Karabanov, V.), and Poland (Railway accidents with participation of animals: causes, consequences, prevention by Stolarsky, M., Zilkovska, Y.).

The chapter on the activities of OSJD contains materials on further improvement of freightage tariffs, codification and informatics. The priority in the chapter on International conferences and expositions is given to first forum of transport higher schools of Russia and China that has been held in Saint Petersburg.



ЗАЩИТА С ВОЗДУХА 154

*Незалповый метод для
вертолёта.*



ТОННЕЛИ 160

*Опускные секции
пригодятся и для морского
строительства.*

МОНИТОРИНГ 174

*Уровень загрязнения почвы.
Опасность преувеличена?*

ВСМ 182

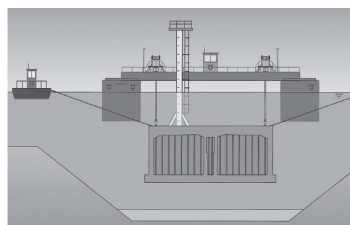
*Мост, путь, земляное
полотно.*

PROTECTION FROM THE AIR 154

*A no-volley method for a
helicopter.*

TUNNELS 160

*Immersed sections can be
useful for construction of sea
tunnels.*



MONITORING 174

*Soil contamination level. The
danger is exaggerated, isn't it?*

HIGH SPEED 182

Bridge, track, subgrade.

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ • ENGINEERING ECOLOGY





Пожаротушение с вертолѐта в городах



Владимир ВЕСТЯК

Vladimir A. VESTYAK

В статье рассматриваются проблемы тушения пожаров с помощью авиационной техники, наиболее экологически пригодной и эффективной в разных условиях. Предлагается при этом видоизменить вертолетную систему пожаротушения в городах, приспособив ее для работы «незалповым» методом и быстрого набора воды из ближайшего от очага горения водоема.

Ключевые слова: авиация, средства пожаротушения, вертолет, подвесное устройство, пожарогасящий состав, шиббер, вододисперсная смесь, вакуумный насос, город, экология окружающей среды.

Вестяк Владимир Анатольевич — кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой Московского авиационного института (национальный исследовательский университет), Москва, Россия.

Серьезная обстановка складывается сегодня при тушении пожаров в крупных городах. Скопление автомобилей в пробках, стихийные парковки их во дворах существенно затрудняют проезд пожарных команд к месту события. Чаще всего они приезжают тогда, когда пожар сделал свое дело и осталось только залить головешки. И здесь как минимум нарушается в дополнение ко всему и правило оказания медицинской помощи, предусмотренное регламентами МЧС и называемое «золотой час».

Кроме того, в связи с растущей день ото дня высотой строящихся зданий все актуальнее становится и вопрос защиты небоскребов от пожара. На выручку жителям крупных городов тут очень кстати приходят винтокрылые машины. Вертолет по ряду причин стал в этом случае единственным подходящим для установки систем пожаротушения видом транспорта. Причем одна из причин — скорость прибытия к точке возгорания, ущерб от которого по времени обычно увеличивается в геометрической прогрессии.

Каковы преимущества тушения пожаров с вертолета? Ему не требуется взлетно-посадочная полоса. Он способен передвигаться в горизонтальном и вертикальном направлениях, а также зависать в воздухе, поэтому

машине доступны очаги, куда наземная либо другая авиатехника прибыть не могут. Несомненный плюс пожарного вертолета в чрезвычайной ситуации также заключается в гибкости применения, готовности единовременно сбросить несколько тонн огнетушащего вещества как в одну точку, так и на немалой заданной площади. А некоторые модели имеют функцию горизонтального пожаротушения.

По статистике в мире порядка 40% воздушного парка приходится именно на вертолеты. Однако, несмотря на многофункциональность и широкие возможности судна, пока не многие спасательные организации готовы купить вертолет для тушения огня. К тому же универсальной машины такого типа на данный момент попросту не существует.

После пожара на Останкинской башне в Москве особенно актуальной стала задача тушения пожара направленной струей на большой высоте. Интересной с этой точки зрения представляется установка, предложенная учеными МАИ, она размещается на вертолетах КА-32а, МИ-26 и позволяет направленной горизонтальной струей осуществлять тушение источника возгорания. Причем хорошая дальность действия дает возможность использовать ее на объектах, близкий доступ к которым ограничен из-за высокой температуры или по другим причинам (например, это касается автозаправочных станций или подобных же по степени опасности помещений с электрооборудованием, находящихся под напряжением) [4].

При лесных пожарах основная нагрузка падает на специализированные тяжелые самолеты ИЛ-76 и Бе-200, в городах наибольшее применение получил вертолет Ми-8 с подвесным устройством для забора и сброса воды или вододисперсной смеси.

В вертолетах используется грузовая подвеска сливного бака с залповой системой сброса воды с минимальной высоты, когда еще не нарушается работоспособность двигателей (помпажный режим из-за недостатка кислорода). Производство такого типа систем организовано в НИИ АУС (г. Севастополь) для вертолетов Ми-8 и Ка-32 с водяной емкостью от 1300 до 2500 литров и тяжелого вертолета Ми-26 с емкостью 15000 литров.



Рис. 1. Мягкая цилиндрическая емкость с большим жестким кольцом для забора воды.



Рис. 2. Использование пеногасящих составов в комбинации с вододисперсными пушками.

Главным элементом в такой системе пожаротушения является мягкая цилиндрическая емкость с большим верхним жестким кольцом для забора воды и нижним малым кольцом с устройством для сброса воды.

Общий вид системы со стороны большого кольца показан на рис. 1.

Для тушения горящих углеводородов используют пеногасящие составы совместно с вододисперсными пушками (см. рис. 2).

Предлагаемое учеными МАИ устройство пожаротушения основано на применении жесткой емкости с соплами для выхода воды и регулируемым шибером ее расхода, а также вакуумного насоса для ускорения процесса забора новой порции воды [1].

Принципиальная схема конструкции изображена на чертеже (рис. 3). Устройство состоит из силового троса 6, цилиндрического стакана 8, шиберов 10 с сальником 9. В нижней части стакана расположены сопла 11 для выхода воды и эластичная прокладка 12. Стакан с водой 15 связан с вертолетом при помощи шланга 3, соединенного с воздушным компрессором 13 через клапан 14 и вакуумным насосом 1 — через клапан 2, а также при помощи троса 7 — с управляющей лебедкой 4. Силовая лебедка 5 крепится тросом 6 к стакану 8.

Устройство работает следующим образом.

Вертолет с заполненным водой стаканом 8, подвешенным на силовом тросе 6, посылают к очагу пожара. Над очагом с помощью управляющего троса 7 поднимают шибер 10, открывая сопла 11 для выхода воды. Одновременно открывают клапан 14 и включают воздушный компрессор 13, вытесняя через шланг 3 воду из стакана под давлением 2—3 атм. После вытеснения воды из стакана компрессор 13 выключают и клапан 14 закрывают.



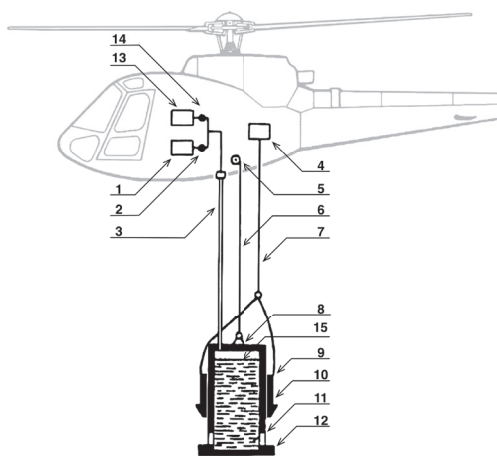


Рис. 3. Принципиальная схема устройства пожаротушения.

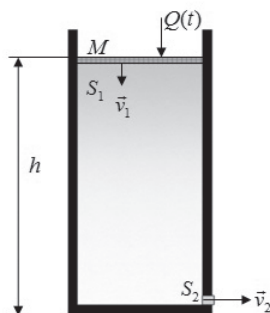


Рис. 4. Цилиндрическая оболочка, наполняемая жидкостью до высоты h .

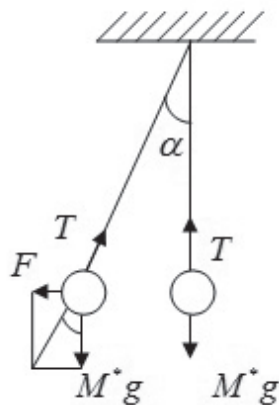


Рис. 5. Угол отклонения бака от положения равновесия под действием силы F .

Вертолет уходит к близлежащему водоему для забора новой порции воды. Стакан 8 погружают в воду при поднятом шибере 10, одновременно открывают клапан 2 и включают вакуумный насос 1 для ускорения наполнения стакана. После забора воды

шибер 10 опускают, обесточивают клапан 2 и насос 1. Вертолет возвращается к очагу пожара.

В предлагаемой установке предусмотрены не только способ подачи воды к источнику возгорания, но и устройство для быстрого забора воды из водоёма. Причем большего объема, чем в аналогичных установках.

Рассмотрим задачу, приближённо моделирующую предлагаемую модель подвеса устройства. Цилиндрическая оболочка, площадь поперечного сечения которой равна S_1 , наполнена жидкостью до высоты h (рис.4). В боковой стенке сосуда имеется отверстие площадью S_2 , откуда под напором выходит жидкость. Оболочка сверху накрыта поршнем массы M , на который действует дополнительная сила $Q(t)$ для увеличения напора выходящей жидкости.

Согласно уравнению Бернулли, суммарное давление на сечении S_1 на высоте h и суммарное давление на сечении S_2 равны:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2. \quad (1)$$

Из уравнения неразрывности легко получить $v_1 = \frac{S_2}{S_1} \cdot v_2$.

Статическое давление p_2 для открытого отверстия равно атмосферному p_0 : $p_2 = p_0$. Статическое давление p_1 больше атмосферного за счет силы тяжести поршня Mg и добавочной силы, действующей на поршень $Q(t)$:

$$p_1 = p_0 + \frac{Mg + Q(t)}{S_1}.$$

Учитывая этот факт, уравнение Бернулли примет вид:

$$\left(1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right) \cdot \frac{\rho v_2^2}{2} = \rho gh + \frac{Mg + Q(t)}{S_1}.$$

Если $S_2 \ll S_1$, то $1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \approx 1$. Тогда

квадрат скорости v_2 истечения жидкости из отверстия определяется следующим выражением:

$$v_2^2 = 2gh + \frac{2(Mg + Q(t))}{\rho S_1}. \quad (2)$$

При указанном варианте крепления (нежесткая сцепка с вертолетом) и условии, что вертолет завис в воздухе, не требуется никаких дополнительных устройств, которые бы стабилизировали подвесное устройство пожаротушения для точности попадания в очаг возгорания.

Допустим, устройство шибера устройства таково, что имеется возможность выпускать струю вододисперсной смеси из бака целенаправленно через сопло, как показано на рис. 4. Если на бак со стороны вытекающей из сопла жидкости действует сила F , то с помощью рис. 5 легко найти угол отклонения бака от положения равновесия под действием этой силы:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{M^* g}, \quad (3)$$

где M^* — суммарная масса бака, поршня и жидкости.

Составим дифференциальное уравнение $dP = mv_2 = v_2 dt S_2 \rho v_2$, откуда

$$F = \frac{dP}{dt} = \rho S_2 v_2^2, \quad (4)$$

где P — суммарный импульс вытекающей из бака жидкости.

Подставляя в (4) из (2) квадрат скорости и используя (3), окончательно получаем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho S_2 \left(\frac{2(Mg + Q(t))}{\rho S_1} + 2gh \right)}{M^* g}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что при большой массе M^* конструкции с жидкостью величина тангенса угла отклонения подвеса от вертикали — мала, а значит, и угол отклонения мал, что позволяет сделать вывод о точности попадания вододисперсной смеси в область пожара в случае нежесткой сцепки предлагаемой конструкции с вертолетом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамович Б. А. и др. Патент Российской Федерации № 2197308, класс С2, опубликован в Бюллетене изобретений № 3 от 27.01.2003.
2. Бабуров В. П., Бабуринов В. В., Фомин В. И. Автоматические установки пожаротушения. Вчера. Сегодня. Завтра. — М.: Пожнаука, 2007. — 294 с.
3. НПБ 316—2003. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний. Утверждены приказом МЧС РФ № 332 от 30 июня 2003 г.
4. Карпышев А. В. Высокоэффективные установки пожаротушения тонкораспыленной водой на основе аэрокосмических технологий // Вестник МАИ. — Т. 12. — 2005. — № 2.

FIRE EXTINGUISHING FROM A HELICOPTER IN THE CITIES

Vestyak, Vladimir A. — Ph.D. (Physics and Mathematics), assistant professor, head of the department of Moscow aviation institute — national research university (MAI).

ABSTRACT

The author considers various ways of fire extinguishing by means of aviation equipment, the most environmentally suitable and efficient under different conditions. It is suggested to alter a helicopter fire extinguishing system in the cities and to adapt it for «not volley» operation and a fast intake of water from the reservoir, which is the closest to the seat of fire. The work is based on R&D work realized by MAI University and implemented into the practices, is substantiated by relevant mathematical apparatus.

ENGLISH SUMMARY

Background. A serious situation is developing today regarding extinguishing fires in large cities. Accumulation of vehicles in traffic jams, spontaneous parking in courtyards significantly impede passage of fire brigades to the scene. Most often, they come when the fire has done its job and it is time to extinguish firebrands. And here at least a right for delivery of health care is violated, provided in the regulation of Ministry of Emergency Situations and called «golden hour».

In addition, in connection with the growing day by day height of buildings under construction, an issue of protecting skyscrapers from fire is becoming ever

more urgent. Rotary-wing machines come here to the rescue of residents of large cities. A helicopter for several reasons in this case is a single suitable mode of transport for the installation of fire fighting systems. And one of the reasons is speed of arrival to the fire point, damage from which usually increases exponentially over time.

Objective. The objective of the author is to investigate advantages of helicopters in fire extinguishing and to present a fire extinguishing installation, developed by scientists of MAI.

Methods. The author uses engineering descriptive method, and mathematical modelling based on Bernoulli equation.

Results. What are the advantages of extinguishing fires from a helicopter? It does not need a runway. It is able to move in horizontal and vertical directions, as well as hover in the air, so the machine can approach fireplaces, to which ground or other aircraft equipment cannot come. A definite plus of a fire helicopter in an emergency is also flexibility of its use. It is able at the same time to lose a few tons of extinguishing agent on a single point, as well as cover a given area. Some models have a function of horizontal firefighting.

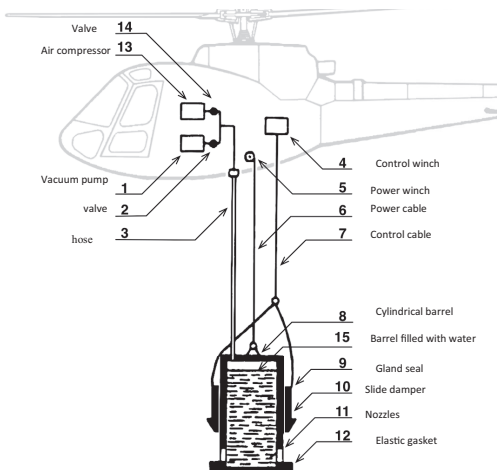




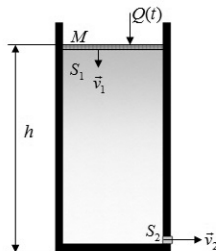
Pic. 1. Soft cylindrical tank with large rigid ring for water intake.



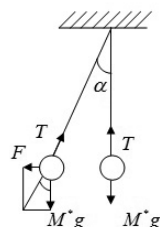
Pic. 2. Fire extinguishing with defoaming agents at oil storage with water dispersing guns.



Pic. 3. Schematic diagram of a device for fire extinguishing from a helicopter.



Pic. 4. Cylindrical shell filled with the water up to the height h.



Pic. 5. Angle of deviation of the tank from equilibrium position caused by force F.

According to statistics, about 40% of the world air fleet amounts to helicopters. However, despite the versatility and wide possibilities for this machine, not so many rescue organizations are willing to buy a helicopter to extinguish fire. Besides, a universal machine of this type does not exist.

After the fire at the Ostankino Tower in Moscow [2000 – ed.note] a task has become particularly urgent to extinguish fire with directed jet at a high altitude. From this point of view an installation developed by MAI scientists draws special interest. It is placed on helicopters KA-32a, MI-26 and allows extinguishing an ignition source with directed horizontal jet. Thus a good range enables to use it on objects, a close approach to which is limited due to high temperature or other reasons (for example, it concerns petrol stations or premises with similar degree of danger with electric equipment under voltage) [4].

As for forest fires a main burden falls on specialized heavy aircrafts IL-76 and Be-200, in the cities helicopter Mi-8 with a suspension device for intake and discharge of water or water disperse mixture was widely used.

Helicopters use cargo suspension of a drain tank with polley water disposal system from a minimum altitude, when performance of engines is not even disturbed (pump mode due to lack of oxygen). Production of this type of system is organized in the Research Institute of aeroelastic systems for helicopters Mi-8 and Ka-32 with a water capacity of 1300 to 2500 liters and heavy helicopter Mi-26 with a capacity of 15000 liters.

The main element in this system of fire extinguishing is a soft cylindrical tank with a large upper rigid ring for water intake and a lower ring for water discharge.

Overall view of the system from the perspective of a large ring is shown in Pic. 1.

To extinguish burning hydrocarbons defoaming compositions are used together with water dispersing guns (see. Pic. 2).

Scientists of MAI suggest a fire extinguisher, based on the use of a rigid container with nozzle orifices for water output and adjustable slide damper of its consumption, and a vacuum pump to accelerate the intake of a new portion of water [1].

Schematic diagram of the structure is shown in the drawing (Pic. 3). The device consists of a power cable 6, a cylindrical barrel 8, slide damper 10 with gland seal 9. In a lower part of the barrel there are nozzles 11 for water output and elastic gasket 12. A barrel with water 15 is connected to the helicopter by means of a hose 3, connected to an air compressor 13 via valve 14 and to a vacuum pump 1 through a valve 2, and also by means of a cable 7 with a control winch 4. Power winch 5 is attached to the barrel 8 with a cable 6.

The device operates as follows.

A helicopter with a water-filled barrel 8, hanging on the power cable 6 is sent to the fire seat. Above the fireplace with a control cable 7 a slide damper 10 is lifted, opening nozzles 11 for water discharge. At the same time valve 14 opens and an air compressor 13 is turned on, replacing through a hose 3 water from a barrel at a pressure of 2–3 atm. After the displacement of water from a barrel, compressor 13 is turned off and the valve 14 is closed.

Helicopter goes to a nearby water reservoir to take a new portion of water. Barrel 8 glass is immersed in water at lifted slide damper 10, simultaneously valve 2 is opened and the vacuum pump 1 is turned on to

accelerate filling of a barrel. After water intake slide damper 10 is lowered, valve 2 and pump 1 are de-energized. The helicopter returns to the fireplace.

Let consider the problem that approximately simulates the proposed model of a device suspension. A cylindrical shell whose area of cross-section is equal to S_1 , is filled with a liquid up to the height h (pic. 4).

Side wall of a vessel has an outlet of an area S_2 , where from a liquid is coming under a pressure. The shell is covered from above by a plunger of a mass M , and an extra force $Q(t)$ is applied to the plunger in order to increase exhaust fluid head.

According to Bernoulli equation the total pressure at the cross-section S_1 at the height h and the total pressure at the cross-section S_2 are equal to:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2, \quad (1)$$

From the continuity equation it is easy to get

$$v_1 = \frac{S_2}{S_1} \cdot v_2.$$

Static pressure p_2 for an open aperture is equal to atmospheric pressure p_0 : $p_2 = p_0$. Static pressure p_1 is larger than the atmospheric one because of a power of gravity of the plunger Mg and of the extra force applied to the plunger $Q(t)$:

$$p_1 = p_0 + \frac{Mg + Q(t)}{S_1}.$$

Taking that into consideration Bernoulli equation will be written as follows:

$$\left(1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right) \cdot \frac{\rho v_2^2}{2} = \rho gh + \frac{Mg + Q(t)}{S_1}.$$

If $S_2 \ll S_1$, then the expression $1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \approx 1$. Then

the square of the speed v_2 of liquid exhausting from the aperture will be defined through the next expression:

$$v_2^2 = 2gh + \frac{2(Mg + Q(t))}{\rho S_1}. \quad (2)$$

If we consider the proposed variant of suspension (not rigid coupling with helicopter) and under the condition that a helicopter is hovering, we don't need any additional devices to stabilize the suspended fire extinguishing device in order to achieve more accuracy of hitting the fireside.

Let us assume that the design of a slide damper (valve) allows to jet water dispersed mixture from the tank through the nozzle as shown in pic. 4. If a force F is applied to the tank by the liquid exhausting from the nozzle, then with the help of the pic. 5 it will be easy to find the angle of deviation of the tank from the equilibrium position, caused by that force:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{M^* g}, \quad (3)$$

where M^* is total mass of the tank, plunger and liquid.

Let us compare differential equation:

$$dP = mv_2 = v_2 dt S_2 \rho v_2, \text{ on its basis}$$

$$F = \frac{dP}{dt} = \rho S_2 v_2^2, \quad (4)$$

where P is a total impulse (momentum) of the liquid exhausting from the tank. By substituting speed square from (2) to (4) and using (3) we definitely get:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho S_2 \left(\frac{2(Mg + Q(t))}{\rho S_1} + 2gh \right)}{M^* g}. \quad (5)$$

From equation (5) we see that with a big mass M^* of a device filled with liquid the value of tangent of the angle of deviation of suspended device from vertical line is rather little and, subsequently, the deviation angle is little, so we can conclude that if coupling of proposed device with helicopter is not rigid, then we can attend accuracy of hitting of the fireside by water dispersed mixture.

Conclusion. Thus, the proposed installation includes not only a method of supplying water to the source of fire, but also a device for rapid intake of water from the water reservoir, with larger volume than similar installations.

Keywords: aviation, fire extinguishers, helicopter, hanger, fire-extinguishing agent, slide damper, water disperse mixture, vacuum pump, city, environmental ecology.

REFERENCES

1. Adamovich, B.A. et al. Patent of Russian Federation № 2197308, class C2, published in the Bulletin of Inventions № 3 on 27.01.2003 [Patent Rossiyskoy Federatsii № 2197308, klass S2, opublikovan v Byulletene izobreteniy № 3 ot 27.01.2003].
2. Baburov, V.P., Baburin, V.V., Fomin, V. I. Automatic fire extinguishing installations. Yesterday. Today. Tomorrow [Avtomaticheskie ustanovki pozharotusheniya. Vchera. Segodnya. Zavtra]. Moscow, Pozhnauka publ., 2007, 294 p.
3. NPB 316–2003. Portable and mobile fire extinguishing devices with high delivery speed of fire extinguishing agent. Fire safety requirements. Test

methods. Approved by Order of the RF Ministry of Emergency Situations № 332 of 30 June 2003 [Perenosnye i peredvizhnye ustroystva pozharotusheniya s vysokoskorostnoy podachej ognnetushaschego veschestva. Trebovaniya pozharной bezopasnosti. Metody ispytaniy. Utverzhdeny prikazom MChS RF № 332 ot 30 iyunya 2003 g.].

4. Karpyshev, A. V. Highly efficient fire extinguishing installations with water mist based on aerospace technology [Vysokoeffektivnye ustanovki pozharotusheniya tonkoraspylennoy vodoy na osnove aerokosmicheskikh tehnologii] Vestnik MAI, 2005, Vol.12, Iss.2.

Координаты автора (contact information): Вестяк В. А. (Vestyak, V.A.) – kaf311@mai.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 05.06.2014, rev.30.10.2014
Принята к публикации / article accepted 04.12.2014





Транспортные тоннели из опускаемых секций



Евгений КУРБАЦКИЙ
Evgeny N. KURBATSKIY

Ван Хунг НГУЕН
Van Hung NGUYEN



Курбацкий Евгений Николаевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Мосты и тоннели» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Нгуен Ван Хунг — аспирант кафедры «Мосты и тоннели» МИИТ, Хань Хоа, Вьетнам.

Представлены преимущества и недостатки тоннелей из опускаемых секций, используемых в транспортных переходах через протяжённые водные преграды (проливы, озёра, широкие реки). Оценивается вариант перехода пролива, который именно с применением опускаемых секций может оказаться наиболее экономичным, надёжным и приемлемым с точки зрения затрат, времени строительства и выбора рациональных технологий. Предлагается метод расчёта тоннелей с учетом сейсмических воздействий.

Ключевые слова: транспортный переход, водные преграды, тоннель, опускаемые секции, балки на упругом основании, преобразование Фурье, сейсмические воздействия, методы расчета.

Традиционно протяжённые транспортные переходы через проливы и широкие реки выполняются с использованием мостов. В некоторых случаях для пропуска высокотоннажных судов приходится располагать пролётные строения на высоких опорах. Это усложняет конструкцию и заставляет удлинять подходы к мостам.

Одним из возможных вариантов решения той же задачи является сооружение тоннеля щитовым способом. Однако и в этом случае существуют требования, из-за которых прибегают к удлинению перехода: тоннель должен располагаться ниже дна водоёма на 25–30 метров и более.

Тоннели из опускаемых секций имеют протяжённость сравнительно меньшую, они расположены на дне водоёмов с небольшим заглублением, а потому подходы к ним могут быть относительно короткими. Длина мостового перехода при пересечении водной преграды на равнинной местности существенно увеличивается (рис. 1 [1]).

Тоннель из опускаемых секций состоит из больших сборных железобетонных или сталебетонных секций. Секции тоннелей

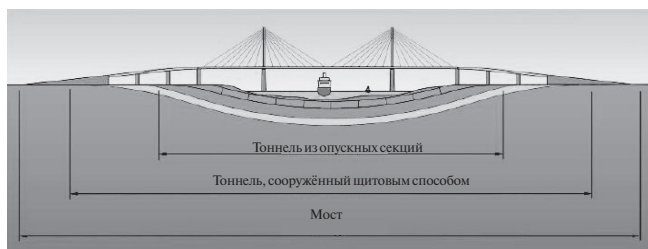


Рис. 1. Сравнение протяженности транспортных переходов через водную преграду.



Рис. 2. Тоннельные элементы в сухом доке.

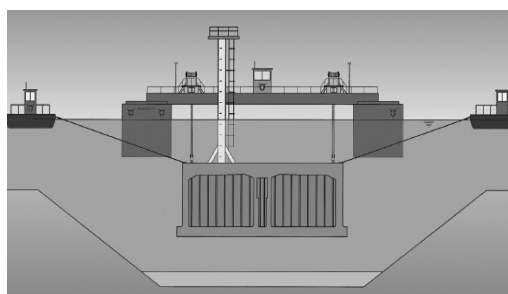


Рис. 3. Схема процесса погружения tunnelной секции в подготовленную траншею.

изготавливаются на стапелях судовой верфи, в сухих доках или во временных котлованах (рис. 2 [2]).

Торцы секции герметизируются временными переборками, после чего котлованы или сухие доки заполняются водой, секции всплывают и их буксируют к месту установки. Затем они погружаются в заранее подготовленную траншею на дне водоема и соединяются с ранее установленными секциями (рис. 3 [1]).

После установки секций тоннеля на дно траншея вокруг него засыпается, и поверхность дна водоема восстанавливается, при этом тоннель должен иметь защитный слой грунта не менее 1,5 м для защиты от тонущих судов и воздействия якорей.

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Сейчас в мире эксплуатируется более 100 тоннелей из опускаемых секций различного назначения с разными поперечными сечениями (рис. 4 [1]). Это автодорожные, железнодорожные тоннели, однопутные и двухпутные, а также для одновременного пропуска железнодорожных поездов и автотранспорта.

Действующие транспортные переходы с тоннелями из опускаемых секций свидетельствуют о преимуществе таких проектов по сравнению с другими типами переходов.

1. Детально разработаны все этапы строительства: сооружение секций, их

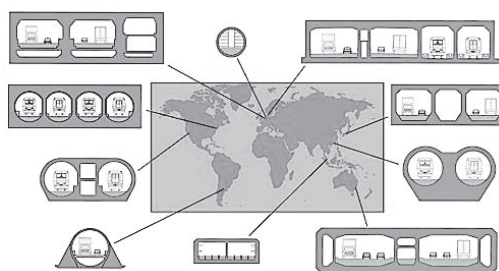


Рис. 4. Типы поперечных сечений тоннелей из опускаемых секций и места их постройки.

транспортировка к месту погружения, способы погружений.

2. Одновременное производство большого количества секций на берегу и совмещение по времени этапов строительства позволяют существенно ускорить процесс создания тоннеля.

3. Идущее в зоне осуществления проекта строительство не оказывает никакого влияния на местное судоходство.

4. Сечение тоннеля из железобетонных опускаемых секций не должно быть обязательно цилиндрическим (как это требуется при щитовой проходке), можно сооружать тоннели с различными формами поперечных сечений и практически при любых типах грунтов, включая и мягкие аллювиальные.

5. При эксплуатации транспортных переходов с такими тоннелями не ограничи-



Рис. 5. Возможные виды деформаций тоннелей при воздействии землетрясений [4].

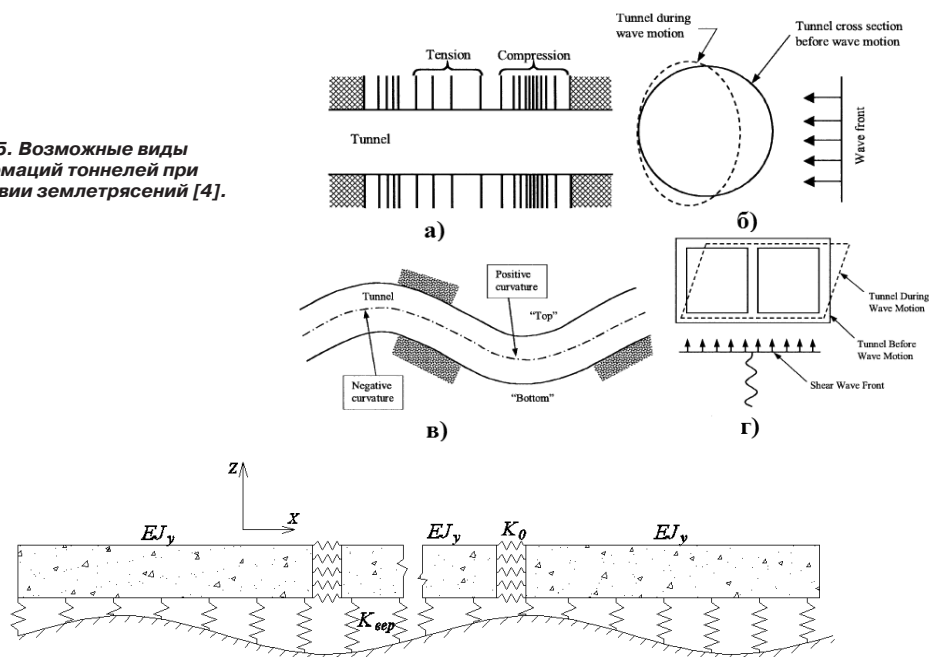


Рис. 6. Расчетная схема.

ваются ни высота, ни тоннаж судов, что освобождает от каких-либо дополнительных организационно-технических трудностей.

6. Тоннели из опускных секций можно сооружать в районах с повышенной сейсмической активностью в сейсмостойком исполнении.

7. Комбинированный транспортный переход с мостом и тоннелем из опускных секций экономически выигрывает у вариантов, где в комбинации с мостом фигурирует тоннель, построенный щитовым способом.

Следует отметить, что тоннели из опускных секций имеют при всем этом и недостатки, которые связаны преимущественно с воздействием на окружающую среду: они могут оказывать негативное влияние на места обитания рыб, изменять течения и уменьшать прозрачность воды.

Но самый главный недостаток на данный момент — отсутствие опыта строительства тоннелей такого типа в РФ, дефицит необходимой техники. Тем не менее пришло время ломать существующие барьеры: в стране большое количество водных (морских и речных) преград, которые нуждаются в технически надежных транспортных переходах, не нарушающих при этом налаженных путей судоходства.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В мягких поверхностных слоях, в которых, как правило, располагаются тоннели из опускных секций, интенсивность сейсмических волн возрастает, поэтому при проектировании конструкций для сейсмических районов следует предусматривать ресурс на сейсмостойкость. Его обеспечивают методы расчета, используемые в практике тоннелестроения [3,4].

При распространении сейсмических продольных и поперечных волн в массиве грунта, где расположен тоннель, могут возникнуть деформации различного вида. Они представлены на рис. 5. Деформации тоннеля на фоне продольных волн даны на рис. 5а и 5б; при возникновении поперечных волн — на рис. 5в (изгиб тоннеля) и 5г (деформация сдвига).

Обычно воздействие продольных волн на тоннели по сравнению с поперечными намного меньше.

НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВОЛНАХ ВДОЛЬ ОСИ

Тоннель предстает в виде отдельных балок на упругом основании, соединённых шарнирами с упругими связями, которые обеспечиваются резиновыми прокладками и кабелями для предварительного напря-

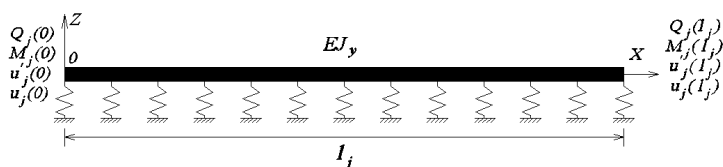


Рис. 7. Локальная система координат j -го элемента.

$$EJ_y (v^4 + 4\beta^4) \tilde{u}_j(v) = KU_0 \left(\frac{e^{-iv_0 L_j} (e^{i(v-v_0)L_j} - 1)}{2(v-v_0)} - \frac{e^{iv_0 L_j} (e^{i(v+v_0)L_j} - 1)}{2(v+v_0)} \right) + Q_j(0) - e^{ivl_j} Q_j(l_j) -$$

$$-ivM_j(0) + ive^{ivl_j} M_j(l_j) - v^2 u_j'(0) EJ_y + v^2 e^{ivl_j} u_j'(l_j) EJ_y + iv^3 u_j(0) EJ_y - iv^3 e^{ivl_j} u_j(l_j) EJ_y.$$

жения [5]. Расчетная схема показана на рис. 6.

Для решения задачи используются интегральное преобразование Фурье и обобщенные функции [6].

Разделим тоннель на n элементов, для каждого используем локальную систему координат (рис. 7).

Дифференциальное уравнение изгиба балки на упругом основании для j элемента [3]:

$$EJ_y \frac{\partial^4 u_j}{\partial x^4} + Ku_j = Ku_g, \quad (1)$$

где K — коэффициент постели основания;

u_j — абсолютное перемещение тоннелей;

$u_g = U_0 \sin(v_0(x+L_j)) (\theta(x) - \theta(x-L_j))$ — функция перемещения грунта при распространении поперечной волны, представленная в виде обобщенной финитной функции;

$\theta(x)$; $\theta(x-L_j)$ — функции Хэвисайда;

U_0 — пиковое значение перемещения массива грунта в месте расположения тоннеля;

$v_0 = (2\pi f/C_s)$ — волновое число, соответствующее сейсмической волне с доминирующей частотой f Гц;

C_s — скорость распространения поперечной волны.

Применив преобразование Фурье к обеим частям уравнения (1), получим (2).

В правую часть уравнения (2) входят функция, описывающая заданное сейсмическое воздействие, а также восемь параметров, представляющих значения прогиба, угла поворота, момента и поперечной силы на торцах секции. Обозначим эту часть уравнения через $\tilde{Q}_j(v)$. Итак, изображение Фурье-функции прогиба j -го элемента определяется по формуле:

$$\tilde{u}_j(v) = \frac{\tilde{Q}_j(v)}{EJ_y (v^4 + 4\beta^4)}; \quad j = 1 \div n, \quad (3)$$

где v — параметр изображения Фурье;

$\tilde{u}_j(v)$ — изображение Фурье-функции

$u_j(x)$;

$\tilde{Q}_j(v)$ — изображение Фурье обобщенной нагрузки $Q_j(x)$;

$$4\beta^4 = \frac{K}{EJ_y}.$$

В соответствии с теоремой Винера-Пэли-Шварца функция $\tilde{u}_j(v)$ должна быть

целой, поэтому числитель, представляющий собой сумму целых функций, содержит в себе нули знаменателя. То есть для каждой секции тоннеля сохраняются четыре условия:

$$\tilde{Q}_j(v_k) = 0, k = 1, 2, 3, 4, \quad (4)$$

где v_k — корни выражения $v^4 + 4\beta^4 = 0$.

Учитывая условия на границах крайних элементов, а также сопряжения элементов между собой, можно получить общую систему алгебраических уравнений, позволяющую определить значения параметров на границах элементов.

Решив систему уравнений, находим значения силовых и кинематических параметров на границах каждой секции. Подставив найденные значения на границах в выражение (3), получим изображение Фурье-функции прогиба каждой секции тоннеля. Для определения функции прогиба следует выполнить обратное преобразование Фурье, используя теорию вычетов.



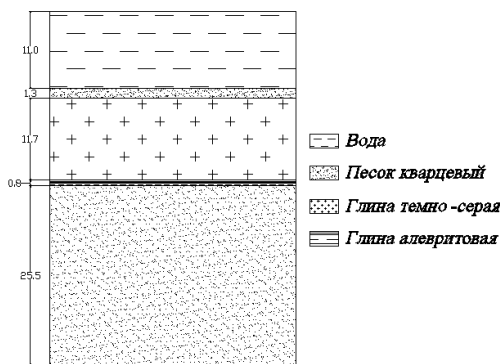


Рис. 8. Геологический разрез массива грунта.

Выражение функции прогиба для каждой секции получено в явном виде. Из-за громоздкости выражения эта формула в данной статье не приводится. Зная выражение функции прогиба, можно определить внутренние усилия в сечении обделки, необходимые для расчёта прочностных параметров.

При сопряжении секций тоннеля между собой учитывается жёсткость резиновых прокладок между секциями.

ПРИМЕР РАСЧЁТА

В качестве такового воспользуемся характеристиками грунтов, соответствующих условиям Керченского пролива [7]. Сечение подводного тоннеля позаимствуем из проекта [8], предусматривающего восемь секций длиной 153 м каждая.

Керченский пролив находится в регионе, который характеризуется высокой сейсмичностью. Здесь возможны землетря-

сения с магнитудой около 7,0 и сейсмичностью 9 баллов и выше. Величины пиковых значений ускорений, скоростей и перемещений в соответствии с данными российских исследователей (Ф. Ф. Аптикаев, Н. Н. Михайлова [9]) имеют следующие значения: $PGA=4 \text{ м/с}^2$; $PGV=0,55 \text{ м/с}$; $PGD=0,2 \text{ м}$.

Характеристики сечения $H=8,7 \text{ м}$; $B=34,5 \text{ м}$; $L_{\text{прок}}=84,4 \text{ м}$; $A_{\text{п.сеч}}=300,15 \text{ м}^2$; $A_{\text{бетон}}=111,64 \text{ м}^2$; $J_y=1314,7 \text{ м}^4$.

Для соединения секций тоннеля между собой учтём резиновые прокладки типа ETS-180-220, которые применены в тоннеле Busan Geoje Fixed Link. Зависимость силы от перемещения вдоль оси тоннеля представлена на рис. 10.

Во время установки секций прокладки получают первоначальное смещение. Первоначальная сила сжатия прокладок зависит от средней глубины положения тоннеля (в рассматриваемом случае 16,5 м). Из исходных данных можем определить начальную нагрузку на резину:

$$F_{\text{начало}} = \frac{\gamma_{\text{вод}} \times h \times A_{\text{п.сеч}}}{L_{\text{прок}}} = \frac{10 \times 16,5 \times 300,2}{84,4} = \frac{587 \kappa \text{Н}}{\text{м}}.$$

Приближенное начальное сжатие резиновой прокладки составляет 9,7 см.

Несмотря на то что поведение прокладок «Gina» существенно нелинейно, на предварительном этапе расчёта можно использовать решения в линейной постановке. Для этой цели следует определить

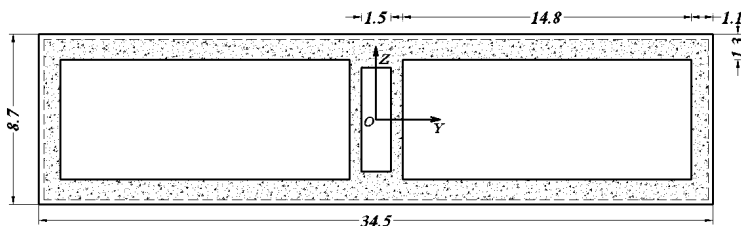


Рис. 9. Поперечное сечение тоннеля.

Таблица 1

Характеристики грунтов

Материал	Плотность (Кг/м³)	Модуль Юнга E (Н/м²)	Коэффициент Пуассона <<Eqn119.eps>>
Песок кварцевый	1500	$0,12 \times 10^9$	0,3
Глина темно-серая	1600	$0,4 \times 10^9$	0,35
Глина алевроитовая	1600	$0,65 \times 10^9$	0,35
Железобетон	2500	$32,4 \times 10^9$	0,15

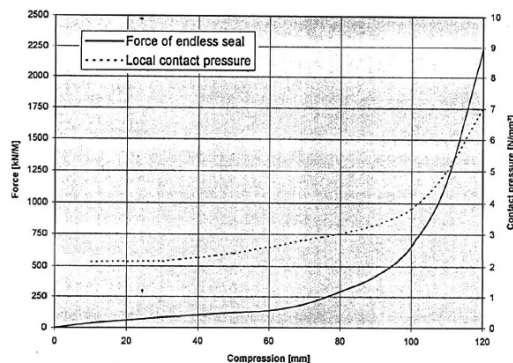
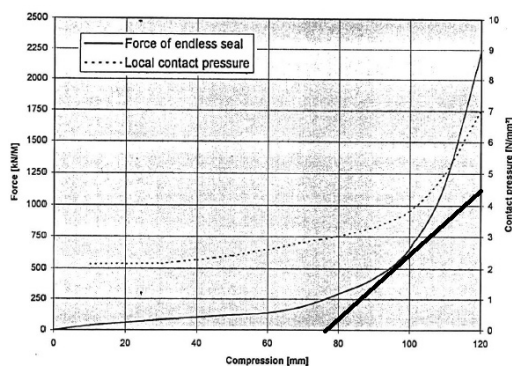


Рис. 10. График зависимости между нагрузкой и сжатием резиновой прокладки (тип ETS-180-220).

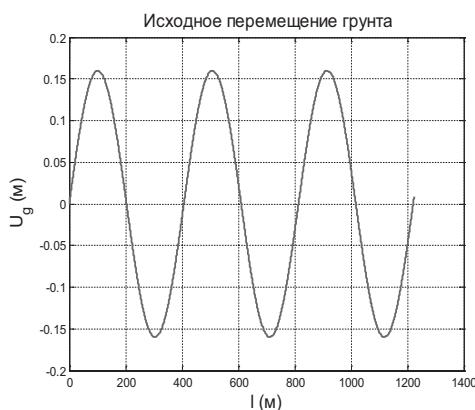
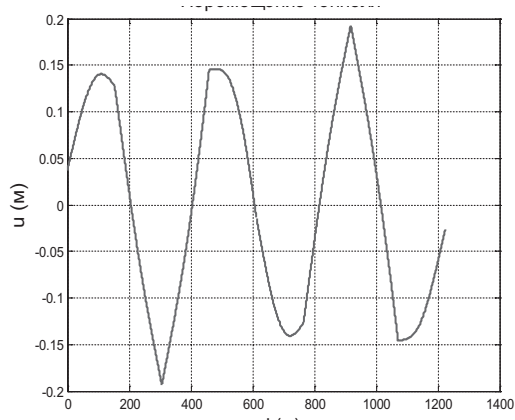


Рис. 11. Перемещение массива грунта и сечений тоннеля при распространении поперечной волны вдоль оси тоннеля.

начальное сжатие и касательную, ему соответствующую (рис. 10).

В таком варианте $K_0 = 24,4e3$ кН/м. Изгибная жесткость соединения между секциями с резиновой прокладкой находится по формуле:

$$K_\phi = H^2 K_0 \left(\frac{H}{3} + B \right) =$$

$$8,7^2 \times 24,44 \times 10^6 \times \left(\frac{8,7}{3} + 34,5 \right) = 6,9 \times 10^{10} \text{ Н/м.}$$

Коэффициент постели основания в соответствии с [12]:

$$K = \frac{16\pi\mu_m(1-\nu)H}{3-4\nu\lambda} =$$

$$\frac{16 \times 3,14 \times 0,063 \times 10^9 (1-0,35)}{(3-4 \times 0,35)} \frac{8,7}{406,8} =$$

$$2,75 \times 10^7 \text{ Н/м}^2,$$

где $\lambda = TC_s = 2 \times 203,4 = 406,8$ м — длина доминирующей волны.

Результаты расчёта представлены в графической форме на рис. 11, 12, 13.

Представленный метод расчёта позволяет на предварительном этапе проектирования получить внутренние усилия, запроектировать арматуру, оценить возможные осадки и смещения тоннельной обделки.

ОБДЕЛКИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

При землетрясениях подземные сооружения с сечениями прямоугольной формы, находящиеся в мягких или скальных породах, будут испытывать поперечные деформации, по форме похожие на деформации стеллажей, из-за сдвигов породы.

Принимая во внимание, что основным эффектом при сейсмических воздействиях на тоннели являются деформации грунта, наиболее удобным способом расчёта следует считать метод перемещений.

Для оценки взаимодействия тоннельной обделки с грунтом используется упрощенный метод [12], который включает ряд операций.



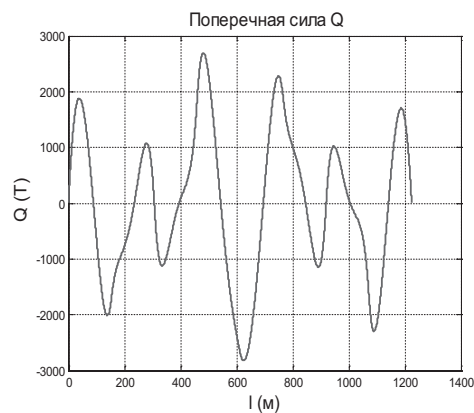
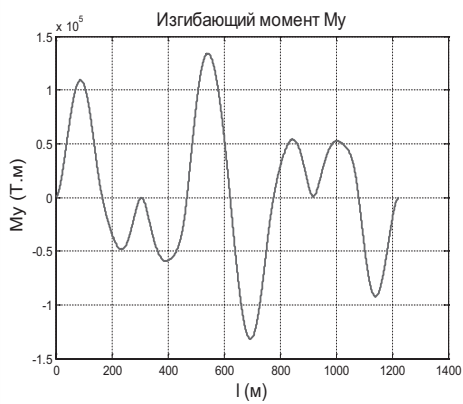


Рис. 12. Усилия в тоннельной обделке.

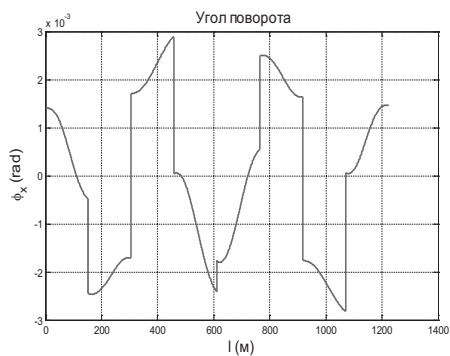


Рис. 13. Углы поворота сечений тоннельной обделки.

1. Фиксируются деформации сдвига «свободного поля» грунта γ_{max} и $\Delta_{free-field}$ — разность относительных перемещений верха и основания поперечного сечения тоннеля:

$$\lambda_{max} = \frac{V_{пик}}{C_{эф}} = \frac{0,55 \times 0,8}{203,4} = 0,00216; \quad (5)$$

$$\Delta_{free-field} = \gamma_{max} \times H = 8,7 \times 0,00216 = 0,0188 \text{ м.}$$

2. Определяется жёсткость при сдвиге коробчатой обделки с использованием метода расчёта рамных конструкций. Жёсткость на сдвиг можно найти, приложив единичную силу к верхнему перекрытию, полагая, что основание является неподвижным, но с допускаемыми вращениями в шарнирах. Отношение приложенной

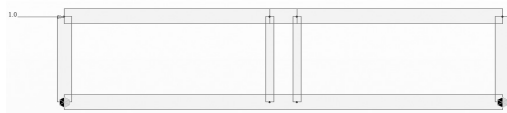


Рис. 14. Расчетная схема.

Таблица 2
Максимальные усилия в тоннельной обделке

$\gamma_{max a} (Rad)$	$M_{max} (КНм)$	$Q_{max} (КН)$
0,003	1,339e6	2818

силы к результирующему перемещению помогает уточнить коэффициент K_s (расчетная схема показана на рис. 14).

$$K_s = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{7,977e-6} = 125360,4 \text{ кН/м}^2.$$

3. Находится коэффициент изгибной жёсткости коробчатой конструкции по формуле:

$$F_r = \frac{G_m}{K_s} \frac{B}{H} = \frac{0,2567 \times 10^9 \times 34,5}{0,1254 \times 10^9 \times 8,7} = 8,117,$$

где H — высота поперечного сечения обделки;

G_m — средний модуль деформации сдвига грунта (на уровне основания и уровне перекрытия тоннеля), соответствующий величине напряжений;

K_s — жёсткость на сдвиг коробчатой конструкции обделки.

4. Определяется коэффициент сдвиговой жёсткости R_r для рассматриваемой конструкции. Коэффициент R_r — отношение сдвиговой деформации конструкции Δ_s , расположенной в грунте, к деформации свободного поля над конструкцией $\Delta_{free-field}$

$$R_r = \frac{\Delta_s}{\Delta_{free-field}} \quad (6)$$

Используя результаты исследований, представленных в работах [12,13], коэффи-

Таблица 3

Значения усилий в сечении тоннельной обделки

Условия расчета	N_{max} (КН)	M_{max} (КНм)	Q_{max} (КН)
Полное проскальзывание	2898	5328	1439
Без проскальзывания	2889	5313	1435

коэффициент сдвиговой жёсткости можно определить по формулам:

— при взаимодействии без проскальзывания тоннельной обделки относительно грунта:

$$R_r = \frac{4(1-\nu_m)F_r}{3-4\nu_m+F_r} = \frac{4(1-0,48) \times 8,117}{3-4 \times 0,48+8,117} = 1,8357; \quad (7)$$

— при взаимодействии с полным проскальзыванием тоннельной обделки относительно грунта:

$$R_r = \frac{4(1-\nu_m)F_r}{2,5-3\nu_m+F_r} = \frac{4(1-0,48) \times 8,117}{2,5-3 \times 0,48+8,117} = 1,84. \quad (8)$$

Используя формулы (5)-(8), получим деформации сдвига конструкции:

— при взаимодействии без проскальзывания:

$$\Delta_s = R_r \times \Delta_{free-field} = 1,835 \times 0,0188 = 0,0345 \text{ м};$$

— при взаимодействии с полным проскальзыванием:

$$\Delta_s = R_r \times \Delta_{free-field} = 1,84 \times 0,0188 = 0,0346 \text{ м}.$$

Беря во внимание полученные результаты, с помощью программного комплекса MIDAS CIVIL определяем внутренние усилия в сечении тоннельной обделки (таблица 3).

Выводы

Анализ построенных и проектируемых транспортных переходов, в которых используются тоннели из опускных секций, показывает, что при выборе варианта пересечения транспортными магистралями проливов, как показано на примере Керченского пролива, именно тоннель из опускных секций может быть наиболее экономичным, надежным и приемлемым с точки зрения затрат, времени строительства и рациональности применяемых технологий.

Тоннели в меньшей мере подвержены сейсмическим воздействиям, поскольку в них в отличие от наземных сооружений не возникает резонансных явлений. При прохождении сейсмических волн они деформируются, как окружающий их массив грунта, если он твердый, или значительно меньше, если грунт слабый. Эти деформации обычно малы и не представ-

ляют серьезной опасности для тоннельных обделок. Тем не менее при сильных землетрясениях тоннели могут получить повреждения.

Предложена методика расчёта конструкций тоннелей из опускных секций с учетом сейсмических воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.ita-aite.org/en/publications/wg-publications/download/122_47ee7751b3b4b5472729a00b61295572 . Доступ 26.09.2014.
2. <http://www.cei-demeyer.be/en/index.php?menu=229&cei-demeyer=type&type=2253&subtype=22531#liefkenshoecktunnel.pdf> . Доступ 26.09.2014.
3. Kiyomiya, O. Earthquake-resistant Design Features of Immersed Tunnels in Japan, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 463–475, 1995.
4. <https://archive.org/stream/earthquakeengine00owen#page/n0/mode/2up> . Доступ 26.09.2014.
5. Kiyomiya, O. Flexible joints between elements for large deformation. In (Re) Claiming the Underground Space», Vol. 1, pp. 329–334. Published by A.A. Balkema. Proceedings of the ITA World Tunnelling Congress in Amsterdam, The Netherlands, www.balkema.nl and www.szp.swets.nl. Доступ 26.09.2014.
6. Курбацкий Е. Н. Метод решения задач строительной механики и теории упругости, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций/ Дис... док. техн. наук. — М., 1995. — 205 с.
7. Геология шельфа УССР Керченский пролив/ Шнюков Е. Ф., Аленкин В. М., Путь А. Л. и др. — Киев: Наукова думка, 1981. — 160 с.
8. Projekter.aau.dk/projekter/files/14460088/Thesis.pdf. Доступ 26.09.2014.
9. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ (РБ-006–98). Нормативный документ. — М.: НТЦ ЯРБ, 2000. — 76 с.
10. Kyriazis Pitilakis, Kyriazis; Argyroudou, Sotiris; Tsinidis, Grigoris. Seismic Design and Risk Assessment of Underground Long Structures. MONICO Workshop Structural Monitoring and Assessment of Underground Transportation Facilities, March 18, 2011, Athens, Greece. <http://www.monico-eu.org/documents/Workshop/1.%20Pitilakis%20-%20Seismic%20Design%20and%20Risk%20Assessment%20of%20Underground%20Long%20Structures.pdf>. Доступ 26.09.2014.
11. St John, C.M., Zahrah, T.F. A seismic Design of Underground Structures. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.2. No. 2, pp. 165–197, 1987.
12. <https://www.pbworld.com/pdfs/publications/.../wang.pdf> . Доступ 26.09.2014.
13. [http://www.readcube.com/articles/10.1002%2F\(SICI\)1096-9845\(200005\)29%3A5%3C683%3A%3AID-EQE932%3E3.0.CO%3B2-1](http://www.readcube.com/articles/10.1002%2F(SICI)1096-9845(200005)29%3A5%3C683%3A%3AID-EQE932%3E3.0.CO%3B2-1) . Доступ 26.09.2014. ●



TRANSPORT IMMERSED TUBE TUNNELS

Kurbatskiy, Evgeny N. – D. Sc. (Tech.), professor at the department of Bridges and tunnels of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Nguyen, Van Hung – Ph. D. student at the department of Bridges and tunnels of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Thanh Hoa, Vietnam.

ABSTRACT

The article shows advantages and disadvantages of immersed tube tunnels used in the transport passage across extensive water obstacles (straits, lakes, wide rivers). An immersed tunnel project for the passage at the intersection of a strait, which may be the most cost-effective, reliable and affordable in terms of costs, time of construction and choice of technologies, is evaluated. The authors propose a method for calculating the tunnels with account for seismic impact.

ENGLISH SUMMARY

Background. Traditionally, extensive transport passages across straits and wide rivers were constructed using bridges. In some cases, for the passage of high-tonnage vessels superstructures have to be located on high bearings. This complicates the entire structure and makes it necessary to lengthen approaches to bridges.

One of the possible solutions of the problem is the construction of shield tunnels. However, in this case, there is a requirement, which causes lengthening of the passage: the tunnel should be located 25–30 meters or more below the bottom of the water basin.

Immersed tube tunnels have a relatively smaller extension, they are located at the bottom of water basins with a small deepening, and therefore approaches to them may be relatively short. The length of a bridge passage at the crossing of a water obstacle on a flat ground increases significantly (Pic. 1 [1]).

Immersed tube tunnel consists of large built-up concrete or steel-concrete sections. Sections of tunnels are produced on the shipbuilding ways of shipyards, dry docks or in temporary pits (Pic. 2 [2]).

The butt ends of the sections are sealed with temporary partitions, then pits or dry docks are filled with water, the sections float and they are hauled to the installation site. Then they are immersed in a prearranged trench at the bottom of the water basin and connected to the previously installed sections (Pic. 3 [1]).

After installing sections of the tunnel at the bottom, the trench around it is filled, and the bottom surface of the water basin is restored, the tunnel should have a protective layer of ground of at least 1,5 m for protection from sinking ships and the impact of anchors.

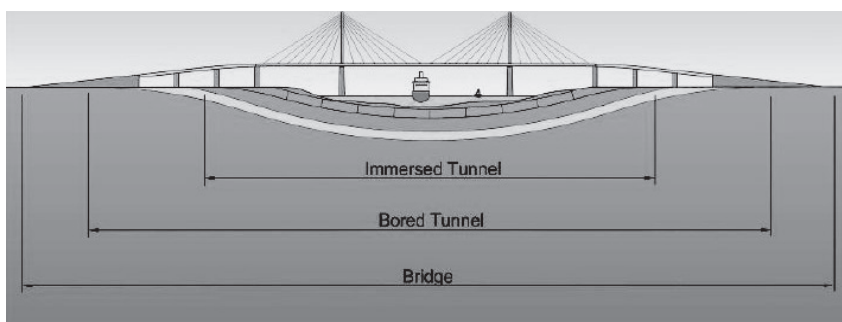
Objective. The objective of the authors is to show advantages of immersed tube tunnels as compared to other technologies especially in the case of crossings below sea straits and under dangerous seismic conditions.

Methods. The authors use mathematical, engineering, comparative methods and analysis.

Results.

Advantages and disadvantages

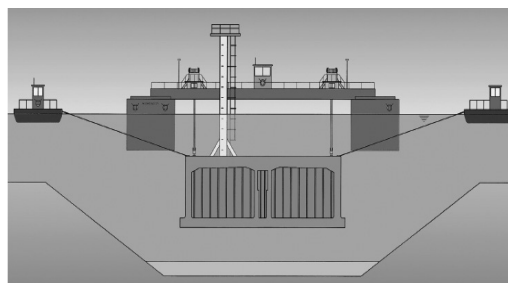
Over 100 immersed tube tunnels are in operation for different purposes with different cross-sections (Pic. 4 [1]) in the world now. They include road, railway tunnels, single-track and double-track tunnels, as well as tunnels for the simultaneous passage of trains and vehicles.



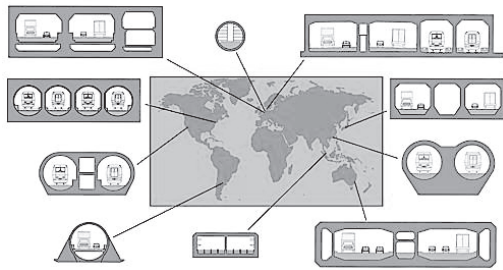
Pic. 1. Comparison of extension of transport passages across a water obstacle.



Pic. 2. Tunnel elements in dry dock.



Pic. 3. Mechanism of immersion of a tunnel section into a prearranged trench.



Pic. 4. Types of cross-sections of immersed tube tunnels and place of their construction.

Existing transport passages with immersed tube tunnels show benefits of such projects as compared with other types of passages.

1. All stages of construction are developed in detail: construction of sections, their transportation to the immersion site, methods of immersion.

2. Simultaneous production of a large number of sections on the shore and overlapping of stages of construction can significantly speed up the process of creating the tunnel.

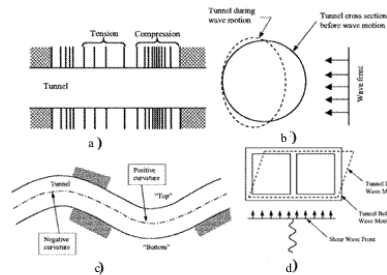
3. Construction, which is running in the project area, has no effect on the local shipping.

4. Cross-section of the tunnel of concrete immersed tubes need not be cylindrical (as required by the shield tunneling), it is possible to construct tunnels with different cross-sectional shapes, and virtually all types of soils, including soft alluvial.

5. When using transport passages with such tunnels no limits are put on height or tonnage of vessels, so any additional organizational and technical difficulties are dismissed.

6. Immersed tube tunnels can be constructed in areas with high seismic activity with earthquake-resistant design.

7. Combined transport passage consisting of a bridge and immersed tube tunnel is more cost-effective as compared with options where a combination of a bridge with a shield tunnel is used.



Pic. 5. Possible deformations of tunnels under the influence of earthquakes [4].

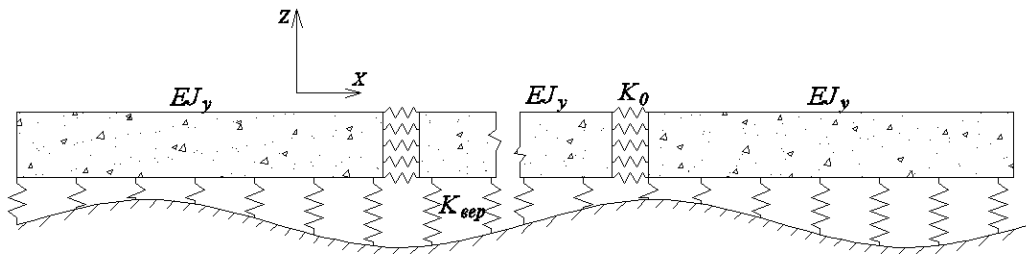
It should be noted that immersed tube tunnels have some disadvantages, which are mainly related to the impact on the environment, they can have a negative impact on fish inhabitation, change stream flows and reduce water clarity.

But the main drawback at the moment is the lack of experience in construction of this type of tunnels in the Russian Federation, the lack of necessary equipment. Nevertheless, it is time to break down the barriers: the country has a large number of water (sea and river) obstacles that require technically reliable transport passages, which do not violate well-established shipping routes.

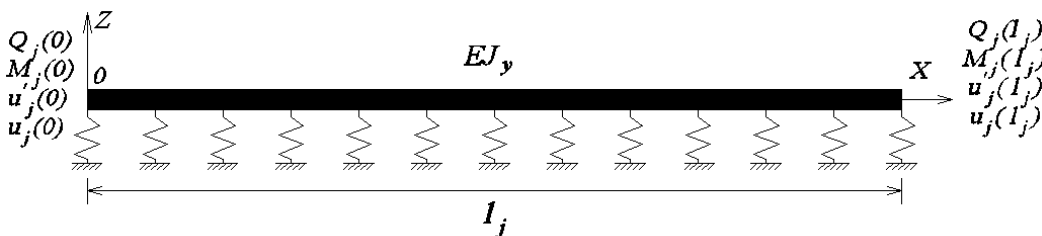
Methods of seismic effects calculation

In soft surface layers, where immersed tube tunnels are usually located, the intensity of seismic waves increases, so a resource for seismic stability should be provided at the design stage of structures for earthquake-prone areas. It is provided by methods of calculation used in the practice of tunneling [3,4].

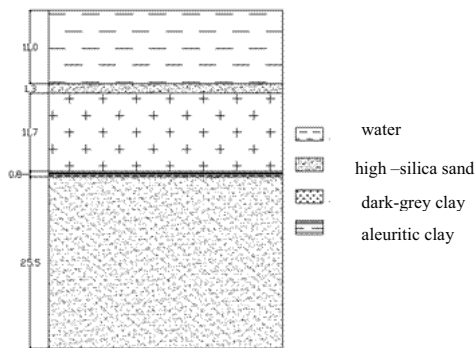
In the propagation of seismic longitudinal and transverse waves in a soil mass, where the tunnel is located, various types of deformation may occur. They are represented in Pic. 5. Deformations of tunnels on the background of longitudinal waves are shown in Pic. 5a and 5b; in case of transverse waves – in Pic. 5c (deflection of a tunnel) and 5d (shear deformation).



Pic. 6. Computational model.



Pic. 7. The local coordinate system of j-th element.



Pic. 8. Geologic profile of ground.

Usually the impact of longitudinal waves on the tunnels as compared with transverse waves is much lower.

Tensions in case of waves along the axis

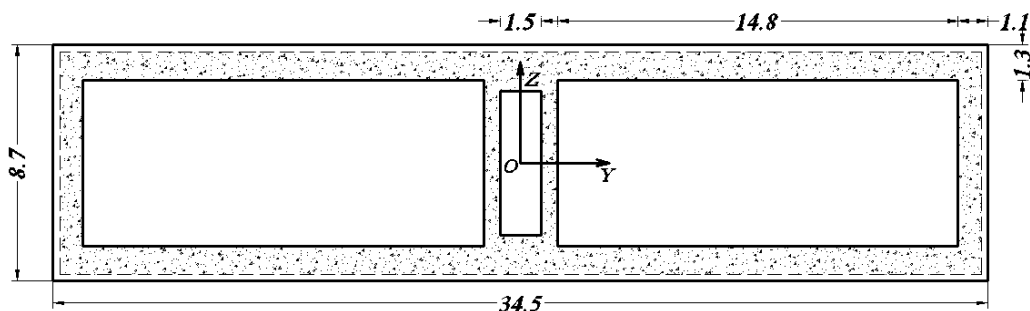
The tunnel consists of separate beams on elastic foundation, connected by joints with elastic constraints, which are provided with rubber gaskets and cables for pretensioning [5]. The computational model is shown in Pic. 6.

To solve the problem, integral Fourier transform and generalized functions are used [6].

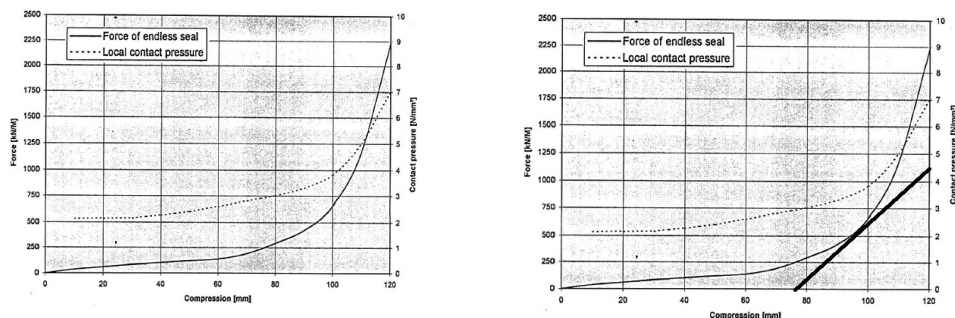
We divide the tunnel into n elements, for each one we use local coordinate system (Pic. 7).

$$EJ_y (v^4 + 4\beta^4) \tilde{u}_j(v) = KU_0 \left(\frac{e^{-iv_0 L_j} (e^{i(v-v_0)L_j} - 1)}{2(v-v_0)} - \frac{e^{iv_0 L_j} (e^{i(v+v_0)L_j} - 1)}{2(v+v_0)} \right) + Q_j(0) - e^{ivL_j} Q_j(l_j) -$$

$$-ivM_j(0) + ive^{ivL_j} M_j(l_j) - v^2 u'_j(0) EJ_y + v^2 e^{ivL_j} u'_j(l_j) EJ_y + iv^3 u_j(0) EJ_y - iv^3 e^{ivL_j} u_j(l_j) EJ_y.$$



Pic. 9. Cross-section of the tunnel.



Pic. 10. Graph of relationship between load and compression of a rubber gasket (type ETS-180-220).

Table 1

Characteristics of grounds

Material	Density (kg/m³)	Young modulus E (n/m²)	Poisson ratio ν
High-silica sand	1500	0,12x10 ⁹	0,3
Dark-grey clay	1600	0,4x10 ⁹	0,35
Aleuritic clay	1600	0,65x10 ⁹	0,35
Steel concrete	2500	32,4x10 ⁹	0,15

The differential equation of deflection of a beam on elastic foundation for j element [3] is:

$$EJ_y \frac{\partial^4 u_j}{\partial x^4} + Ku_j = Ku_g, \quad (1)$$

where K is a coefficient of subgrade reaction of a foundation;

u_j – absolute displacement of tunnels;

$u'_0 = U_0 \sin(v_0(x+L_j))(\theta(x) - \theta(x-l_j))$ – function of ground movement in the propagation of a transverse wave, presented in the form of a generalized finite function;

$\theta(x); \theta(x-l_j)$ – Heaviside functions;

U_0 – peak value of movement of a soil mass at the location of the tunnel;

$v_0 = (2\pi f/C_s)$ – wave number, corresponding to a seismic wave with a dominant frequency f Hz;

C_s – velocity of propagation of a transverse wave.

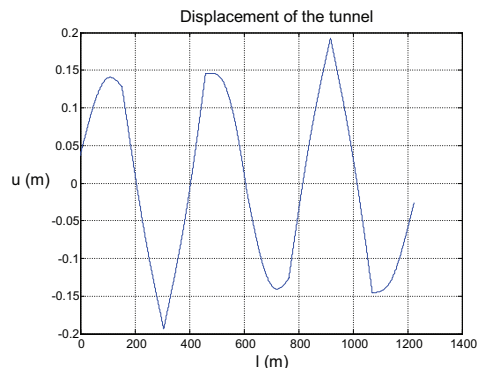
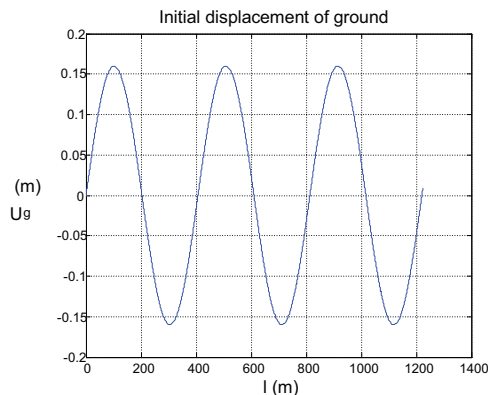
Applying the Fourier transform to both sides of equation (1), we obtain (2):

Table 2
Maximum forces in the tunnel lining

$\gamma_{\max}$ (Rad)	$M_{\max}$ (kNm)	$Q_{\max}$ (kN)
0,003	1,339e6	2818

Table 3
Force values in the section of the tunnel lining

Terms of calculation	$N_{\max}$ (kN)	$M_{\max}$ (kNm)	$Q_{\max}$ (kN)
Full sliding	2898	5328	1439
Without sliding	2889	5313	1435



Pic 11. Displacement of ground and cross-sections of the tunnel in the propagation of a transverse wave along the tunnel.

The equation (2) includes a function describing a given seismic impact, as well as eight parameters representing the value of deflection, angular deflection, moment and transverse force at the ends of section. We denote this part of the equation in terms of $\tilde{Q}_j(v)$. And so, the Fourier image of the function of deflection of the j -th element is given by:

$$\tilde{u}_j(v) = \frac{\tilde{Q}_j(v)}{EJ_y(v^4 + 4\beta^4)}; j = 1 \div n, \quad (3)$$

where v is parameter of Fourier image;

$\tilde{u}_j(v)$ – Fourier image of the function $u_j(x)$;

$\tilde{Q}_j(v)$ – Fourier image of generalized load $Q_j(x)$;

$$4\beta^4 = \frac{K}{EJ_y}.$$

In accordance with the theorem of Paley-Wiener-Schwartz, function $\tilde{u}_j(v)$ must be integer, therefore the numerator, which is the sum of entire functions, contains zeros of the denominator. That is, for each section of the tunnel four conditions are in force:

$$\tilde{Q}_j(v_k) = 0, k = 1, 2, 3, 4, \quad (4)$$

where v_k – roots of the expression $v^4 + 4\beta^4 = 0$.

Considering the conditions at the boundaries of extreme elements, as well as coupling of elements, it is possible to get a general system of algebraic equations, which allows us to determine values of parameters on the boundaries of the elements.

Solving the system of equations, we find the values of force and kinematic parameters on the boundaries of each section. Substituting the values found at the boundaries in the expression (3), we obtain the Fourier image of the function of deflection of each section of the tunnel. To determine the function of deflection, it is necessary to perform the inverse Fourier transform using the theory of residues.

Expression of the function of deflection for each section is obtained in explicit form. Because of the cumbersomeness of the expression, this formula is not given in the current paper. Knowing the expression of the function of deflection, we can determine internal forces in the section of the lining, necessary for the calculation of strength parameters.

In case of coupling of the sections of the tunnel it is necessary to take in account the hardness of rubbers between sections.

Example of calculation

As such, we use the characteristics of soils, corresponding to the conditions of Kerch Strait [7]. Cross-section of an undersea tunnel will be taken from the project [8], comprising eight sections, each 153 m long.

Kerch Strait is located in a region that has the highest seismic activity. There may be an earthquake with a magnitude of about 7.0, and the seismicity of 9 points and above. The values of peak acceleration, velocity and displacement in accordance with the data of Russian researchers (F. F. Aptikaev, N. N. Mikhailov [9]) are the following: $PGA = 4 \text{ m/s}^2$; $PGV = 0,55 \text{ m/s}$; $PGD = 0,2 \text{ m}$.

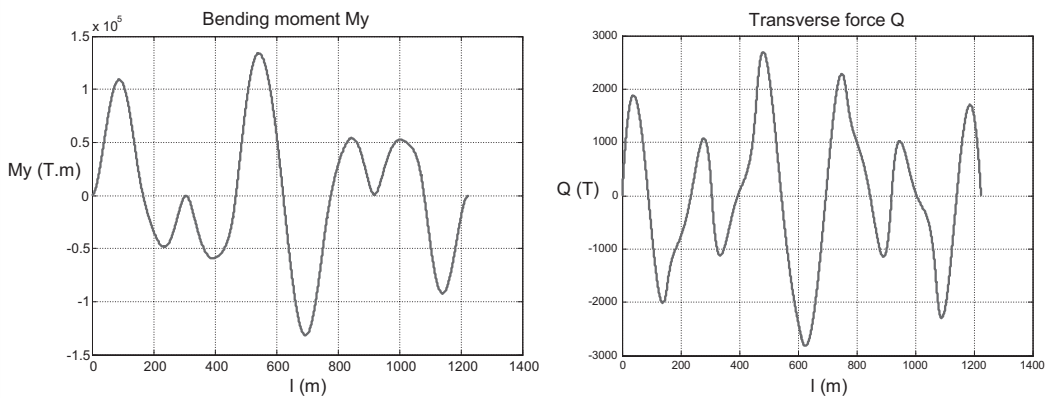
Characteristics of the cross-section are: $H = 8,7 \text{ m}$; $B = 34,5 \text{ m}$; $L_{\text{gasket}} = 84,4 \text{ m}$; $A_{\text{cross-section}} = 300,15 \text{ m}^2$; $A_{\text{concrete}} = 111,64 \text{ m}^2$; $J_y = 1314,7 \text{ m}^4$.

To connect sections of the tunnel between each other we will take into account rubber gaskets of ETS-180–220 type, which are applied in the tunnel Busan Geoje Fixed Link (South Korea) [10]. Dependence of force from displacement along the tunnel axis is shown in Pic. 10.

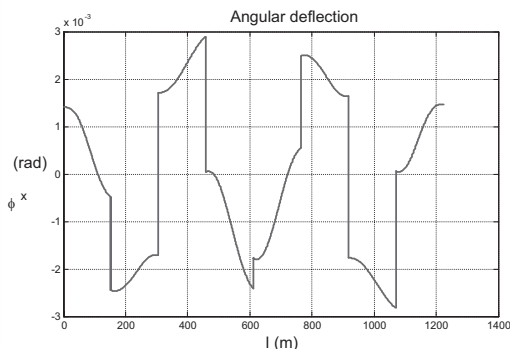
During installation of sections gaskets obtain initial shift. Initial compression force of gaskets depends on the average depth of the position of the tunnel (in this case it is 16,5 m). From the basic data we can determine initial load on the rubber:

$$F_{\text{initial}} = \frac{\gamma_{\text{wat}} \times h \times A_{\text{cross-section}}}{L_{\text{gasket}}} = \frac{10 \times 16,5 \times 300,2}{84,4} = \frac{587 \text{ kN}}{\text{m}}.$$





Pic 12. Forces in tunnel lining



Pic 13. Angular deflections of cross-sections of the tunnel lining.

Approximate initial compression of a rubber gasket is 9,7 cm.

Despite the fact that the behavior of gaskets «Gina» is essentially nonlinear, at the preliminary stage of calculation we can use solutions in the linear formulation. For this purpose, it is necessary to determine the initial compression, and tangent line, corresponding to it (Pic. 10).

Accordingly $K_0 = 24,4 \text{ e3 kN/m}$. Flexural rigidity of the connection between sections with a rubber gasket is given by:

$$K_r = H^3 K_0 \left(\frac{H}{3} + B \right) = 8,7^2 \times 24,44 \times 10^6 \times \left(\frac{8,7}{3} + 34,5 \right) = 6,9 \times 10^{10} \text{ N/m}.$$

Coefficient of subgrade reaction of a foundation in accordance with [12] is:

$$K = \frac{16\pi\mu_m(1-\nu)H}{3-4\nu\lambda} = \frac{16 \times 3,14 \times 0,063 \times 10^9 (1-0,35)}{(3-4 \times 0,35)} \frac{8,7}{406,8} = 2,75 \times 10^7 \text{ N/m}^2,$$

where $\lambda = TC_s = 2 \times 203,4 = 406,8 \text{ m}$ is a dominant wave length.

The results of calculations are presented in graphical form in Pic. 11, 12.13.

The presented calculation method enables at the preliminary design stage to obtain internal forces, to design armature, to assess possible settlements and displacement of the tunnel lining.

Linings of rectangular cross sections

During earthquakes underground structures with sections of rectangular shape, which are located in soft or hard rocks, will suffer transverse deformations, which are similar in the form to the deformation of racks, because of shear deformations of the rock.

Taking into account that the main effect in the seismic impact on tunnels is ground deformation, displacement method will be the most convenient method of calculation.

To evaluate interaction of the tunnel lining with ground a simplified method [12] is used, which includes a series of operations.

1. We fix shear deformations of «free field» of the ground $\gamma_{\max}$ and $\Delta_{\text{free-field}}$ – difference between relative displacements of the top and the foundation of the cross-section of the tunnel:

$$\gamma_{\max} = \frac{V_{\text{peak}}}{C_{\text{ef}}} = \frac{0,55 \times 0,8}{203,4} = 0,00216; \quad (5)$$

$$\Delta_{\text{free-field}} = \gamma_{\max} \times H = 8,7 \times 0,00216 = 0,0188 \text{ m}.$$

2. Stiffness is determined in the shear of box lining using the method of calculation of frame structures. Shear stiffness can be found by applying a unit force to the upper span, suggesting that the foundation is fixed, but with allowable rotations of joints. The ratio of the applied force to the resulting displacement helps to clarify the factor K_s (calculation scheme is shown in Pic. 14).

$$K_s = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{7,977 \text{ e-6}} = 125360,4 \text{ kN/m}^2.$$

3. Ratio of flexural rigidity of box structure is determined according to the formula:

$$F_r = \frac{G_m B}{K_s H} = \frac{0,2567 \times 10^9 \times 34,5}{0,1254 \times 10^9 \times 8,7} = 8,117,$$

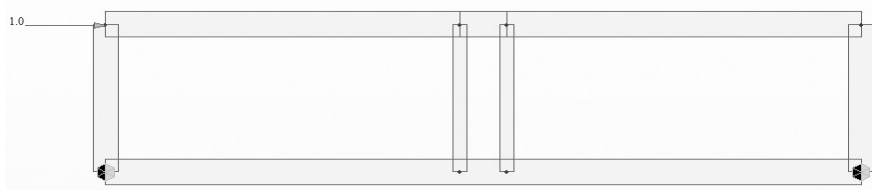
where H is height of cross-section of the lining;

G_m – mean deformation modulus of soil shear (at foundation and span of the tunnel levels), corresponding to the value of tension;

K_s – shear stiffness of the box structure of the lining.

4. Coefficient of shear stiffness R_s is determined for the construction under consideration. Coefficient R_s is a ratio of shear deformation of the structure Δ_s , located in the soil to the deformation of free field above the structure $\Delta_{\text{free-field}}$

$$R_s = \frac{\Delta_s}{\Delta_{\text{free-field}}}. \quad (6)$$



Pic. 14. Computational model.

Using the results of the studies presented in [12, 13], shear stiffness coefficient can be determined by the formulas:

– In case of interaction without sliding of the tunnel lining in regard to the ground:

$$R_r = \frac{4(1-v_m)F_r}{3-4v_m + F_r} = \frac{4(1-0,48) \times 8,117}{3-4 \times 0,48 + 8,117} = 1,8357; \quad (7)$$

– In case of interaction with full sliding of the tunnel lining in regard to the ground:

$$R_r = \frac{4(1-v_m)F_r}{2,5-3v_m + F_r} = \frac{4(1-0,48) \times 8,117}{2,5-3 \times 0,48 + 8,117} = 1,84. \quad (8)$$

Using (5) – (8) we obtain shear deformations of the structure:

– in case of interaction without sliding:

$$\Delta_s = R_s \times \Delta_{free-field} = 1,835 \times 0,0188 = 0,0345 \text{ m};$$

– in case of interaction with full sliding:

$$\Delta_s = R_s \times \Delta_{free-field} = 1,84 \times 0,0188 = 0,0346 \text{ m}.$$

Taking into account the obtained results and with the help of software package MIDAS CIVIL, we deter-

mine the internal forces in the section of the tunnel lining (Table 3).

Conclusion. The analysis of constructed and projected traffic passages, in which immersed tube tunnels are used, shows that the selection of immersed tube tunnel project for a strait, as shown at example of Kerch Strait, can be the most cost-effective, reliable and affordable in terms of costs, time of construction and efficiency of technologies, which are applied.

Tunnels are to a lesser extent exposed to seismic impact, since in them, in contrast to surface structures no resonance phenomena occur. With the passage of seismic waves they deform along with the surrounding ground mass, if it is solid, or they deform significantly less if the ground is soft. Those deformations are usually small and do not pose a serious danger to the tunnel lining. However, during strong earthquakes tunnels may be damaged.

A method was proposed for calculating the designs of immersed tube tunnels with account for seismic impact.

Keywords: transport passage, water obstacles, tunnel, immersed tubes, beams on elastic foundation, Fourier transform, seismic impact, methods of calculation.

REFERENCES

1. http://www.ita-aites.org/en/publications/wg-publications/download/122_47ee7751b3b4b5472729a00b61295572. Last accessed 26.09.2014.
2. <http://www.cei-demeyer.be/en/index.php?menu=229&cei-demeyer=type&type=2253&subtyp=22531#liefkenshoekunnel.pdf>. Last accessed 26.09.2014.
3. Kiyomiya, O. Earthquake-resistant Design Features of Immersed Tunnels in Japan. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 463–475, 1995.
4. <https://archive.org/stream/earthquakeengine00owen#page/n0/mode/2up>. Last accessed 26.09.2014.
5. Kiyomiya, O. Flexible joints between elements for large deformation, in «(Re) Claiming the Underground Space, Vol. 1, pp. 329–334. Published by A.A. Balkema. Proceedings of the ITA World Tunnelling Congress in Amsterdam, The Netherlands, 2003. www.balkema.nl and www.szp.swets.nl. Last accessed 26.09.2014.
6. Kurbatskiy, E. N. Method for solving tasks of structural mechanics and the theory of elasticity, based on the properties of the Fourier image of finite functions. D. Sc. (Tech.) thesis [Metod resheniya zadach stroitel'noy mehaniki i teorii uprugosti, osnovannyj na svoystvah izobrazheniy Fur'e finitnykh funktsiy. Dis... dok. tehn. nauk]. Moscow, 1995, 205 p.
7. Shelf geology of the USSR. Kerch Strait [Geologiya shel'fa USSR. Kerschenskiy proliv]. Shnyukov, E.F., Alenkin, V.M., Put' A.L. [et al.], Kiev, Naukova Dumka publ., 1981, 160 p.
8. Projekter.aau.dk/projekter/files/14460088/Thesis.pdf. Last accessed 26.09.2014.
9. Determination of initial seismic ground motion for the design basis (RB-006–98). Regulatory document [Opredelenie ishodnyh seysmicheskikh kolebaniy grunta dlya proektnykh osnov (RB-006–98). Normativnyj dokument]. Moscow, NTTs YaRB, 2000, 76 p.
10. Kyriazis Ptilakis, Kyriazis; Argyroudou, Sotiris; Tsiniadis, Grigoris. Seismic Design and Risk Assessment of Underground Long Structures. MONICO Workshop Structural Monitoring and Assessment of Underground Transportation Facilities, March 18, 2011, Athens, Greece. <http://www.monico-eu.org/documents/Workshop/1.%20Ptilakis%20-%20Seismic%20Design%20and%20Risk%20Assessment%20of%20Underground%20Long%20Structures.pdf>. Last accessed 26.09.2014.
11. St John, C.M., Zahrah, T.F. A seismic Design of Underground Structures. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.2. No. 2, pp. 165–197, 1987.
12. <https://www.pbworld.com/pdfs/publications/.../wang.pdf>. Last accessed 26.09.2014.
13. [http://www.readcube.com/articles/10.1002%2F\(SICI\)1096-9845\(200005\)29%3A5%3C683%3A%3A%3AID-EQE932%3E3.0.CO%3B2-1](http://www.readcube.com/articles/10.1002%2F(SICI)1096-9845(200005)29%3A5%3C683%3A%3A%3AID-EQE932%3E3.0.CO%3B2-1). Last accessed 26.09.2014.

Координаты авторов (contact information): Курбачкий Е. Н. (Kurbatskiy, E.N.) – usd.mii@gmail.com, Нгуен Ван Хунг (Nguyen, Van Hung) – vanhungnguyen@mail.ru.
Статья поступила в редакцию / article received 01.09.2014
Принята к публикации / article accepted 26.11.2014





Загрязнение придорожной зоны тяжелыми металлами



Маргарита ЖУРАВЛЕВА
Margarita A. ZHURAVLEVA

Николай ЗУБРЕВ
Nikolai I. ZUBREV



Сергей КОКИН
Sergey M. KOKIN

Журавлева Маргарита Анатольевна — старший преподаватель Российской открытой академии транспорта Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия. Зубрев Николай Иванович — кандидат технических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия. Кокин Сергей Михайлович — доктор физико-математических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.

На основе проведенных исследований проанализировано распределение тяжелых металлов в почве прилегающих к железной дороге территорий на примере двух перегонов в Северном административном округе Москвы. Сделанные выводы позволяют выявить существующие экологические закономерности, дать оценку степени влияния придорожных загрязнений на окружающую среду, особенностям фоновых аномалий, определить перспективы аналогичных исследований с учетом задач по снижению техногенной нагрузки на городскую территорию.

Ключевые слова: экология, загрязнение тяжелыми металлами, железная дорога, полоса отвода, возможности мониторинга, пробные площадки.

Проблема снижения уровня техногенной нагрузки на окружающую среду актуальна для многих стран мира. К основным загрязнителям, как правило, относят предприятия химической и металлургической промышленности, отраслей, занимающихся добычей и переработкой полезных ископаемых, производством строительных материалов, а также — транспорт. В связи с этим понятно беспокойство людей, проживающих в районах, где сосредоточены подобные объекты риска. В частности, в таком крупном мегаполисе, как Москва, особое значение имеет экологический мониторинг, позволяющий не только давать оценку качества окружающей среды, но и рекомендации по снижению техногенной нагрузки на городскую территорию.

ФАКТОРЫ И ЗОНЫ РИСКА

Типичными примерами объектов, которые вызывают настороженность у экологов, являются городские дороги: автомобильные трассы и железнодорожные ветки, без которых невозможно представить жизнь любого крупного поселения. Складывавшаяся даже не десятилетиями, а веками транспортная инфраструктура города

изначально не была ориентирована на сохранение окружающей среды и поэтому ухудшала её состояние. Об этом говорят многочисленные публикации в специализированных изданиях и средствах массовой информации [1, 2]. Тем не менее, надо сказать, что именно острота проблемы стала стимулом для целой серии природоохранных мероприятий, которые позволили получить ожидаемый экологический эффект [3].

Тяжелые металлы, попадающие в атмосферный воздух с выбросами различных производств, осаждаются на почву, растения, живые организмы и могут накапливаться там до высоких, опасных для жизни концентраций. В результате почвообразовательных процессов они перераспределяются по почвенному профилю, выщелачиваются и переносятся грунтовыми водами [4].

Основными факторами, контролирующими поведение тяжелых металлов в природе, являются их химические и физические свойства, а также условия внешней среды, в частности, щелочно-кислотные, окислительно-восстановительные, сорбционная способность почвы, емкость поглощающего комплекса.

Так, например, почвы и грунты на территориях, прилегающих к автомагистралям, испытывают регулярное загрязнение тяжелыми металлами, нефтепродуктами, полициклическими и ароматическими углеводородами (ПАУ), которые содержатся главным образом в газопылевых выбросах автотранспорта. По данным наблюдений, из общего количества выбросов твердых частиц, включая тяжелые металлы, примерно 25% остается до смыва на проезжей части, а 75% распределяется на поверхности прилегающей территории, включая обочины. В зависимости от конструктивного профиля и площади покрытия в сточные дождевые или смывные воды попадает от 25 до 50% твердых частиц.

Схожая картина наблюдается и вблизи железнодорожных путей: об этом говорят, помимо прочего, данные работ [5–6], причем авторы отмечают, что концентрация тяжелых металлов происходит преимущественно в приповерхностном слое почвы, и максимум загрязнения приходится

на прилегающие к железнодорожному полотну территории в пределах 15 м.

С этой точки зрения интерес представляют и проведенные нами исследования состава почв, прилегающих к железнодорожным путям на таких расстояниях от подшвы крайнего рельса, где начинаются зоны ответственности городских служб (50 м и далее).

ПРОБНЫЕ ПЛОЩАДКИ

Пробы почв отбирались в 2004–2008 годах вдоль перегонов рижского направления железной дороги в Северном административном округе Москвы между станциями Красный Балтиец и Гражданская (протяжённостью 1,9 км), Покровское-Стрешнево и Ленинградская (протяжённостью 1,36 км).

Первый участок Красный Балтиец–Гражданская проходит в районе Тимирязевской парковой зоны и построек железнодорожного назначения (парк расположен северо-восточнее дороги). Вблизи станции Красный Балтиец, с южной стороны, находятся локомотивное и рефрижераторное депо, вдоль северной полосы отвода от станции до парка расположены гаражи, к южной и северо-западной частям магистрали примыкает жилой сектор.

Второй участок Покровское-Стрешнево–Ленинградская расположен вдоль лесопарковой зоны и находящихся здесь прудов, со стороны платформы Покровское-Стрешнево он ограничен Волоколамским шоссе, пересекающим железную дорогу по мосту (расстояние между ним и платформой 50 м). Перед платформой Ленинградская (750 м от выбранной точки отсчета — начала платформы Покровское-Стрешнево) рижское направление пересекается с Московской окружной железной дорогой, которая проходит над полотном на высоте насыпи 5–6 м. Кроме гаражного комплекса, находящегося рядом с пересечением железных дорог, других предприятий вдоль перегона нет.

Отбор каждой пробы почвы производили в пяти точках забора по методу «конверта» (со сторонами 1 м) на пробных площадках 50 • 50 м вдоль станции и железнодорожного полотна по направлению к Московской окружной железной дороге из почвенного горизонта (0–20 см) при различном удалении (50, 100 и 150 м) от по-



лотна со стороны I-го пути на территории паркового комплекса «Покровское-Стрешнево». Поскольку на парковой территории расположены три пруда, длинные перпендикуляры отбора проб вглубь парка были отнесены к отметкам железнодорожного полотна 0, 100, 200, 300, 350, 450, 550, 650 и 700 м.

Между станциями Красный Балтиец и Гражданская использовались пробные площадки 100 • 50 м из почвенного горизонта вдоль железнодорожного полотна (I путь) на расстоянии 50, 100 и 200 м от колеи на территории Тимирязевского парка. Не проводился пробоотбор вдоль станции Красный Балтиец из-за асфальтирования приплатформенной территории, гаражного комплекса и прилегающих к ним автодорог.

Гранулометрический состав почвы парковых зон представлен в основном серыми лесными почвами с постоянным значением pH = 5,5–6,8.

Пробы высушивали при температуре около +40°C, дробили и отсеивали через сито (фракция 0,5 мм). После квартования навески почвы 50 ± 0,1 г истирали в стальных шаровых мельницах до 44 мк (300 меш). Пробы анализировали в аккредитованном аналитическом центре ИМГРЭ атомно-эмиссионным спектральным методом на содержание широкого спектра металлов. Полученные данные подвергались статистической обработке по стандартным методикам.

Интенсивность антропогенной нагрузки почвы определялась по коэффициенту концентрации K_c , который представляет собой отношение содержания элемента в исследуемом объекте C (мг/кг) к среднему фоновому его содержанию. Под фоновым понимается наличие химического вещества в почвах территории, не испытывающих техногенной нагрузки [7]. Пробы для фона не отбираются на участках автомобильных дорог, предприятий, которые расположены вдоль железной дороги, то есть должны браться в самых чистых с точки зрения каких-либо загрязнений зонах округа города. В случае отсутствия антропогенной нагрузки на прилегающие придорожные территории определение фона допустимо на расстоянии не менее 500 м от дороги [8].

Так как техногенные аномалии обычно содержат несколько элементов, то рассчитывались суммарные показатели загрязнения Z_c , характеризующие эффект воздействия группы элементов [9]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

где n — число учитываемых элементов.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом элементов по показателю Z_c проводится по шкале, градации которой разработаны на основе изучения состояния здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв. В соответствии с [9] к первой категории загрязнения относятся почвы с $Z_c < 16$ («допустимая»), ко второй — почвы со средним уровнем загрязнения $Z_c = 16–32$ («умеренно опасная»). Сильное загрязнение почв с $Z_c = 32–128$ («опасная»), а максимальный уровень — Z_c более 128 («чрезвычайно опасная»).

Суммарный показатель загрязнения почвы Z_c рассчитывался по девяти техногенным элементам, коэффициенты концентрации которых выше фоновых значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Во всех пробах отсутствовали такие токсичные металлы первого класса опасности, как кадмий и ртуть.

2. Суммарное загрязнение почвы тяжелыми металлами на двух перегонах с ростом расстояния от железной дороги равномерно уменьшалось (таблица 1), и почвы были отнесены к «допустимому» уровню. На участке Покровское-Стрешнево—Ленинградская рядом с Волоколамским шоссе степень загрязнения также снижалась пропорционально увеличению расстояния от железной дороги, но в районе пересечения с Московской окружной были точки забора проб на расстоянии 100 м от полотна с общим загрязнением $Z_c = 55$. Такой высокий уровень (категория «опасная») можно объяснить наличием гаражного комплекса и возможным пылением [10] при перевозках грузов по окружной железной дороге, причем в пробах превалирует содержание цинка $K_{Zn} = 40$, циркония $K_{Zr} = 8$, свинца $K_{Pb} = 10$ и серебра $K_{Ag} = 20$. На том же участке наблюдалось устойчивое

Таблица 1

Значения C (мг/кг), K_c и Z_c при различном удалении от I-го пути на двух перегонах
рижского направления железной дороги

Перегоны	Удаление от пути, м	Показатель	Содержание металла в пробах почвы									Z _c
			Ni	Cu	Pb	Cr	Zn	Co	Mo	Sn		
Покровское-Стрешнево – Ленинградская	50	K _c	1,3–2,7	0,4–2	0,75–3	0,8–1,6	1–3	1,3–2,5	1–3	1–4	5–13,7	
		C	20–40	20–100	30–120	40–80	100–300	8–15	1–3	5–20		
	100	K _c	2–3	0,4–0,6	1–2	1–1,2	1–2	1,3–1,7	1,5–3	1,6–3	4,6–10,3	
		C	30–45	20–30	40–80	50–60	100–200	8–10	1,5–3	8–15		
Красный Балтиец – Гражданская	150	K _c	2,0	0,6	0,75	1,2	1,0	1,0	2,0	3,0	8,6	
		C	30	30	30	60	100	6,0	2,0	15,0		
	50	K _c	1,3–2	1–2	1–1,5	1,2–1,6	0,8–2	1	1,5–2	0,6–1,6	6–13	
		C	20–30	50–100	40–60	60–80	80–200	6	1,5–2	3–8		
	100	K _c	1,3–2,7	1–3	0,8–2	1,2–1,6	0,6–1,5	1–1,3	1–2	0,4–1	6–13,6	
		C	20–40	50–150	32–80	60–80	60–150	6–8	1–2	2–5		
	200	K _c	1,3–2,7	0,6–1	1,25–1,5	1,2–1,6	0,6–0,8	1–1,6	1,5–2	1–2	8–12	
		C	20–40	30–50	50–60	60–80	60–80	6–9,5	1,5–2	5–10		

снижение молибдена, никеля, меди, марганца, хрома, кобальта и олова при удалении от дороги.

3. Наибольшее содержание цинка и меди при удалении на 50 м от железной дороги зафиксировано на перпендикуляре, относящемуся к отметкам 300 и 350 м от выбранной точки отсчета на железнодорожном полотне ($K_{Zn} = 20$, $K_{Cu} = 8$). Здесь максимальное загрязнение приходится

на лесную дорогу между первым и вторым прудами, которая выходит к железной дороге. Это загрязнение соотносится с сильным загрязнением почвы в ранее отобранных пробах на расстоянии 3 м от колеи железной дороги [11] на тех же отметках. Причем концентрация цинка на 100 и 150 м остается незначительной.

Рядом с Волоколамским шоссе зафиксировано постоянство в содержании хрома,





кобальта и молибдена с ростом расстояния от I-го пути. При удалении на 50 м происходило увеличение концентрации свинца, ибо здесь проходит местная грунтовая автомобильная дорога. В дальнейшем на расстоянии 100 и 150 м от железной дороги вглубь парка концентрация снижалась до фоновых значений.

4. На перегоне Красный Балтиец—Гражданская с ростом расстояния от железной дороги не было зафиксировано резкого снижения загрязнения, почва относится к «допустимой» категории. Это обусловлено повторным равномерным загрязнением при сезонном падении листвы с деревьев Тимирязевского парка, на которой адсорбированы тяжелые металлы из-за переноса пыли за летний период. Так, содержание никеля, свинца, хрома, молибдена и олова оставалось постоянным и только существенно снижалось присутствие цинка. Напротив станции Гражданская наблюдалось сначала уменьшение загрязнения, а затем на расстоянии 200 м наличие тяжелых металлов доходило до $Z_c=20$ из-за бытового загрязнения в этом месте парка ($K_{Cu}=6$; $K_{Pb}=3,8$; $K_{Zr}=5$).

Данные анализа на двух участках железной дороги на разном удалении от нее (см. также [11]) говорят о тенденции к снижению содержания тяжелых металлов пропорционально росту расстояния от рельсового полотна при отсутствии в зоне предприятий.

В целом результаты исследования свидетельствуют: давать заключение о негативном влиянии железной дороги на качество почвы в зоне городской застройки, прилегающей к полосе отвода, нельзя. Этот вывод согласуется с точкой зрения, изложенной в недавней работе [12]. В то же время известно, что уровень загрязнения почв может зависеть от многих факторов: например, вида осадков, динамики фильтрации почв при различных уклонах рельефа, эрозии при ветровой нагрузке, от пыления, россыпи и разлива перевозимых грузов и так далее.

Для уточнения данных, повторения или опровержения полученных выводов, соотнесения результатов измерений с тормозными явлениями или пылением грузов [10] необходимо выбрать перегоны с боль-

шей протяженностью, отсутствием предприятий и лесопарковых насаждений, ровной поверхностью и примерно одинаковыми уклонами, а саму область контроля следует существенно расширить.

Понятно, что подобная деятельность требует затрат, которые, однако, можно заметно снизить, например, если привлекать к исследованиям студентов-старшекурсников — будущих экологов. Работая под руководством своих преподавателей (и с участием представителей системы экологического контроля ОАО «РЖД»), они могли бы не только набраться профессионального опыта, собрать актуальный и ценный материал для своих будущих дипломных и научных работ, но и внести реальный вклад в защиту окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Птюшкин А. Н. Геоэкологические исследования химического загрязнения земельного отвода под строительство кольцевой автомобильной дороги вокруг г. Санкт-Петербург // Экология урбанизированных территорий. — 2007. — № 3. — С. 69–74.
2. Казанцев И. В., Зарубин Ю. П., Пурегин П. П. Влияние подвижного состава на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях полосы отвода железных дорог // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. — 2007. — № 2. — С. 172–179.
3. Трифонова М. О. Содержание тяжелых металлов в придорожном грунте Балаклавского проспекта // Успехи в химии и химической технологии. Том XIX. — 2005. — № 5. — С. 7–9.
4. Колесников С. Н., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. — Ростов-н/Д: Изд-во СКНЦ, 2000. — 232 с.
5. Каверина Н. В. Влияние железнодорожного транспорта на содержание тяжелых металлов в прилегающих пространствах // География, общество, окружающая среда: развитие географии в странах Центральной и Восточной Европы. — Калининград, 2001. — С. 192–193.
6. Федорова А. И. Загрязнение поверхностных горизонтов почв г. Воронежа тяжелыми металлами // Вестник Воронеж. ун-та. Серия «География и геоэкология». — 2003. — № 1. — С. 74–82.
7. Письмо министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, № 04–25/61–5678, 27 декабря 1993 г.
8. СП 11–102–97. Инженерно-экологические изыскания для строительства.
9. МУ 2.1.7.730–99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест.
10. Теплякова Е. А., Бельков В. М. Загрязнение земель инфраструктуры // Путь и путевое хозяйство. — 2013. — № 7. — С. 2–4.
11. Журавлева М. А., Зубрев Н. А., Кокин С. М. Загрязнение полосы отвода // Мир транспорта. — 2012. — № 3. — С. 112–118.
12. Бухтина Л. Г., Курина Л. И. Исследования загрязнения полосы отвода // Путь и путевое хозяйство. — 2014. — № 2. — С. 23–29. ●

CONTAMINATION OF ROADSIDE AREAS WITH HEAVY METALS

Zhuravleva, Margarita A. – senior lecturer of Russian Open Transport Academy within Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Zubrev, Nikolai I. – Ph.D. (Tech.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Kokin, Sergey M. – D. Sc. (Physics and Mathematics), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

On the basis of conducted studies the authors analyze the distribution of heavy metals in the soil of areas adjacent to railway at the example of two railway hauls in the Northern Administrative District of Moscow. Conclusions allow to reveal existing environmental regularities, assess the degree of influence of roadside pollution on the environment, evaluate peculiarities of background anomalies, and determine prospects of similar studies with regard to the task to reduce man-caused impact on the urban area.

ENGLISH SUMMARY

Background. The problem of reduction of anthropogenic impact on the environment is relevant to many countries around the world. The main pollutants are usually enterprises of chemical and metallurgical industries, as well as enterprises, extracting and processing of minerals, manufacturing construction materials, but also transport enterprises. In this regard, it is clear that it causes concern of people living in areas where such risk facilities are concentrated. In particular, in such a large metropolitan city like Moscow, environmental monitoring is of particular importance, allowing not only to evaluate the quality of the environment, but also to give recommendations on reducing man-caused impact on the urban area.

Objective. The objective of the authors is to investigate distribution of heavy metals in the soil of areas adjacent to railway at the example of two hauls in the Northern Administrative District of Moscow.

Methods. The authors use analytical method and comparison.

Results.

Factors and risk areas

Typical examples of objects that cause suspicion among environmentalists are urban roads: highways and railway lines, without which it is impossible to imagine life of any large settlement. Transport infrastructure of the city was not originally focused on the preservation of the environment and therefore worsened its condition. This is indicated by numerous publications in specialized journals and media [1, 2]. However, it is necessary to say that the severity of the problem was the impetus for a series of environmental measures, which yielded the expected environmental effect [3].

Heavy metals entering into the air along with emissions of various industries are deposited on soil, plants, living organisms and may accumulate there approaching high life-threatening concentrations. As a result of soil-forming processes they are redistributed in the soil profile, bleached and transported by groundwater [4].

The main factors that control the behavior of heavy metals in nature are their chemical and physical properties, as well as environmental conditions, in particular, alkali-acid, redox conditions,

sorption capacity of the soil, capacity of absorbing complex.

For example, soils and grounds in the areas adjacent to highways, are sustaining regular contamination with heavy metals, oil products, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), which are contained mainly in gas-dust emissions of vehicles. According to the observations out of total emissions of particulate matters, including heavy metals, approximately 25% remain on the roadway until they are washed off, and 75% are distributed on the surface of adjacent area, including road shoulders. Depending on the structural profile and the area of coverage from 25 to 50% of particulate matters get into sewage rainwater or wash water.

A similar situation is observed near railway tracks: the data [5–6] highlight this, the authors note that the concentration of heavy metals occurs mainly in the near-surface soil, and a maximum of pollution falls on territories adjacent to railway tracks within 15 m.

From this perspective, we can introduce our studies of soils adjacent to railway tracks at such distances from outer rail base, where zone of responsibility of urban services (50 m and more) begins.

Sample areas

Soil samples were collected in 2004–2008 along hauls of Riga direction of the railway in the Northern Administrative District of Moscow between the stations Krasniy Baltiets and Grazhdanskaya (length is 1,9 km), Pokrovskoe-Streshnevo and Leningradskaya (length is 1,36 km).

The first section of Krasniy Baltiets-Grazhdanskaya passes near Timiriazevsky parkland and buildings of railway use (the park is located north-east of the road). Near the station Krasniy Baltiets, on the south side there are locomotive and refrigerator depots. In the zone along the northern right-of-way from the station to the park there are garages, and there is a residential sector adjacent to southern and northwestern sectors of the haul.

The second section Pokrovskoe-Streshnevo-Leningradskaya is located along the greenbelt and ponds, from the platform Pokrovskoe-Streshnevo it is limited by Volokolamsk highway, crossing railway over the bridge (the distance between it and the platform is 50 m). Prior to Leningradskaya platform (750 m of the starting point for which we take the beginning of the platform Pokrovskoe-Streshnevo) Riga direction intersects with Moscow circular railway, which runs above the roadbed at the height of the subgrade of 5–6 m. Besides garage complex, located near the intersection of railways, there are no other enterprises along the haul.

Each soil sampling was performed at five points with «envelope» (with sides of 1 m) method at sample areas 50×50 m along the station and the railway line towards Moscow circular railway from the soil horizon (0–20 cm) at different remoteness





Table 1

The values of C (mg / kg), K_c and Z_c at different distances from the I-th track in two hauls of Riga direction of the railway

Hauls	Distance from the track, m	Indicator	The metal content in soil samples								Z _c
			Ni	Cu	Pb	Cr	Zn	Co	Mo	Sn	
Pokrovskoe-Streshnevo-Leningradskaya	50	K _c	1,3–2,7	0,4–2	0,75–3	0,8–1,6	1–3	1,3–2,5	1–3	1–4	5–13,7
		C	20–40	20–100	30–120	40–80	100–300	8–15	1–3	5–20	
	100	K _c	2–3	0,4–0,6	1–2	1–1,2	1–2	1,3–1,7	1,5–3	1,6–3	4,6–10,3
		C	30–45	20–30	40–80	50–60	100–200	8–10	1,5–3	8–15	
	150	K _c	2,0	0,6	0,75	1,2	1,0	1,0	2,0	3,0	8,6
		C	30	30	30	60	100	6,0	2,0	15,0	
Krasniy Baltiets-Grazhdanskaya	50	K _c	1,3–2	1–2	1–1,5	1,2–1,6	0,8–2	1	1,5–2	0,6–1,6	6–13
		C	20–30	50–100	40–60	60–80	80–200	6	1,5–2	3–8	
	100	K _c	1,3–2,7	1–3	0,8–2	1,2–1,6	0,6–1,5	1–1,3	1–2	0,4–1	6–13,6
		C	20–40	50–150	32–80	60–80	60–150	6–8	1–2	2–5	
	200	K _c	1,3–2,7	0,6–1	1,25–1,5	1,2–1,6	0,6–0,8	1–1,6	1,5–2	1–2	8–12
		C	20–40	30–50	50–60	60–80	60–80	6–9,5	1,5–2	5–10	

(50, 100 and 150 m) from the track from the side of the I-th track on the territory of the park complex «Pokrovskoe-Streshnevo». Since on the park territory there are three ponds, long perpendiculars of sampling deeper into the park have been attributed to the railway line marks 0, 100, 200, 300, 350, 450, 550, 650 and 700 m.

Between stations Krasniy Baltiets and Grazhdanskaya sample areas 100×50 m were used of soil horizon along the railway tracks (I track) at distances of 50, 100 and 200 m from the track on the territory of Timiryazevsky park. No sample selection was performed along the station Krasniy Baltiets due to asphaltting of near-platform territory, garage site and motor roads, located there.

Soil texture of park areas is represented mainly by gray forest soils with a constant pH = 5,5–6,8.

The samples were dried at a temperature of about +40°C, crushed, and sieved through a sieve (0,5 mm fraction). After quartering soil lots of 50 ± 0,1 g were crushed in steel ball mills to 44 microns (300 mesh). The samples were analyzed at an accredited analytical center IMGRE with atomic emission spectral method for the maintenance of a wide variety of metals. The obtained data were subjected to statistical analysis by standard techniques.

The intensity of the anthropogenic load of the soil was determined by the concentration factor K_c, which is the ratio of the element content in the studied object C (mg / kg) to its average background content. Background content refers to the presence of a chemical matter in soils of areas not suffering from anthropogenic load [7]. Samples for the background are not selected in the areas of roads, enterprises that are located along the railway tracks, i. e. they must be taken in the cleanest in terms of any contamination zones of the city. In the absence of anthropogenic load on the adjacent roadside territories determination of a background is valid at a distance of not less than 500 meters from the road [8].

Since technogenic anomalies typically contain multiple elements, total pollution indicators Z_c were calculated, characterizing the effect of impact of a group of elements [9]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

where n is a number of elements taken into account.

Assessment of hazard of soil pollution with a complex of elements in terms of Z_c is performed on a scale, gradations of which are based on the study of the health status of the population living in areas with different levels of soil contamination. According to [9] the first category of pollution comprises soils with Z_c < 16 («acceptable»), the second comprises soils with an average level of soil contamination Z_c = 16–32 («moderately dangerous»). Serious soil contamination is with Z_c = 32–128 («dangerous»), and the maximum level is Z_c over 128 («extremely dangerous»).

Total indicator of soil pollution Z_c was calculated with regard to nine man-made elements, concentration ratios of which are higher than background values.

The results of studies

1. Such toxic metals of the first hazard class as cadmium and mercuric were lacking in all samples.

2. The total soil contamination with heavy metals on two hauls with increasing distance from the railway uniformly decreased (Table 1), and soils were classified as having ecologically «acceptable» level. On the section Pokrovskoe-Streshnevo-Leningradskaya near Volokolamsk highway pollution degree also decreased in proportion to the increase in distance from the railway, but in the area of intersection with Moscow circular railway there were sampling points at a distance of 100 m from the tracks with the overall pollution Z_c = 55. Such a high level (category «dangerous») can be explained by the presence of a garage complex and possible dusting [10] during carriage of goods by circular railway, and samples contain mostly zinc content K_{zn} = 40, zirconium K_{zr} = 8, lead K_{pb} = 10 and silver K_{ag} = 20. At the same section there was a steady decline in molybdenum, nickel, copper, manganese, chromium, cobalt and tin proportionally to the distance from the road.

3. The highest content of zinc and copper at a distance of 50 meters from the railway was recorded on the perpendicular relating to marks 300 and 350 m of the starting point on the railway tracks (K_{zn} = 20, K_{cu} = 8). Here, the maximum pollution falls on a forest road between the first and second ponds, which go to the railway. This contamination is correlated with a strong pollution of soil in previously collected samples at a distance of 3 m from the railway track [11] at the same marks. Wherein the zinc concentration at 100 and 150 m remains insignificant.

Near Volokolamsk highway constancy in the content of chromium, cobalt and molybdenum is fixed

with increasing distance from the l -th path. With removing to 50 m there was an increase in lead concentration, because here goes a local unmade road. Then, at a distance of 100 and 150 m from the railway deep into the park concentration was reduced to background values.

4. At the haul Krasniy Baltiets- Grazhdanskaya with increasing distance from the railway a sharp decline in pollution was not recorded, soil refers to the «acceptable» category. This occurs due to re-uniform contamination at seasonal fall of leaves from trees of Timiryazevsky park, on which heavy metals were adsorbed due to the transport of dust over the summer period. Thus, the content of nickel, lead, chromium, molybdenum and tin remained constant, and only the presence of zinc significantly reduced. Opposite the station Grazhdanskaya first reduction of pollution was observed, and then at a distance of 200 m the presence of heavy metals reached $Z_c=20$ because of domestic pollution in the park location ($K_{cu}=6$; $K_{pb}=3,8$; $K_{zr}=5$).

Data analysis on two railway sections at different distances from it (see also [11]) indicates a downward trend in the content of heavy metals in proportion to increase in distance from the roadbed in the absence of enterprises in the area.

Conclusions. Generally, the results of the study prove: it is impossible to give an opinion about the

negative impact of the railway on the quality of the soil in the area of urban development adjacent to right-of-way. This finding is consistent with the view expressed in a recent paper [12]. At the same time, it is known that the level of soil contamination may depend on many factors such as type of precipitation, dynamics of soils filtration at various slopes of relief, erosion under wind load, on dusting, scattering and pouring of transported goods, and so on.

To verify the data, to repeat or to refute these conclusions, to correlate the results of measurements with braking events or dusting of goods [10] it is necessary to select hauls with a greater length, in the areas where there are no any enterprises and forest-park plantations, with smooth surface and approximately the same slopes, and the very control area should be significantly expanded.

It is clear that such activity is costly, which, however, can be significantly reduced, for example, if graduate students – future environmentalists are involved in the professors activity. Working under the guidance of their professors (and with the participation of representatives of the environmental management units of JSC «Russian Railways»), they could not only gain professional experience, collect relevant and valuable material for their future graduation and scientific papers, but also make a real contribution to environmental protection.

Keywords: ecology, pollution with heavy metals, railway, right-of-way, possibilities of monitoring, sample areas.

REFERENCES

1. Ptyushkin, A. N. Geoenvironmental studies of chemical contamination of land allotment for the construction of a ring road around St. Petersburg [Geoekologicheskie issledovaniya himicheskogo zagryazneniya zemel'nogo otvoda pod stroitel'stvo kol'tsevoy avtomobil'noy dorogi vokrug g.Sankt-Peterburg]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized areas], 2007, Iss.3, pp. 69–74.
2. Kazantsev, I.V., Zarubin, Yu.P., Purygin, P. P. Impact of rolling stock on the content of heavy metals in soils and plants of right-of-way of railways [Vliyaniye podvizhnogo sostava na sodержanie tyazhelykh metallov v pochvakh i rasteniyakh polosy otvoda zheleznnykh dorog]. *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya* [Herald of SamGU. Natural science series], 2007, Iss.2, pp. 172–179.
3. Trifonova, M. O. The content of heavy metals in roadside soils of Balaklavsky Avenue [Soderzhanie tyazhelykh metallov v pridorozhnom grunte Balaklavskogo prospekta]. *Uspehi v himii i himicheskoy tekhnologii. Tom XIX [Advances in chemistry and chemical technology. Volume XIX]*, 2005, Iss.5, pp. 7–9.
4. Kolesnikov, S.N., Kazeev, K. Sh., Val'kov, V. F. Environmental consequences of soil pollution by heavy metals [Ekologicheskie posledstviya zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami]. Rostov-n/D, Izd-vo SKNTs, 2000, 232 p.
5. Kaverina, N. V. Impact of rail transport on the heavy metal content in the adjacent areas [Vliyaniye zheleznodorozhnogo transporta na sodержanie tyazhelykh metallov v privileyuschiykh prostranstvakh]. *Geography, society, environment: the development of geography in the countries of Central and Eastern Europe* [Geografiya,
6. obschestvo, okruzhayushchaya sreda: razvitiye geografii v stranah Tsentral'noy i Vostochnoy Evropy]. Kaliningrad publ., 2001, pp. 192–193.
7. Fedorova, A. I. Pollution of surface horizons of soils of Voronezh with heavy metals [Zagryaznenie poverkhnostnykh gorizontov pochvy g. Voronezha tyazhelymi metallami]. *Vestnik Voronezh. un-ta. Seriya «Geografiya i geoekologiya»* [Herald of Voronezh University. A series of «Geography and Geoecology»], 2003, Iss.1, pp. 74–82.
8. Letter from the Ministry of Environment and Natural Resources of the Russian Federation, № 04–25 / 61–5678, 27 December 1993 [Pis'mo ministerstva ohrany okruzhayushchey sredy i prirodnnykh resursov RF, № 04–25/61–5678, 27 dekabrya 1993 g.].
9. SP 11-102-97 [set of instructions]. Engineering and environmental studies for the construction [Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva].
10. MU 2.1.7.730-99 [practical policies]. Hygienic assessment of soil quality in residential areas [Gigienicheskaya otsenka kachestva pochvy naseleennykh mest].
11. Teplyakova, E.A., Bel'kov, V. M. Contamination of land and infrastructure [Zagryaznenie zemel' infrastruktury]. *Put' i putevye hozaystvo*, 2013, Iss.7, pp. 2–4.
12. Zhuravleva, M.A., Zubrev, N.A., Kokin, S. M. Pollution of the Zone of Public Right-of-way (Railways). *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2012, Iss. 3., Vol.41, pp. 112–118.
13. Bukhtina, L.G., Kurina, L. I. Investigation of pollution of the right-of-way [Issledovaniya zagryazneniya polosy otvoda]. *Put' i putevye hozaystvo*, 2014, Iss.2, pp. 23–29.

Координаты авторов (contact information): Журавлева М. А. (Zhuravleva, M.A.) – crane_64@mail.ru, Зубрев Н. И. (Zubrev, N.I.) – nZubrev@mail.ru, Кокин С. М. (Kokin, S.M.) – kokin2@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 27.06.2014
Принята к публикации / article accepted 02.10.2014





Безопасность при высоких скоростях на мосту



Владимир ПОЛЯКОВ

Vladimir Yu. POLYAKOV

В статье рассматривается проблема устойчивого движения колес подвижного состава ВСМ в зоне мостового перехода при скоростях до 350 км/ч. Обосновывается применение математической модели, учитывающей в качестве элементов системы подвижной состав, верхнее строение пути, пролетные строения и примыкающий путь на земляном полотне. Показано, что на высокоскоростной железнодорожной магистрали особо необходим комплексный подход к конструкциям как мостовых пролетных строений, так и верхнего строения пути для обеспечения безопасности движения и сохранения динамических свойств инженерных сооружений и используемой техники.

Ключевые слова: железная дорога, поезд ВСМ, мост, пролетные строения, земляное полотно, безопасность движения, математическая модель, инженерный расчет.

Поляков Владимир Юрьевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Мосты и тоннели» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Усилие взаимодействия колеса и рельса является важным показателем безопасности движения. При недостаточном вертикальном усилии прижатия колеса к рельсу возможно вкатывание гребня колеса на головку рельса под действием боковых сил, что чревато сходом колеса с рельса. При высоких скоростях движения это приведет к крушению с тяжелыми последствиями, особенно в зоне моста.

В исследованиях, посвященных мостовым колебаниям пролетных строений, применяется сравнительно простая модель, в которой представлены экипажи и балки пролетных конструкций. Такая модель применяется до сих пор [6] и ее использование при исследовании колебаний пролетных строений можно считать оправданным. Однако отсутствие в модели рельса делает невозможным изучение устойчивости движения колеса и оценку транспортной безопасности. Поэтому в МИИТ была разработана подробная математическая модель, включающая балочные пролетные строения, верхнее строение пути, экипажи с двухступенчатым подвешиванием (система МПЭ) [1,2,3].

Оценка безопасности движения по въезду гребня колеса на рельс предлагается в [1] на основе [4]. Согласно последней

Таблица 1

Экстремальные значения усилий между колесом и рельсом при проходе через однопролетный мост, кН

Вагон №	1	2	3	4	5	6
Пролетное строение EJ=4						
Rmin	34,5	20,6	15,9	18,4	17,3	31,5
Rmax	116,2	133,0	139,1	161,7	184,4	161,3
Пролетное строение EJ=10						
Rmin	44,3	32,2	17,5	15,5	21,8	27,7
Rmax	115,9	147,7	142,7	148,2	157,2	196,8

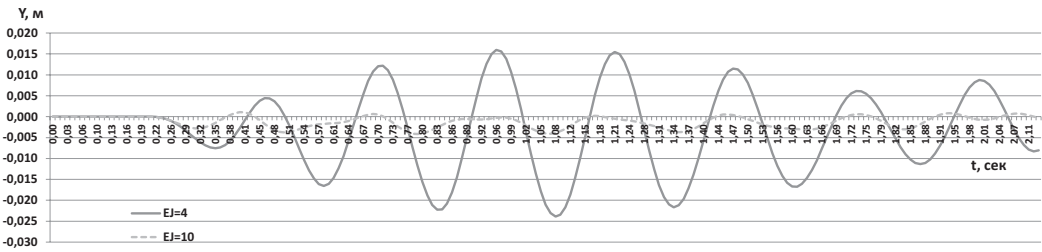


Рис. 1. Колебания середины пролетного строения 18 м при разной жесткости и скорости 97 м/с.

работе соотношение усилий вертикального и горизонтального взаимодействия колеса и рельса с точки зрения устойчивости должно рассматриваться с учетом времени неблагоприятного сочетания этих усилий, а также других факторов. Установлено [4], что для локомотивов при отношении поперечной силы к вертикальной менее 1,48 безопасность движения обеспечивается независимо от длительности действия неблагоприятного сочетания; показатель более 9,56 означает, что безопасность не обеспечивается при сколь угодно малом времени действия неблагоприятного сочетания. В [1] показано, что та же безопасность, например, для подвижного состава ЭПС-2, возможна при значении вертикальной силы не менее 56,25 кН независимо от времени действия. При вертикальном усилии менее 23,814 кН сход колеса с рельса неизбежен.

Общепризнано, что увеличение жесткости пролетных строений, ведущее к снижению их прогибов под нагрузкой, положительно сказывается на взаимодействии подвижного состава и пути (как верхнего, так и нижнего пролетных строений). На рис. 1, где представлены результаты численных экспериментов прохождения 6-вагонного высокоскоростного поезда через однопролетный мост, видно, что при увеличении коэффициента жесткости пролетного строения в 2,5 раза (коэффициент

жесткости увеличен с 4 до 10) динамические прогибы уменьшаются с 24 мм ($L/750$) до 4,2 мм ($L/4300$).

Собственные частоты первой формы колебаний балочных пролетных строений длиной 18–33 м составляют 4–10 Гц [5], кузова экипажа – 2–3,5 Гц [4], частота возбуждения колебаний достигает 3,8 Гц (при длине экипажа 26 м и скорости 97 м/с). Для одного блока типового пролетного строения длиной 18 м коэффициент жесткости, т. е. произведение модуля упругости на приведенный момент инерции без экспоненциальной части, $EJ=4$ и первая собственная частота составит 4,3 Гц – этот вариант рассматривается как базовый для сравнения. Аналогичное пролетное строение с $EJ=10$ имеет первую собственную частоту 6,8 Гц.

Колебания середины пролетного строения различной жесткости при проходе состава из 6 вагонов со скоростью 97 м/с показаны на рис. 1. Как можно заметить, увеличение жесткости пролетного строения привело к повышению частоты первой формы собственных колебаний, удалению режима колебаний от резонансной зоны амплитудно-частотной характеристики пролетного строения и снижению амплитуды колебаний. Означает ли это повышение безопасности движения?

Рассмотрим условия безопасности движения различных экипажей. В таблице 1



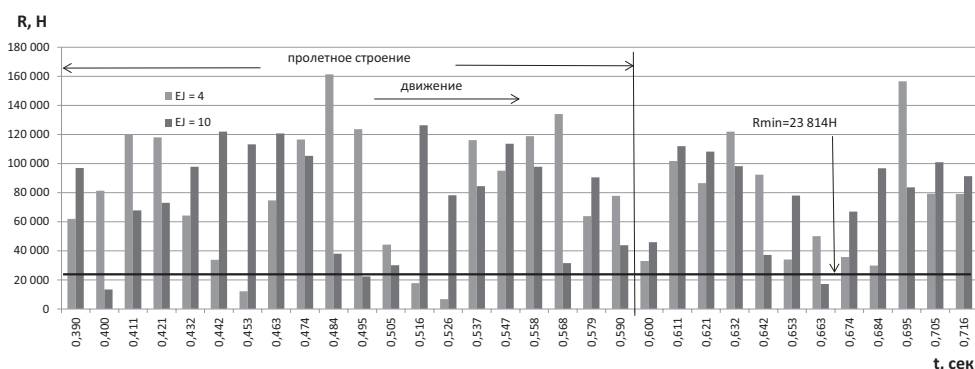


Рис. 2. Усилие в контакте колеса и рельса при разной жесткости балок.

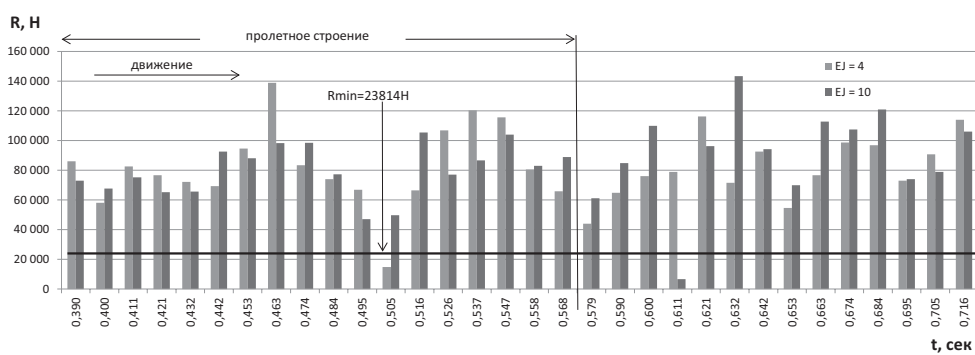


Рис. 3. Усилие в контакте колеса и рельса при разной жесткости балки моста в месте устройства контррельса.

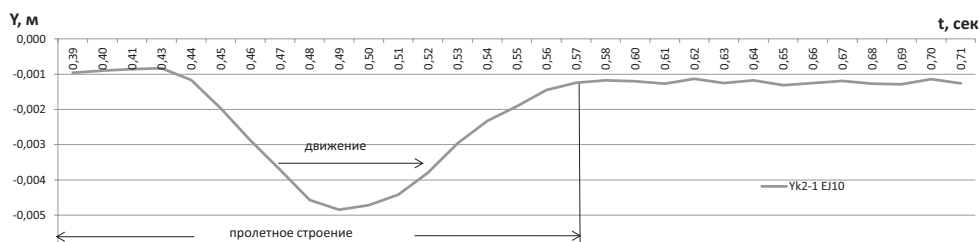


Рис. 4. Колебания колеса №2 при проходе через мост.

представлены данные о максимальных и минимальных значениях вертикального усилия между колесом и рельсом для отдельных единиц состава из 6 вагонов, а на рис. 2 — усилие в контакте одного из колес с рельсом.

Как видно из таблицы, условия безопасности, сформулированные в начале статьи, не соблюдаются для 2—5 вагонов при пролетном строении $EJ=4$ и 3—5 вагонов при пролетном строении $EJ=10$, поскольку усилие между колесом и рельсом оказывается ниже 23,814 кН.

Таким образом, ужесточение норм прогибов пролетных строений само по себе не дает положительного эффекта в смысле безопасности движения. Решение проблемы следует искать в привлечении комплексных динамических параметров пролетных строений и верхнего строения пути.

В [1] разработана теория оптимального управления динамическими процессами с помощью стационарных функций изменения параметров пути по длине моста. Локальное изменение жесткости рельсовой

Таблица 2

Экстремальные значения усилий между колесом и рельсом при проходе через однопролетный мост с ездой по балласту, кН

Вагон №	1	2	3	4	5	6
Базовый вариант						
Rmin	34,5	20,6	15,9	18,4	17,3	31,5
Rmax	116,2	133,0	139,1	161,7	184,4	161,3
Вариант с контррельсом						
Rmin	47,8	29,4	32,0	38,2	31,7	19,3
Rmax	118,8	119,6	125,0	135,9	138,5	139,7



плети является примером такого управления. Технически увеличение жесткости рельсовой плети достигается установкой контррельсов, имеющих жесткое скрепление со шпалами. При этом в необходимых местах изгибная жесткость контррельса может быть нулевой, если нет стыков.

Применение контррельсов значительно улучшает устойчивость колеса на рельсе (таблица 2). Однако полностью решить проблему безопасности не удастся: для шестого вагона вертикальное усилие взаимодействия колеса и рельса недостаточно, чтобы предотвратить подъем гребня колеса на рельс, ибо оно менее 23,814 кН.

Рис. 3 и 4 иллюстрируют усилия в контакте одного из колес с рельсом при разной жесткости пролетного строения и колебания колеса при проходе через мост с коэффициентом жесткости балки $EJ=10$. Из рис. 3 явствует, что увеличение жесткости пролетного строения заметно уменьшает изменчивость усилия в контакте колеса и рельса, хотя в обоих случаях имеются по одному интервалу времени до 0,01 с, когда нарушаются условия безопасности. Сравнение с рис. 2, где нарушение условий безопасности носит неоднократный характер на интервале до 0,02 с, показывает, что предложенная мера значительно улучшает взаимодействие колеса и рельса.

Рис. 4 демонстрирует устойчивость методов численных экспериментов. Видно, что колебания колеса носят затухающий характер. Заметно также, что при входе на пролетное строение на интервале 0,39–0,44 с подъем колеса (значения Y менее 1 мм) обусловлен фазой колебаний пролетного строения (см. рис. 1 на этом же интервале).

Приведенные результаты свидетельствуют, что решение проблемы безопасности высокоскоростного движения может быть достигнуто совместной оптимизацией динамических свойств как пролетных строений, так и верхнего строения пути.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков В. Ю. Взаимодействие подвижного состава с элементами мостового перехода при высокоскоростном движении/ Дис... док. техн. наук. – М., 1994. – 395 с.

2. Носарев А. В., Поляков В. Ю. Численное моделирование колебаний в системе «мост-путь-экипаж» // Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 863. / МИИТ. – М., 1992. – С. 3–10.

3. Поляков В. Ю., Жуков К. А. Моделирование колебаний в системе «мост-путь-экипаж» // Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 870. / МИИТ. – М., 1991. – С. 57–65.

4. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.

5. Динамика железнодорожных мостов/ Н. Г. Бондарь, И. И. Казей, Б. Ф. Лесохин, Ю. Г. Козьмин. – М.: Транспорт, 1965. – 412 с.

6. Иванченко И. И. К формированию норм для мостов на высокоскоростных магистралях железных дорог // Транспортное строительство. – № 1. – 2014. – С. 22–25.



SAFETY ON A BRIDGE AT HIGH SPEEDS

Polyakov, Vladimir Yu. – D. Sc. (Tech.), professor at the department of Bridges and tunnels of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article investigates a problem of steady movement of wheels of rolling stock of high-speed rail in the area of bridge crossing at speeds up to 350 km/h. The author justifies the use of a mathematical model that considers as elements the rolling stock, track superstructure, spans and adjoining track on the roadbed. It is shown that high-speed rail specifically requires an integrated approach to structures of both bridge spans, and track superstructure to ensure the safety and preservation of the dynamic properties of engineering structures and the machinery used.

ENGLISH SUMMARY

Background. Force of interaction between wheel and rail is an important indicator of traffic safety. When there is an insufficient vertical force pressing the wheel to the rail wheel flange may roll in the rail head under the influence of lateral forces, which can result in derailling. At high speeds it will lead to the collapse with severe consequences, especially in the area of the bridge.

In studies of bridge spans fluctuations, a relatively simple model is used, which presents vehicles and beams of span structures. Such a model is still used [6] and its application to the study of oscillations of superstructures could be justified. However, the absence of a rail in the model makes it impossible to study the stability of the wheel movement and the evaluation of transport safety. Therefore, MIIT University has developed a detailed mathematical model that includes beam spans, track superstructure, vehicles with two-level springing (BTV system) [1, 2, 3].

Objective. The objective of the author is to investigate a problem of steady movement of wheels of rolling stock of high-speed rail in the area of bridge crossing at speeds up to 350 km/h.

Methods. The author uses analysis, mathematical modeling, descriptive method, numerical experiment, and comparison.

Results. Evaluation of safety of entering of the wheel flange on the rail is proposed in [1], based on [4]. According to the latest work force ratio of vertical and horizontal wheel and rail interaction determining the sustainability of the wheel on the rail must be considered with account of the time of unfavorable combination of these forces, as well as other factors. It is established [4] that for locomotives at a ratio of lateral force to vertical of less than 1,48 traffic safety is ensured, regardless of the duration of unfavorable combination; index over 9,56 means that the safety is not provided in case of an arbitrarily small duration of unfavorable combination. In [1] it is shown that the

same safety, for example, for rolling stock EPS-2, is available at the value of the vertical force of not less than 56,25 kN, regardless of the exposure duration. If a vertical force is less than 23,814 kN derailling is inevitable.

It is generally accepted that an increase in the rigidity of superstructures, leading to a decrease in their deflections under load, has a positive effect on the interaction of rolling stock and track (both upper and lower superstructures). Pic. 1, which demonstrates the results of numerical experiments of passage of 6-car high-speed train through the single-span bridge, clearly shows that by increasing the stiffness factor of the span by 2,5 times (stiffness factor has been increased from 4 to 10) dynamic deflections are reduced from 24 mm ($L/750$) to 4,2 mm ($L/4300$).

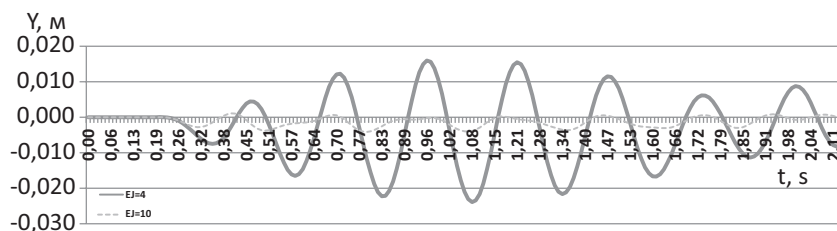
The natural frequencies of the first vibration modes for the beam spans with the length of 18–33 m are 4–10 Hz [5], for the vehicle body they are 2–3,5 Hz [4], the excitation frequency of the oscillations reaches 3,8 Hz (with a vehicle length of 26 m and speed of 97 m/s). For one block of a model span with a length of 18 m stiffness factor, i. e. the product of the modulus of elasticity for the reduced moment of inertia without exponent, is $EJ = 4$ and the first natural frequency will be 4,3 Hz – this option is considered as the base for comparison. A similar span with $EJ = 10$ has the first natural frequency of 6, 8 Hz.

Fluctuations in the middle of the span of different stiffness in case of the passage of 6 cars at a speed of 97 m/s are shown in Pic. 1. As it can be noted, the increase in stiffness of the superstructure has led to an increase in the frequency of natural oscillations of the first form, the removal of the mode of oscillations from the resonance zone of amplitude-frequency characteristics of the superstructure and reduction of the oscillations amplitude. Does it mean an increase in safety?

We consider safety conditions for different vehicles. Table 1 presents maximum and minimum values of the vertical force between wheel and rail for individual units of a train, consisting of 6 cars, and Pic. 2 shows force in the contact of one of the wheels with the rail.

As it can be seen from the table, safety conditions set forth in this article, are not observed for 2–5 cars at span $EJ = 4$ and 3–5 cars at span $EJ = 10$, since the force between wheel and rail is below 23,814 kN.

Thus, tightening deflections standards of superstructures does not give a positive effect in terms of traffic safety. Solution should be sought in together in complex dynamical parameters and track superstructures.



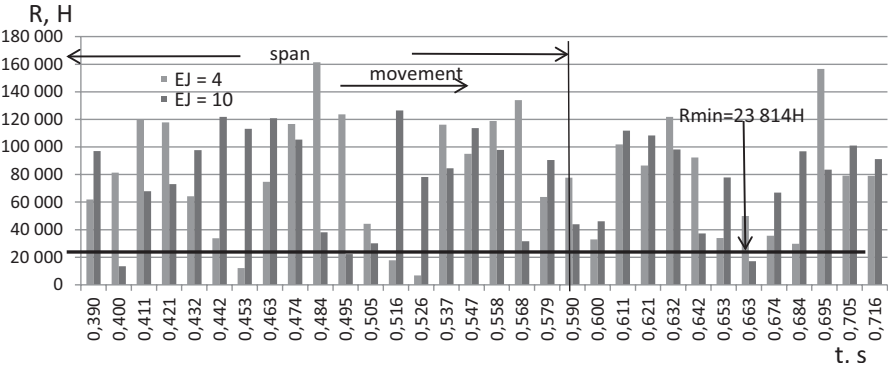
Pic. 1. Fluctuations in the middle of the span of different stiffness in case of the passage of 6 cars at a speed of 97 m/s.

Table 1
Extreme values of forces between wheel and rail when passing through a single-span bridge, kN

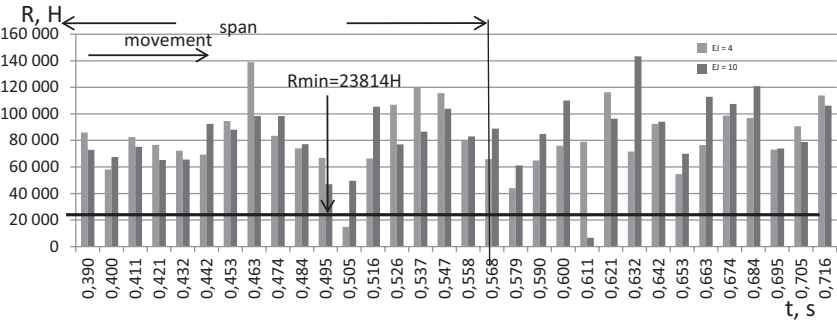
Car №	1	2	3	4	5	6
Superstructure EJ=4						
Rmin	34,5	20,6	15,9	18,4	17,3	31,5
Rmax	116,2	133,0	139,1	161,7	184,4	161,3
Superstructure EJ=10						
Rmin	44,3	32,2	17,5	15,5	21,8	27,7
Rmax	115,9	147,7	142,7	148,2	157,2	196,8

Table 2
Extreme values of forces between wheel and rail when passing through a single-span bridge with a ride on the ballast, kN

Car №	1	2	3	4	5	6
Base version						
Rmin	34,5	20,6	15,9	18,4	17,3	31,5
Rmax	116,2	133,0	139,1	161,7	184,4	161,3
Version with a check rail						
Rmin	47,8	29,4	32,0	38,2	31,7	19,3
Rmax	118,8	119,6	125,0	135,9	138,5	139,7



Pic. 2. Force in the contact area of one of the wheels with the rail if the stiffness of bridge girders differs.



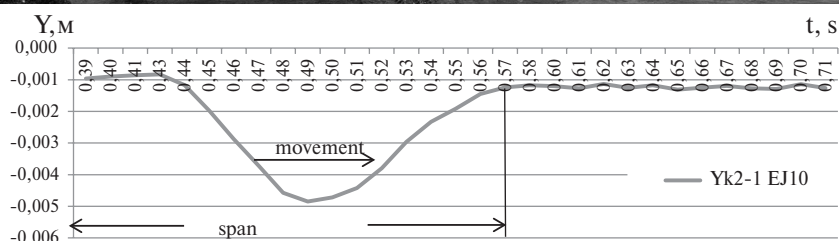
Pic.3. Force in the contact area of the wheel and the rail in around the flange rail if stiffness of bridge girders differs.

In [1] the authors developed a theory of optimal control of dynamic processes by means of fixed options for changing track parameters along the length of the bridge. Local change in stiffness of a rail bar is an example of such a control. Technically stiffening of a rail bar is achieved by setting check rails having

a hard clamp to sleepers. In the required places the flexural rigidity of a check rail may be zero if there are no joints of check rails.

Application of check rails significantly improves stability of a wheel on a rail (Table 2). However, it is impossible to completely solve the problem of safety:





Pic. 4. Oscillations of the wheel №2 while passing the bridge.

for the sixth car vertical force of interaction between wheel and rail is not enough to prevent the rise of the wheel flange on the rail, because it is less than 23,814 kN.

Pic. 3 and 4 illustrate forces in the contact of one of wheels with the rail regarding different stiffness of the superstructure and the wheel oscillations during passage through the bridge with the beam stiffness $EJ = 10$. See Pic. 3 it is clear that increase in the stiffness of the span significantly reduces the variability of the force in the contact of a wheel and a rail, although in both cases there is one time interval of 0,01 seconds when safety conditions are violated. Comparison with Pic. 2, where the violation of safety

conditions is repeated in the interval to 0,02 seconds, shows that the proposed measure improves the interaction of the wheel and the rail.

Pic. 4 shows the stability of methods of numerical experiments; wheel oscillations die out. It is also notable that when entering the superstructure within the time interval of 0,39–0,44 s wheel lifting (Y values are less than 1 mm) occurs due to the phase of the oscillation of the superstructure (see fragment of Pic. 1 for on the same interval).

Conclusion. The described results prove that the solution of the high-speed traffic safety problem can be achieved by the joint optimization of dynamic properties of both bridge spans and track superstructure.

Keywords: railway, high-speed rail trains, bridge spans, roadbed, traffic safety, mathematical model, engineering calculation.

REFERENCES

1. Polyakov, V. Yu. The interaction of rolling stock with elements of a bridge at high speed movement. D. Sc. (Tech.) thesis. [*Vzaimodeystvie podvizhnogo sostava s elementami mostovogo perekhoda pri vysokoskorostnom dvizhenii. Dis... dok. tehn. nauk*]. Moscow, 1994, 395 p.
2. Nosarev, A. V., Polyakov, V. Yu. Numerical simulation of oscillations in the system «bridge-track-vehicle» [*Chislennoe modelirovanie kolebaniy v sisteme «most-put'-ekipazh»*]. Intercollege collection of scientific works. Iss. 863. MIIT, Moscow, 1992, pp. 3–10.
3. Polyakov, V. Yu., Zhukov, K. A. Modeling of fluctuations in the system «bridge-track-vehicle» [*Modelirovanie kolebaniy v sisteme «most-put'-ekipazh»*]. Intercollege collection of scientific works. Iss. 870. MIIT, Moscow, 1991, pp. 57–65.
4. Verigo, M. F., Kogan, A. Ya. Interaction of track and rolling stock [*Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava*]. Moscow, Transport publ., 1986, 559 p.
5. Bondar, N. G., Kazey, I. I., Lesohin, B. F., Kozmin, Yu. G. Dynamics of railway bridges [*Dinamika zheleznodorozhnyh mostov*]. Moscow, Transport publ., 1965, 412 p.
6. Ivanchenko, I. I. Towards formation of standards for bridges on high-speed railway lines [*K formirovaniyu norm dlya mostov na vysokoskorostnyh magistralyakh zheleznih dorog*]. *Transportnoe stroitel'stvo*, Iss 1, 2014, pp. 22–25.

Координаты автора (contact information): Поляков В. Ю. (Polyakov, V. Yu.) – pvy55@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 23.06.2014 (07.10.2014)
Принята к публикации / article accepted 15.10.2014



КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ 190

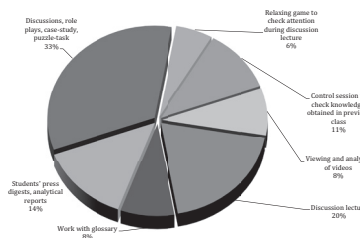
Растет спрос на инженерные знания.

ЭКСПРЕСС- ИНФОРМАЦИЯ 201

Возьмите в дорогу тахограф!

ВЫЗОВЫ ВРЕМЕНИ 204

Безбарьерный профессионализм.



ЭКСПРЕСС- ИНФОРМАЦИЯ 210

Каникулы на колесах.

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • EDUCATION, TRAINING AND PERSONNEL



EDUCATION QUALITY 190

Growing demand for engineering knowledge and skills.

EXPRESS INFORMATION 201

Don't forget to take your tachograph!

CHALLENGES OF THE TIME 204

Barrier-free professional environment.

EXPRESS INFORMATION 210

Vacation on wheels.





Университетский ресурс в инновационном цикле



Борис ЛЁВИН

Boris A. LIEVIN

Дается оценка современному состоянию российской системы транспортного образования, при этом автор касается истории (генезиса) отечественной высшей школы инженеров путей сообщения, формулирует суть интегральной миссии транспортных университетов на этапе рыночных преобразований. Особое внимание в статье уделено качеству подготовки студентов, формированию профессиональных компетенций у будущего специалиста, роли отраслевых университетских комплексов в инновационном цикле, совокупной научно-исследовательской и образовательной деятельности вузовских ученых и преподавателей.

Ключевые слова: система высшего профессионального образования, университет, транспорт, стратегия развития, качество инженерного образования, компетенции, инновационный цикл, международное сотрудничество, интеграция ресурсов.

Лёвин Борис Алексеевич — доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), президент Ассоциации вузов транспорта России.

Наиболее характерными чертами российского транспортного образования являются системная взаимосвязь с развитием отрасли, четкая ориентация на интересы работодателей, опережающий характер формирования образовательной инфраструктуры и обеспечение непрерывного образования на всех уровнях. Это верно для условий и потребностей любого вида транспорта — автомобильного, авиационного, водного (речного и морского), железнодорожного. Однако с точки зрения хронологии событий и решаемых задач каждый из них и его кадровое обеспечение имеют собственные ключевые точки.

ГЕНЕЗИС ТРАНСПОРТНЫХ ВУЗОВ

Создание системы подготовки кадров для железных дорог опережало их строительство, о чем свидетельствуют время и география создания вузов. Первый вуз, положивший начало специализированной подготовке кадров для железных дорог, открыт в 1809 году, еще до строительства первой железной дороги в Санкт-Петербурге, и довольно долго один обеспечивал потребности всей страны. По мере развития железных дорог в Европейской части и в первую очередь для кадрового обеспечения Транссиба был со-

здан вуз в Москве — нынешний МИИТ, а также начата подготовка студентов в Томске на факультете технологического института. Расширение сети железных дорог потребовало подготовки специалистов для Юга России (Ростов-на-Дону), Дальнего Востока (Хабаровск), а также появления новых вузов в Сибири: в Томске (позднее переведен в Омск) и Новосибирске.

Позднее в в районах с наиболее плотной железнодорожной инфраструктурой и местах пролегания евроазиатской магистрали шло создание дополнительных образовательных центров, усиливающих эту сеть (Екатеринбург, Самара, Иркутск). Открытием в 1975 году Иркутского государственного университета путей сообщения, по сути, завершилось продолжавшееся почти 170 лет становление железнодорожных вузов. При этом ключевым элементом отраслевой образовательной системы постоянно оставалась подготовка именно инженеров путей сообщения.

В истории транспортного образования проходили неоднократные слияния вузов и факультетов (включая работавшие в сфере водного, автомобильного, электрического транспорта), а также обратные процессы, приводившие к появлению институтов, ориентированных на отдельный вид транспорта.

Отраслевая специализация учебных заведений превалировала в железнодорожной отрасли, что и сохраняется до сих пор. Вузы железнодорожного транспорта поэтапно переходили от решения задач индустриализации и массовой подготовки инженеров к комплексным задачам развития фундаментального инженерного образования, подготовки специалистов-инженеров для новых сфер техники и технологий (информационных, строительных, связи, экологии, безопасности). При этом вузовские организации существовали в составе министерства путей сообщения.

В 2003 году после завершения хозяйственной деятельности МПС и создания ОАО «РЖД» отраслевой учебный комплекс высшего и среднего профессионального образования сохранил ведомственную принадлежность в лице учредителя — Федерального агентства железнодорожного транспорта. Тем не менее теперь стало можно говорить об отраслевом транспортном образовании в широком смысле (как подготовке специалистов всех видов транспорта) и в узком понимании

(как деятельности подведомственных соответствующему федеральному агентству — Росжелдору, Роавиации, Росморречфлоту, а также корпоративных образовательных организаций).

С целью сохранения необходимых объемов и повышения качества подготовки технических специалистов со средним образованием в 2009 году состоялся акт передачи бывших техникумов в структуру вузов в качестве филиалов, и таким образом произошел процесс преобразования головных университетов в вертикально интегрированные университетские комплексы. Эти укрупненные структуры смогли обеспечить подготовку по программам среднего профессионального, высшего и дополнительного профессионального образования, равно как и обучение рабочим профессиям, школьное образование и довузовскую подготовку [напр., 5].

В рамках горизонтальной интеграции в состав МИИТ вошли Российская открытая академия транспорта и Юридический институт (бывший институт защиты предпринимателя). Одновременно вузы внедрили принципы Болонской системы и начали организацию бакалавриата и магистратуры. При этом с учетом мнения работодателей, высказавшихся за сохранение специалитета, практически в полном объеме оставлены образовательные программы по ведущим инженерным направлениям (например, четырем укрупненным группам железнодорожных специальностей).

В приближении к 2020-м происходит существенное изменение внешних условий, а с ними возникают и новые задачи в сфере подготовки персонала, к которым система отраслевого образования обязана готовиться заранее и уже сейчас учиться работать на опережение.

Такая ответственная миссия предполагает реализацию целого ряда направлений фундаментальных и прикладных научных исследований, стимулирование разработки и внедрения инновационных программ.

На прошедшем недавно втором Форуме транспортного образования эту миссию министр транспорта и другие участники встречи определили однозначно: отраслевой образовательной системе, основой которой всегда оставалась инженерная подготовка, надо сосредоточиться на выполнении главной за-



дачи дня — создании прорывных технологий, причем максимально консолидироваться на этом направлении с ведущими научно-исследовательскими центрами и организациями соответствующего профиля.

Иначе говоря, ситуация требует от транспортных университетов:

- непрерывной генерации новых знаний и включения их в образовательный процесс;
- реализации всех стадий непрерывного образования, имея в виду подготовку, переподготовку и повышение квалификации работников транспорта, освоение новых перспективных компетенций по широкому спектру востребованных бизнесом и обществом квалификаций;
- системной интеграции достижений транспортной науки и отраслевого образования на пространстве СНГ и в ходе сотрудничества с ведущими мировыми университетами, компаниями и организациями транспорта.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Миссия транспортных университетов не может быть реализована в отрыве от постоянного взаимодействия с работодателями, сверки количественных и квалификационных потребностей. Это своего рода пункт входа в систему транспортного образования, обеспечивающий ее последующее качество. Ключевой пункт на выходе процесса, по нашему мнению, также мнение работодателей. Важна практическая оценка того, насколько выпускник востребован, насколько его знания и компетенции современны и каковы у него «запас прочности», насколько полученное в вузе обеспечивает потенциал его профессионального роста на обозримую перспективу.

В этом плане независимая оценка качества подготовки представляется в большей мере связанной с соотнесением мотивированных ожиданий работодателей от выпускников, чем с результатами неких усредненных тестов или замеров. Такие формы уже развиваются — это включение представителей работодателей в состав государственных аттестационных комиссий, профессионально-общественная аттестация образовательных программ. На очереди построение единой системы оценки квалификации на протяжении всей трудовой карьеры инженера с момента поступления в вуз.

Вузы располагают системами промежуточной оценки знаний, некоторые компании ведут своего рода «портфолио» обучающихся на основе договоров о целевом обучении. Планами развития образования предусмотрено создание центров оценки квалификации. В ряде бизнес-структур действует система оценки компетенций принимаемых на работу выпускников, разветвленная система оценок профессиональных и корпоративных компетенций в ходе трудовой карьеры. Эта проблема не новая, особенно для корпоративных систем обучения за рубежом [см., напр., 2]. Она состоит в том, чтобы была выстроена единая, адаптированная под российские условия система, позволяющая объединить все звенья пока разрозненной цепочки, обеспечить постоянную обратную связь. Ведь цель оценки качества образования — не в констатации текущего его состояния, а в постоянном совершенствовании как личных компетенций студента или работника, так и методологии обучения.

Но если постановка задач на входе определяет стратегию развития инженерного образования, а оценка на выходе — конечный результат с точки зрения качества, то само формирование качества происходит большей частью непосредственно в рамках образовательного процесса.

Принципиальные требования к качеству подготовки инженеров транспортной отрасли обусловлены технологическими условиями реализации перевозочного процесса как комплекса системно взаимосвязанных технологий. К ним относятся:

- сочетание фундаментальной инженерной подготовки с получением практических навыков (от освоения рабочей профессии до реально применяемых на транспорте технологий), что диктует в том числе и необходимость сохранения 5-летней программы подготовки инженеров в рамках специалитета;
- обусловленное едиными технологиями межуровневое согласование содержания учебных программ среднего профессионального и высшего образования;
- потребность в концентрации при вузах узкодисциплинарного профессорско-преподавательского состава;
- наличие дорогостоящего учебно-лабораторного оборудования, действующих моде-

лей, применяемых обычно только в отдельных отраслевых службах;

— приближение мест подготовки к местам деятельности транспортных компаний, в том числе для обеспечения возможности проведения практических занятий, использования реально применяемого оборудования, техники, участия в обучении действующих профессионалов отрасли;

— закрепление выпускников на линейных предприятиях;

— поддержание специальных требований к учащимся, обусловленных условиями безопасности перевозочного процесса, охраны труда и здоровья.

Одним из наиболее дискуссионных вопросов, что подтвердил и Форум транспортного образования, остается подготовка специалистов экономического, управленческого и юридического профиля с четко выраженной транспортной специализацией. На первый взгляд, складывается простая дилемма: или доучивать на производстве некоего универсального экономиста, юриста, окончившего неотраслевой вуз, или заведомо готовить его в отраслевом вузе.

Работодатели предпочитают во многих случаях специалистов с изначальной транспортной специализацией. Они обучаются в транспортной среде, представляют себе транспортный процесс во всех его технологических и организационных аспектах и, что немаловажно, приобщаются к профессиональной культуре транспортного сообщества, в том числе к корпоративным компетенциям, если речь идет о целевом приеме. Но, видимо, все же здесь дилеммы быть не должно. Ответ на вопрос, что лучше, должен лежать не в плоскости правомерности подготовки в транспортных вузах специалистов вроде бы не транспортного профиля, а в плоскости обеспечения качества их подготовки, оценки ожидаемой пользы, в первую очередь с точки зрения профессионально-общественного сообщества. Выбор опять же за работодателем, однако право транспортных вузов осуществлять подобные учебные программы не может искусственно ограничиваться или лимитироваться.

Находимся ли мы тут в русле мировых тенденций? В области подготовки для воздушного транспорта (кроме обучения собственно пилотов) и экипажей судов морского и речного транспорта опыт организации образова-

ния базируется на международных конвенциях и не имеет особых межстрановых различий. В сфере автодорожного, железнодорожного транспорта и прежде всего подготовки специалистов по эксплуатации мультимодальных, сетевых транспортных систем опыт более разнообразен. Специализированное отраслевое образование традиционно развито в имеющих крупные транспортные системы странах Азии (КНР, Вьетнам, Южная Корея, Казахстан, Индия). В целом ряде западноевропейских стран этот тренд характерен для уровня магистратуры.

В последние годы прослеживается стремление к расширению или возрождению специализированной транспортной инженерной подготовки и аналога нашего среднего профессионального образования (Германия, Испания, Франция, Италия, Нидерланды, Австрия, Чехия, Польша, Румыния, Болгария и другие страны). Свидетельство тому — возникновение, в частности, новых железнодорожных факультетов в странах ЕС, заинтересованность в создании совместных программ, в том числе и с МИИТ.

Это обусловлено сравнением: налицо эффективность изначально специализированной подготовки и неэффективность адаптации инженера с общей подготовкой к железнодорожному производству, которая занимает более года.

Опережающая динамика формирования компетенций обучающихся диктуется прогнозом развития железнодорожной отрасли. Для достижения ставящихся целей необходимо решение ряда взаимосвязанных задач в сфере подготовки кадров.

Должен быть совершен переход от подготовки специалистов, владеющих технологиями сегодняшнего дня (что приводит к фактическому отставанию компетенций в силу разрыва между временем обучения и трудоустройством), к формированию поколения специалистов, способных оперативно адаптироваться к появлению новых технологий, а затем и самостоятельно их совершенствовать за счет своего потенциала саморазвития.

По сути, требуется переход от улучшающих инноваций к прорывным, что в условиях железнодорожного транспорта является и возвращением к традициям инженерного дела начала эпохи железных дорог, когда инженеры в первую очередь становились конструкторами и творцами техники и инфра-



структуры, а только затем — ее эксплуатантами. Это задача максимум, которая будет реализована в отношении наиболее успешных выпускников. Задача минимум — создание достаточного потенциала саморазвития на фундаменте университетских знаний, который позволял бы всем выпускникам быстрее и лучше адаптироваться к современным технологиям.

Вектор развития инженерного образования с транспортной спецификой во многом совпадает с общими стратегическими задачами национального высшего образования. И эти совпадающие проекции следует считать несомненными равнодействующими приоритетами:

— совершенствование подходов к реализации образовательных программ (достижение оптимального с точки зрения традиционных партнеров и рыночных условий баланса развития новых уровней и направлений подготовки, формирование модульных и дополнительных курсов, создание локальных лабораторий и центров, сетевые формы обучения; включение в образовательные программы и производственную практику подготовку студентов к рабочим профессиям; внедрение интерактивных, цифровых методов обучения; индивидуализация учебных планов под запросы обучающегося и его потенциальных работодателей и т. д.);

— повышение готовности студентов к практической деятельности (участие совместно с будущими работодателями в формировании профессиональных стандартов, реализация и корректировка (актуализация) учебных планов и программ с учетом мнения работодателей; профессионально-общественная аттестация вузов и программ; центры оценки квалификации; сетевые формы; создание базовых кафедр на производстве; развитие отраслевых лабораторий, научно-образовательных центров, инновационных хозяйственных обществ; наращивание практических компетенций выпускников за счет специальных форм обучения и др.);

— оптимизация организационно-правовой формы вузов и совершенствование менеджмента (развитие института попечительских (наблюдательных) советов, эндаументов и сопряженных с ними оргструктур; меры по воспроизводству профессорско-преподавательского состава, устранению возрастных диспропорций; совершенствование структу-

ры управления; мониторинг и выполнение задач по поддержанию конкурентоспособного уровня заработной платы);

— академическое и международное взаимодействие (сетевые коммуникации, реализация совместных образовательных программ с ведущими российскими и зарубежными вузами; рост числа и доли студентов из других стран и приглашенных преподавателей, привлечение к выполнению научных работ ведущих зарубежных ученых; интенсификация программ академической мобильности преподавателей и студентов; присоединение к деятельности международных университетских и профессиональных ассоциаций; участие в международных отраслевых организациях (повышение роли преподавателей и ученых университетов как экспертов);

— развитие системы содействия трудоустройству в отрасли (создание центров трудоустройства в вузах и прохождение практики всеми старшекурсниками и выпускниками; профессиональное тестирование и сертификация; разработка надежных форм мониторинга трудоустройства, в том числе в соответствии с полученной квалификацией).

РОЛЬ В ИННОВАЦИОННОМ ЦИКЛЕ

Особого внимания заслуживает научно-исследовательская сфера деятельности вузов. Причина — не только объективная необходимость сочетания научного и образовательного вектора в интересах получения студентами полноценных знаний, но и специфические условия транспортной отрасли. Например, в силу сложившейся ситуации в нашей стране университеты железнодорожного транспорта являются единственной структурной базой, на которой могут сформироваться научно-образовательные центры, решающие как комплексные, так и прикладные транспортные проблемы. Крупные отраслевые НИИ отсутствуют, корпоративные центры заняты собственными узкоприкладными технологическими задачами.

С момента своего появления в начале XIX века система российского транспортного образования всегда решала двудеятельную задачу ведения образовательной и научно-исследовательской деятельности. Сразу же было заложено понимание, что участие преподавателей в научных исследованиях служит залогом успешного обучения, а накопление

творческих навыков, новых отраслевых знаний через ведение прикладных работ обеспечивает генерацию транслируемых студентам знаний и компетенций. Не случайно в числе преподавателей вузов всегда были видные ученые, представляющие различные сферы и направления науки.

Если говорить о современных университетах железнодорожного транспорта, то они успешно интегрируют учебный процесс и научные исследования, осуществляя большой объем НИОКР на основе договоров с компаниями отрасли, и вправе считаться инновационными научно-образовательными комплексами. На базе вузов Росжелдора действуют почти 200 научных школ. Идет процесс создания инновационных хозяйственных обществ. Три вуза железнодорожного транспорта становились в 2009–2010 годах победителями конкурса на государственную поддержку инновационных образовательных программ.

Сейчас акцент должен быть сделан как раз на роли транспортных университетов в инновационном развитии. В последние десятилетия за рубежом (а в США и ранее) возрастает участие университетов в инновационном процессе, понимаемом как инновационный цикл — от зарождения научной идеи до ее воплощения в конечном продукте или технологии. Это дало возможность Г. Ицковицу ввести понятие «тройной спирали». По его мнению, университеты, компании и государство вне зависимости от декларируемых ими приоритетов и целей постоянно выполняют функции друг друга: «Университет, например, выступает в роли промышленности, стимулируя исследовательские работы и создание новых фирм, ставя «капитализацию знаний» в качестве академической цели. В свою очередь компании поощряют повышение квалификации сотрудников и обмен знаниями с целью создания совместных предприятий, выполняя, таким образом, отчасти роль университетов. Власть же, осуществляя регулирующую функцию, зачастую выступает в качестве венчурного капиталиста. Этот подход прямо противоположен тем теориям, которые возлагают инициативу генераций инноваций на власть или бизнес. Модель тройной спирали предполагает, что именно университеты могут быть центрами, генерирую-

щими технологии и новые формы предпринимательства, оставляя также за собой право критической оценки того или иного проекта» [3, с. 27–28].

Заметной характеристикой современного ландшафта исследовательской деятельности за рубежом стало формирование вокруг университетов инновационной инфраструктуры: технопарков, научных парков, технополисов, структур кластерного типа. Это обуславливается во многом новыми взаимоотношениями, складывающимися в сфере экономики. Взаимодействие с вузами выгодно бизнесу. Как отмечают К. К. Прахалад и М. С. Кришнан, «чтобы сохранять конкурентоспособность и опережать соперников, важно иметь чутье на инновации, появляющиеся в лабораториях при университетах мирового уровня и в небольших «умных» начинающих фирмах, а затем умело их использовать» [4, с. 47].

Существенную роль играет и фактор глобализации, который в инновационном контексте те же авторы представляют как формулу $R = G$, где R — ресурсы (Resources), получаемые от многочисленных поставщиков, часто со всего земного шара (Globe) [4, с. 27]. При этом, описывая процессы изменения инновационного вектора, они прибегают к примерам именно из транспортной отрасли: «Источник знания смещается от физических продуктов (например, шин) к решениям (например, к конкретным приложениям, требуемым для менеджеров крупных парков транспортных средств) и индивидуальному опыту (такому, как у водителя тягача с прицепом) [4, с. 53].

Нацеленность российских вузов на инновационную деятельность и инструменты, стимулирующие их к этому, находятся в центре предпринимаемых усилий по модернизации системы образования. Однако существует проблема перехода от научно-исследовательской фазы инновационного цикла к собственно внедренческой, и эту проблему нельзя рассматривать как чисто российскую. Ранее цитировавшийся Г. Ицковиц отмечает (делая, однако, акцент на предпринимательском характере университетской деятельности), что «многие ученые считают, что главная их задача — научно-исследовательская и образовательная деятельность, поэтому им следует воздерживаться от участия в экономическом и социальном развитии. Согласно данной точке зрения университеты прекрасно



справляются с третьей задачей через выполнение первых двух. Однако даже среди таких консервативно настроенных ученых, довольно скептически высказывающихся по поводу капитализации знаний, наблюдается растущее стремление найти практическое применение своим научным разработкам... Постепенно приходит понимание того, что в отличие от общества, основанного на производстве материального товара, общество, основанное на производстве и потреблении знаний, подчиняется абсолютно другой логике и имеет другую динамику развития. Экономика знаний имеет более тесный контакт с источниками знаний, которые в свою очередь подвержены изменениям» [3, с. 32–33].

Не детализируя вопросы государственной поддержки инновационному развитию транспортных вузов, в которой они, безусловно, нуждаются, нужно констатировать, что российские транспортные университеты, в частности железнодорожные, обладают спецификой, определяющей особые отношения с государством и бизнесом, историческими традициями тесного взаимодействия с учреждениями отраслевой науки.

Главенствующим принципом инновационной деятельности университетов железнодорожного транспорта с учетом названных особенностей является расширение круга потенциальных потребителей разработок и продуктов инновационной сферы, а также круга партнеров по ее осуществлению за счет:

- значительного потенциала развития сотрудничества в сфере науки с ОАО «ВНИИЖТ», ОАО «НИИАС» и иными дочерними структурами холдинга «РЖД», независимыми производителями транспортной техники и операторами транспортных средств;

- российских и иностранных партнеров, нуждающихся в сертификации техники и приборов для транспорта, продвижении их на отечественный рынок;

- расширения сотрудничества с иностранными производителями транспортной техники в целях адаптации их продуктов к российским условиям;

- создания совместных центров, лабораторий или технопарков с российскими производителями транспортной техники (например, имеется кафедра, организованная при содействии «Ямалтранстроя»);

- открытия научно-образовательных центров с участием зарубежных и российских

транспортных компаний (имеются протоколы о намерениях с «Сименс», немецкими и французскими железными дорогами, в обоих случаях с участием ОАО «РЖД»);

- участия в научных программах полинии международных специализированных организаций;

- привлечения потенциальных партнеров из числа городских и региональных органов управления на транспорте.

Таким образом, развитие отраслевого транспортного образования в целях повышения его качества будет осуществляться с использованием системного подхода. Он будет ориентирован на применение тех инструментов, которые касаются всех российских вузов, но с учетом их адаптации к определенной отраслевой специфике. В сфере инженерного образования сохранится ряд особенностей, продиктованных отраслевыми требованиями (высокая доля программ специалитета и обучающихся в рамках целевого приема, обеспечение единой образовательной траектории при переходе от среднего профессионального к высшему образованию, наращивание форм взаимодействия с работодателями, большая доля прикладных научных исследований на основе контрактов с транспортными организациями). Именно с учетом этого предполагается достичь в конечном итоге полноты и качества использования университетских ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р; в редакции распоряжения правительства Российской Федерации от 11 июня 2014 г. N 1032-р. http://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203. Доступ 30.10.2014.

2. Quinones, M.A., Tonidandel, S. Conducting training evaluation. In: The human resources program — evaluation handbook. Edited by Jack E. Edwards, John C. Scott, Nambury S. Raju. Sage publications, Thousand Oaks, London, New Delhi, 2003, 570 p., pp.225–243.

3. Ицковиц Г. Тройная спираль. Университеты — предприятия — государство. Инновации в действии: Пер. с англ. — Томск: Изд-во Томского гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. — 238 с.

4. Прахалад К. К., Кришнан М. С. Пространство бизнес-инноваций: Создание ценности совместно с потребителем/ Пер. с англ. — М.: Альпина Паблишерз; Юрайт, 2011. — 258 с.

5. Виноградов В. В., Никитенко В. А., Пауткина А. В. Сетевое взаимодействие «школа — дом физики»// Мир транспорта. — 2014. — № 5. — С.210–215. ●

UNIVERSITY RESOURCES IN INNOVATION CYCLE

Lievina, Boris A. – D. Sc. (Tech.), professor, rector of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), president of the Association of Transport Universities of Russia.

ABSTRACT

The author assesses a current state of Russian transport education system, touches upon the history (genesis) of domestic higher school of railway engineers, formulates the essence of the integrated mission of transport universities at the stage of market reforms. Particular attention is paid to the quality of the training of students, formation of professional competences of future specialists, the role of transport university complexes in the innovation cycle, total research and educational activities of university researchers and lecturers.

ENGLISH SUMMARY

Background. The features of the Russian transport education are: system relationship with the development of the transport sector, a very clear focus on the interests of employers, anticipatory formation of educational infrastructure and provision of continuing education at all levels. This is true for any mode of transport – road, air, water (river and sea), rail. However, in terms of chronology of events and relevant tasks each of them and its staffing have own dates and key points.

Objective. The objective of the author is to assess a current state of Russian transport education system with account of genesis of transport education, and to submit for discussion vital topics determining further vector of its development.

Methods. The author uses evaluation method, description, historical and comparison method, forecasting, contextual analysis.

Results.

Genesis of transport higher education institutions

Foundation and development of a training system for railways anticipated their construction, as evidenced by time and geography of universities' creation. The first higher education institution, which initiated specialized training for railways, opened in 1809, before the construction of the first railway in St. Petersburg, and for quite a long period satisfied the demand of the entire country. With the development of railways in the European part and primarily for staffing of Trans-Siberian main line high school of railway engineers (now – MIIT University) was established in Moscow; Tomsk technological institute began to train rail engineers. Expansion of the network of railways required training of specialists for the South of Russia (Rostov-on-Don), Far East (Khabarovsk), as well as the emergence of universities in Siberia, in Tomsk (later transferred to Omsk) and in Novosibirsk.

Later additional educational centers, reinforcing that network, were opened (Yekaterinburg, Samara, Irkutsk). Inauguration of Irkutsk State University of Railway Engineering in 1975, in fact marked the last stage of shaping of the network of rail universities, which lasted almost 170 years. Training of rail engineers has always been key element of rail transport educational system.

In this period repeated merging of departments and higher schools (including those working in the field of water, motor, electric transport) occurred, while inverse processes led to the emergence of institutions, focused on their own mode of transport.

Sectoral specialization of higher education institutions prevailed in the railway industry. And this situation to some extent, continues to this day. Incrementally universities of railway transport turned from solving problems of industrialization and mass training of engineers to complex tasks of fundamental engineering education, training of engineers for new areas of engineering and

technology (information, construction, communications, environment, safety). During rather long period university organizations existed within the Ministry of Railways.

In 2003 following the reform of railway sector, the Ministry of Railways was deprived of the right to conduct economic and business activities (later dismantled), JSC Russian Railways was established, rail high and higher educational complex was maintained as public owned but subordinated to Federal Railway Agency. Nevertheless, see the similar reforms regarding other modes of transportation, it is now possible to speak about sectoral transport education in the broad sense (as training of specialists for all modes of transport in any training and educational institution never mind its (their) nature and subordination) and in the narrow sense (as the activities of Universities subordinated to appropriate federal agency – Federal Railway Agency, Federal Air Transport Agency, Federal Marine and River Transport agency and corporate educational institutions).

By 2009, in order to maintain the required volume and improve the quality of training of technicians with secondary education former technical (vocational) high schools were incorporated into higher education institutions as branches, and thus higher educational institutions were transformed into vertically integrated university complexes. These aggregated structures could provide training in secondary vocational, higher and advanced professional training, as well as workforce training, school education and pre-university training [e.g. 5].

Within the framework of horizontal integration MIIT integrated institute of entrepreneurship protection (law) and Russian open railway academy. At the same time universities implemented the principles of the Bologna process and began organizing bachelor's and master's programs. But taking into account preferences of employers for engineering 5-year long studies, the Universities maintained to almost previously existent extent the relevant engineer courses (e.g., four enlarged groups of railway specialties).

On the eve of 2020s external conditions are changing and new challenges emerging for staff training, so transport education system should anticipate the responses and learn to be proactive.

The mission is very responsible one and implies implementing of series of fundamental and applied researches, encouraging the development and implementation of innovative programs. During recently held Second forum on transport education this mission was unambiguously defined by Russian minister of transport and other participants. Transport educational system based on engineering training should focus on main modern task of developing breakthrough technology and consolidate the efforts with research centers and relevant organizations.

Transport Universities should work at:

- Continuous generation of new knowledge and their integration in the educational process;
- Implementation of all stages of lifelong education, including training, retraining and further training of transport employees development of new promising competencies in a wide range of qualifications required by business and society;
- System integration of achievements of the transport industry and sectoral education in the CIS and in the course of cooperation with world leading universities, companies and organizations of transport.



Mission of transport universities cannot be implemented in isolation from continuous interaction with employers, verification of quantitative and qualification needs. This is a kind of point of entry into the system of transport education, providing its subsequent quality. The key point at the output of the process, in our opinion, is also an opinion of employers. Most important evaluation is an assessment by practices related to how a graduate is in-demand, how his knowledge and competence are to date and what «safety margin» he has, how knowledge acquired in higher education institution influences capacity and outlook for his professional growth in foreseeable future.

In this regard, an independent evaluation of the quality of training seems to be more related to the correlation of motivated expectations of employers towards graduates than results of some average tests or measurements. One can witness further evolution of the forms of employer focused assessments (participation of representatives of employers in the public commissions of final attestation of graduates, public attestation of educational programs by professional community and employers' associations). Then comes the construction of an integrated system to assess competence throughout the working career of an engineer from the date of entering the university.

Higher education institutions have systems of an intermediate knowledge assessment, some companies keep a kind of «portfolio» of students who study on the basis of contracts with employers, called targeted education (special forms of contracts which guarantee corporate support during the studies, supplementary free minor courses, remunerated internship, employment after graduation in exchange for success in studies and employment directly with the contracted company. If students fail to get employed by relevant company after graduation due to their own fault or unwillingness they have to reimburse all the related expenses to the company – ed.note). Education development plans, developed by ministry of education, provide for the establishment of qualification assessment centers. Number of business corporations have systems for assessing competence of recruited graduates and extensive system of evaluation of professional and corporate competencies during professional career. This problem is not new, especially for enterprise systems of studying abroad [see, e. g., 2]. Its aim is to develop an integrated system, adapted to the specific Russian conditions, which allows combining all links of yet fragmented chains, providing constant feedback. The goal of assessing the quality of education is not to state on its current state, but to constantly improve personal competence of a student or an employee, as well as teaching methodologies.

But if the statement of the problems at the input defines the strategy of development of engineering education, and evaluation at the output determines the end result in terms of quality, the formation of quality occurs mostly directly within the educational process.

Principal requirements for the quality of training of engineers of the transport industry are justified by technological conditions of transportation process as a complex of systemically interrelated technologies. They are:

- Combination of fundamental engineering training with practical skills (from mastering a blue-collar job to technologies actually applied in transport) that dictates the need to maintain a 5-year training program for engineers within the specialist's education program;
- Inter-level coordination of the curriculum of

secondary vocational and higher education, justified by integrated technologies;

- The need for concentration of narrowly specialized faculty members at Universities;
- Use of expensive laboratory equipment, operating models, specific for very narrow range of transport departments and sectors;
- Setting of training centers closer to business locations to provide practical training, to apply actually used equipment, technologies, to extend in training of existing professionals of the industry;
- Retention of graduates at linear enterprises;
- Maintaining special requirements for students due to safety conditions of the transportation process, occupational safety and health.

Approach to training of economists, lawyers, managers with transport profile is still among most disputable questions and it was confirmed during the above mentioned Forum on transport education. Form the very first view there is a simple dilemma: or it is better to give additional training at job to a certain «universal» economist or lawyer graduated from not-a-transport University, either to train him from the very start in transport higher school.

Employers prefer in most of the cases to hire those young candidates who have received initial transport focused education. They study in transport environment, get comprehensive view of transportation process seen from all its engineering and organization aspects, and, last but not the least, get acquainted with professional culture of transport community and additionally with corporate values and competences if they are contracted by enterprises. But nevertheless there is no dilemma here. The response to the question should not be regarded as permission or refusal to train so called not basically transport specialists in transport higher schools, but should have regard to the quality of training, outlook for employment, their assessment from behalf of professional community. The choice should belong to employer but the right of transport higher schools to conduct the courses of that kind should not be apriori artificially denied or limited.

Whether we follow here world trends? As far as training of air personnel (except for pilots) and crews of sea and river ships is concerned, it is based on international conventions and has no distinctive national features. But as far as road, rail, multimode transport and operation of transport networks are concerned, practices differ considerably from country to country. Specially profiled transport education is traditional for Asian countries with large transportation systems (PRC, Vietnam, Republic of Korea, Kazakhstan, India). In many EU countries distinct transport profiles exist for master courses.

Recently we have noticed a trend to extend or to come back to specialized transport engineering training in Universities and to vocational training in high schools (Germany, Spain, France, Nederland, Austria, Czech Republic, Poland, Romania, Bulgaria and other countries). Newly emerged rail faculties can prove that along with increasing interest to develop joint programs with MIIT University.

This is due to relatively stable comparison of the results of more efficient training of engineers with initial rail profile and less efficient more-than-a-year adaptation of a graduate with general engineering knowledge to rail job.

Outperformance formation of competencies of students is dictated by the forecast of the railway industry development. To achieve the goals, it is necessary to solve a number of interrelated tasks in the field of training.

It is required to make a transition from training of specialists, knowing technologies of today (which leads to the actual lag effect of competences due to a gap between the time of training and employment), to create a generation of specialists who can quickly adapt to new technologies, and then to improve them due to their own self-development capacity.

In fact, a transition is required from improving innovations to breakthrough technology that under the conditions of railway transport is nothing else but a return to traditions of engineering of the beginning of the era of railways, when engineers were primarily designers and creators of technology and infrastructure, and only then became their operators. This task is the maximum that will be implemented in respect to the most successful graduates. A minimum goal is creation of self-sufficient capacity based on University acquired knowledge, which would allow all graduates faster and better adapt to modern technology.

Vector of development of engineering education with transport specificity largely coincides with overall strategic objectives of the national higher education. And these matching projections should be considered as undoubted equal priorities:

- Improving the approaches to the implementation of educational programs (achieving an optimal development balance of new levels and areas of training from the point of view of traditional partners and market conditions, shaping out of modular and additional courses, creation of local laboratories and centers, network forms of learning, training of students for blue-collar jobs; introduction of interactive, digital learning methods; individualization of curricula for the student and according to demand of his potential employers, etc.);

- Increasing practical skills of the students (participation together with future employers in the development of professional standards, implementation and adjustment (actualization) of curricula and programs, taking into account views of employers; professional and public certification of universities and programs; qualification assessment centers; network forms; creation of industry based leading departments; development of industrial laboratories, research and education centers, innovative business entities; building practical competencies of graduates using special forms of training, etc.);

- Optimizing legal form of universities and improvement of management (development of the institution of trustees (supervisory) boards, endowments and associated organizational structures; measures for reproduction of teaching staff, elimination of age disparities; improvement of management structure; monitoring and execution of tasks to maintain a competitive level of wages);

- academic and international cooperation (network communication, implementation of joint educational programs with leading Russian and foreign universities, educational institutions of the sector; the growth in the number and proportion of foreign students and guest lecturers, engaging leading foreign scientists to perform scientific work; intensification of programs of academic mobility of teachers and students; adherence to the activities of international academic and professional associations; participation in international sectoral organizations (increasing the role of teachers and university scientists as experts);

- promotion of employment (the establishment of centers of employment in higher education institutions and practical training of all undergraduates and graduates; professional testing and certification; development of reliable forms of employment monitoring,

in general as well as employment in conformity with graduates' profiles).

Role in innovation cycle

Research activity is particularly noteworthy. The reason for it is not only an objective necessity of a combination of scientific and educational activities for the development and translation of research results into the educational process, but also the specific conditions of the transport industry. For example, in view of the current situation in our country rail transport universities are the only structural basis on which scientific and educational centers can be formed to solve both complex and applied transportation problems. Large industrial research institutes are absent, corporate research centers deal with narrowly applied technological tasks.

Since its introduction in the early XIX century the Russian system of transport education has always solved dual task of conducting educational and research activities. Immediately appeared the understanding that the participation of teachers in research is a key to successful learning, and accumulation of creative skills, new industry knowledge through conducting applied research provides generation of knowledge and competence transmitted to students. It is not a coincidence that among university teachers there have always been prominent scientists representing various fields and areas of science.

If we talk about modern universities of railway transport, they successfully integrate the educational process and scientific research, carrying out a large amount of research on the basis of contracts with companies of the industry, and are entitled to be considered as innovative research and education complexes. There are nearly 200 scientific schools at railway Universities. The process of developing innovative business entities within the railway Universities is underway. Three universities of railway transport in 2009–2010, became winners of the contest for state support of innovative educational programs.

Now the focus should be put just on the role of transport universities in the innovative development. Foreign practices of recent decades (and even earlier in the USA) have witnessed growing participation of universities in the innovation process, which is understood as a complete innovation cycle from the birth of a scientific idea to its realization in the final product or technology. This made it possible for H. Etzkowitz to introduce a notion of «triple helix». According to him, universities, companies and the government, regardless of their declared priorities and goals constantly perform functions of each other: «The university, for example, acts as an industry, stimulating research and development of new firms, putting the «capitalization of knowledge» as an academic goal. In turn, companies encourage staff development and sharing of knowledge in order to create joint ventures, doing so in part the role of universities. The government, exercising a regulatory function, often acts as a venture capitalist. This approach is directly opposed to the theories that place the initiative of innovation's generation on authorities or business. The triple helix model suggests that universities may be centers of generating technologies and new forms of business, keeping their right to a critical assessment of a project» [3, p. 27–28, retranslation].

A notable feature of the landscape of contemporary research activity abroad was the formation of innovation infrastructure around universities: industrial parks, science parks, technopolis, cluster structures. This is due to largely new relationship developing in the economic sphere. Interaction with universities is profitable for business. According to K. K. Prahalad and M. S. Krishnan «to remain competitive and stay ahead of competitors, it





is important to have a flair for innovation, emerging in laboratories at world-class universities and small «smart» startups, and then skillfully use them» [4, p. 47, retranslation].

The essential role is played by the factor of globalization, which in the innovation context, the same authors presented as a formula $R = G$, where R means resources, derived from numerous suppliers, often from around the globe [4, p. 27]. Thus, in describing the change processes of innovation vector, they resort to examples from the transport industry «The source of knowledge is shifting from physical products (e. g., tires) to the solution (for example, to specific applications required for managers of large vehicle fleets) and individual experience (such as the driver of the tractor-trailer)» [4, p. 53].

Focus of Russian universities on innovation and tools that encourage them to do so, is at the center of efforts to modernize the education system. However, there is a problem of transition from research phase of the innovation cycle to actually innovative, and this problem can not be regarded as a purely Russian. Previously quoted H. Etzkowitz notes (making, however, focus on the entrepreneurial nature of university activities) that «many scientists believe that their main task is research and educational activities, so they should refrain from participating in the economic and social development. According to this view universities do an excellent job with the third goal through the implementation of the first two. However, even among such conservative scholars, who comment on the capitalization of knowledge rather skeptically, there is a growing desire to find a practical application for their scientific research ... Gradually the understanding is coming to realize that, in contrast to a society based on the production of material goods, a society based on production and consumption of knowledge is subject to a completely different logic and has a different dynamics. Knowledge economy has a more intimate contact with the sources of knowledge, which in turn are subject to change» [3, p. 32–33].

Not detailing matters of public support for the innovative development of transport higher education institutions, which they will certainly need, it must be stated that Russian transport universities, in particular rail Universities, possess characteristics, defining a special relationship with the government and business, historical traditions of close cooperation with the institutions of industrial science.

Keywords: system of higher education, university, transport, development strategy, quality of engineering education, competence, innovation cycle, international cooperation, integration of resources.

REFERENCES

1. Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030. Approved by order of the Government of the Russian Federation of November 22, 2008 № 1734-r; as amended by the order of Government on June 11, 2014 N 1032-r. http://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203. Access 30.10.2014. [*Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22 noyabrya 2008 g. № 1734-r; v redaktsii rasporyazheniya pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 11 iyunya 2014 g. N 1032-r.*]
2. Quinones, M.A., Tonidandel, S. Conducting training evaluation. In: The human resources program – evaluation handbook. Edited by Jack E. Edwards, John C. Scott, Nambury S. Raju. Sage publications,

Foundational principles of innovation activities of railway universities with account of mentioned specifics is the expansion of a range of potential users of developments and innovative products of the sector, as well as a range of partners to implement it due to:

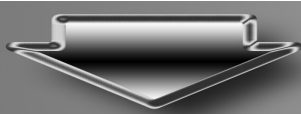
- A significant development capacity of cooperation with JSC «VNIIZhT», JSC «NIAS» and other research subsidiaries of JSC «Russian Railways», independent manufacturers of transport equipment and vehicles' operators;
- Russian and foreign partners in need for technical certification of technology and equipment for transport, their promotion to the market;
- Enhanced cooperation with foreign manufacturers of transport equipment in order to adapt their products to Russian conditions;
- Establishment of joint centers, laboratories or industrial parks with Russian manufacturers of transport vehicles and equipment (for example, there is the chair, organized with the assistance of «Yamaltransstroy»);
- Opening of research and education centers with the participation of Russian and foreign transport companies (there are letters of intent with «Siemens», German and French railways, in both last cases with the participation of JSC «Russian Railways»);
- Participation in scientific programs through international transport organizations;
- Attraction of potential partners from number of transport departments of regional and city authorities.

Conclusion. Thus, the development of transport education in order to improve its quality will be carried out using a system approach. It will focus on the use of those tools which are equally important for all Russian Universities but duly adapted to the features of transport sector. In addition, the field of engineering education will see a number of features dictated by industry requirements (a high share of specialist's programs and students contracted by companies, providing a unified educational trajectory from secondary vocational to higher education, further developing forms of interaction with employers, a large share of applied research on the basis of contracts with transport companies). All those factors taken into account, transport Universities' resources will effectively serve to enhance the quality of transport education and training.

Thousand Oaks, London, New Delhi, 2003, 570 p., pp.225–243.

3. Etzkowitz, H. The Triple Helix. Universities – Industry – Government. Innovation in Action [Translated from English. Russian title: *Troynaya spiral'*. *Universiety – predpriyatiya – gosudarstvo. Innovatsii v deystvii*]. Tomsk, Tomsk State university of systems of control and radioelectronics publ., 2010, 238 p.
4. Prahalad, K.K., Krishnan, M. S. The space business innovation. Creating value together with the consumer [Translated from English. Russian title: *Prostranstvo biznes-innovatsiy: Sozdanie tsennosti sovместно s potrebitелем*]. Moscow, Alpina Publisher; Yurayt publ., 2011, 258 p.
5. Vinogradov, V.V., Nikitenko, V.A., Pautkina, A. V. Networking «School – Home of Physics». *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*. 2014, Iss. 5., Vol.54, pp. 210–215.

Координаты автора (contact information): Лёвин Б.А. (Lievin, B.A.) – tu@miit.ru.
Статья поступила в редакцию / article received 17.10.2014, rev. 05.12.2014.
Принята к публикации / article accepted 08.12.2014



Режим труда и отдыха для водителей

В рамках деловой программы выставок InterLogistika - 2014 и Autotrans-2014 в МВЦ «Крокус Экспо», проходивших 8–11 сентября 2014 года, состоялась сессия «Актуальные вопросы организации безопасных грузопассажирских перевозок».

Выступая перед собравшимися, начальник управления надзорной деятельности ГУОБДД МВД России полковник полиции Александр Борисов отметил, что с 1 сентября 2014 года оснащению устройствами, контролирующими режим труда и отдыха, подлежат транспортные средства категории № 3 (с общей максимальной массой от 12 тонн), используемые для перевозки грузов, не относящихся к опасным (за исключением автомашин с полной массой свыше 15 тонн, предназначенных для междугородных перевозок). Поправки к Кодексу Российской Федерации об административных правонарушениях, предусматривающие штрафные санкции за управление транспортным средством без тахографа и за нарушение водителем режима труда и отдыха, вступили в силу еще 1 апреля 2014 года — с этого дня стала применяться ответственность за отсутствие тахографов с блоком средств криптографической защиты информации на грузовых автомобилях, перевозящих опасные грузы. При этом, несмотря на незначительное время, которое прошло с апреля, к административной ответственности привлечено немало число водителей. Так, по данным Госавтоинспекции, на 1 сентября возбуждено более 39 тысяч административных дел в отношении нарушителей режима труда и отдыха.

Вадим Мельников подчеркнул, что возглавляемый им экспертный центр «Движение без опасности» рассматривает все аспекты безопасности дорожного движения как долгосрочную стратегию, позволяющую сохранить человеческие жизни на дорогах и снизить сопутствующие нарушениям правил экономические и социаль-

ные риски для общества. По вине водителей грузового и пассажирского автотранспорта каждый год происходят тысячи ДТП. Причин тут может быть много, однако одной из важнейших является несоблюдение режимов труда и отдыха и усталость за рулем.

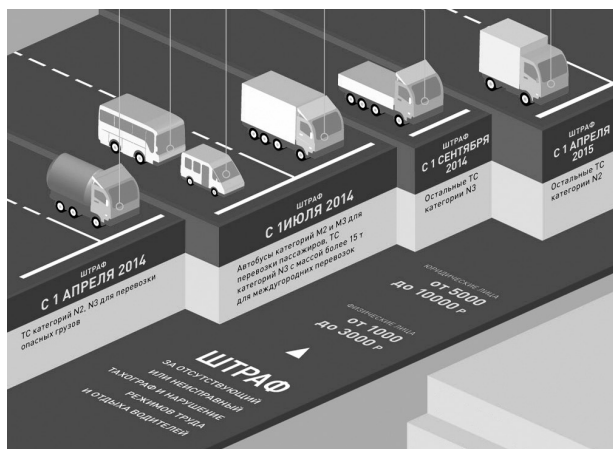
Заместитель генерального директора ФБУ «Росавтотранс» Армен Хачатрян рассказал участникам сессии о первых результатах поэтапного оснащения тахографами транспортных средств. Так, в частности, по состоянию на сентябрь 2014 года произведено более 180 тыс. таких устройств с блоком средств криптографической защиты информации, установку их осуществляют более 770 профессиональных мастеров.

Говоря о международном опыте, заместитель генерального директора Continental Automotive RUS Дмитрий Батаков отметил, что по статистике за последние десять лет применения тахографов в странах Европы количество ДТП с участием автотранспорта, оснащенного этими средствами, снизилось на 22%, со смертельным исходом — на 55%. Кроме безопасности дорожного движения контрольное устройство выгодно и с точки зрения эффективности бизнеса, поскольку оно делает доступным отслеживание автомобилей в режиме реального времени и дает возможность эффективнее управлять автопарком, имеющимися человеческими ресурсами.

Алексей Полянских, представитель компании «Штрих-М», обратил внимание на то, что существует необходимость в создании единой автоматизированной системы по обработке тахографических данных и учету сведений о моделях тахографов, мастеровских и прочих элементах процесса.

Участники дискуссии пришли к выводу, что система тахографии в России нуждается в совершенствовании. В первую очередь, следует обеспечить подобающую современным требованиям инфраструктуру для





водителей на дальние расстояния: создавать стоянки для отдыха, оборудовать безопасные парковки. Доработки требуют и законодательство в области санкций за нарушение режимов труда и отдыха и отсутствие контрольных устройств на коммерческих транспортных средствах.

Тахограф — контрольный прибор, устанавливаемый на борту грузовых и пассажирских транспортных средств, который фиксирует данные о скорости движения, пробеге автомобиля, соблюдении правил труда и отдыха водителем. Присутствие прибора на борту — это одно из требований безопасности и правовая защита водителя, поскольку показания тахографа являются юридически верной информацией.

В России оснащение транспортных средств контрольными бортовыми устройствами производится в соответствии с приказом Минтранса от 13 февраля 2013 года № 36. За отсутствие тахографов следуют штрафные санкции: с 1 апреля 2014 года — для грузовых машин с максимальной допустимой массой не более 12 тонн (категории № 2 и № 3), перевозящих опасные грузы; с 1 июля 2014 года — для автобусов, перевозящих пассажиров (категории M2 и M3), и грузовиков с общей массой свыше 15 тонн, осуществляющих междугородные перевозки. К 2015 году такими устройствами должны быть оборудованы все транспортные средства, используемые в коммерческой среде.

Цена на тахограф складывается из большого количества факторов и с учётом нынешнего спроса постоянно изменяется.

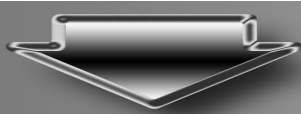
Лучше всего покупать приборы в специализированных мастерских — это избавит автовладельца от лишних поисков места установки, сделает процесс приобретения более комфортным.

— Часто можно услышать мнение, что установка тахографа включает в себя только подключение к питанию, что установка простая, крайне дешевая. Разумеется, это не так. Важна пломбировка всех узлов устройства, его калибровка. Поэтому следует устанавливать прибор исключительно в мастерских, включенных в реестр ФБУ «Росавтотранс», — отмечает Дмитрий Батаков, заместитель генерального директора по развитию Continental Automotive RUS.

— Как правило, сервисные центры имеют партнерские договоры непосредственно с производителями тахографов, — уточняет директор сервисного центра «Тахограф» Алексей Ческидов. — Это позволяет мастерским осуществлять продажу приборов максимально доступно для своих клиентов, получая от производителей значительные бонусы и скидки.

Построив выгодное и партнерское сотрудничество с таким специализированным сервисным центром (мастерской), у автовладельца есть возможность получить качественное обслуживание, профессиональные консультации, условия для обучения персонала. К этому стоит добавить и отсутствие каких-либо проблем с законностью предлагаемых услуг, оформлением всех полагающихся документов.

Екатерина КУЗНЕЦОВА,
экспертный центр «Движение
без опасности», Москва, Россия ●



Work-Rest Schedule of Drivers

Business program of expositions InterLogistika - 2014 and Autotrans-2014, held on October, 8–11, 2014 in Moscow International exposition center Crocus-Expo, included session «Actual issues of safe freightage and passenger traffic».

Addressing the audience, police colonel Alexander Borisov of main division of road safety of the Russian Ministry of Interior that mandatory application of recording tachometers is extended from September, 1, 2014 to the transport vehicles of third category (those, whose maximum payload exceeds 12 ton), excluding trucks with payload exceeding 15 ton and used for interurban haulage. He outlined that violation of work-rest schedule and absence of tachograph devices equipped with cryptographic data protection for the trucks carrying dangerous goods has been considered as administrative infraction punishable by an administrative penalty as long as from April, 1, 2014. During the period from April, 1 through September, 1 more than 39 thousand drivers were held liable for that infraction.

Vadim Melnikov, head of expert center «Traffic without danger», outlined that all aspects of road safety constitute long-term strategy, aimed at safeguarding human lives at roads and at reducing economic and social risks resulting from rules' violation. The faults of drivers of freight and passenger cars cause thousands of accidents every year. There are many exact causes but fatigue and disrespect of work-rest schedule can be both attributed as one of the main causes.

Deputy director general of federal budget establishment «Rosavtotrans» (Russian road transportation) Armen Khachatrian described the ever first results of stage-by-stage equipping of transport vehicles with tachographs. 770 professional auto repair shops were installing tachographs with cryptographic data protection, till September, 2014 more than 180 thousand of devices had been installed.

Deputy director general of Continental Automotive RUS Dmitry Batakov noted the

international experience. He outlined that 10 years of the use of tachographs in Europe have permitted to reduce accidents of the vehicles equipped with those devices by 22%, and to reduce fatalities by 55%. Besides safety issues, the installation of controlling device is economically efficient as it allows real-time monitoring of a vehicle providing thus more efficient management of the fleet and human resources.

Alexey Polyanskiy from Shtrih-M company argued in favor of a comprehensive automated system of tachographic data processing and of account for all models of tachometric equipment, authorized repair shops and other elements of the system.

The participants in a discussion concluded that tachometric system in Russia should be enhanced. First of all necessary measures should be taken to develop modern infrastructure for over-the-road truckers (facilities for safe parking for rest and relaxation). Some legal issues also need to be reconsidered.

Tachograph — is a controlling device installed on board of freight and passenger road vehicles that records data on speed, run of a truck, respect of schedule of rest and work by a driver. The device is one of the most important requirements referring to safety and legal protection of a driver as tachometric data are judicially accurate.

Equipment of transport vehicles in Russia with on-board controlling devices became mandatory by virtue of the order of the Ministry of transport of February, 13, 2013 № 36. Absence of devices is punished with penalties which were introduced gradually regarding different types of cars, buses and trucks. All commercial vehicles should have been equipped with those devices by 2015.

Ekaterina KUZNETSOVA,
Expert center «Traffic without danger
(Dvizhenie bez opasnosti)», Moscow, Russia





Подготовка экономистов и менеджеров в условиях глобализации



Лариса ЛАПИДУС

Larisa V. LAPIDUS

Современная железнодорожная отрасль нуждается в экономистах и менеджерах, владеющих иностранными языками, имеющих оперативный доступ к новым знаниям, оригинальным источникам информации и безбарьерному общению в профессиональных мировых сетях. Повышение качества подготовки таких специалистов расширит зону согласования интересов отрасли и высших учебных заведений. Особое внимание уделено при этом разработанному автором инновационному учебному курсу на английском языке «Passenger rail transport: Economics and Management» и методике его преподавания с учетом растущих требований к компетенциям персонала и вызовов времени.

Ключевые слова: высшее образование, экономисты, менеджеры, железнодорожный транспорт, методика преподавания, обучение на английском языке, инновационные образовательные технологии, подготовка магистров.

Лapidус Лариса Владимировна — доктор экономических наук, профессор Московского государственного педагогического университета, директор Центра социально-экономических инноваций Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

Новая эра в развитии транспортной отрасли коррелирует с новыми вызовами современности, стимулирующими рост потребностей в профессиональных коммуникациях без границ, инновациях и креативных решениях, повышении мобильности населения на рынке труда в условиях разрастания агломераций и глобализации экономики. Это развитие уже невозможно себе представить без владения иностранными языками, активного получения новых знаний через работу с оригинальными источниками информации и безбарьерного общения в профессиональных мировых сетях.

Мировая транспортная система является одной из наиболее динамичных отраслей экономики. В условиях интермодальности и ко-модальности перевозок, прогрессирования высокоскоростного железнодорожного сообщения главный вектор ее развития определяют кооперация между различными видами транспорта (воздушным и железнодорожным, авто- и железнодорожным, морским и железнодорожным), переключение пассажирских и грузовых перевозок на железные

дороги как на самый экологически чистый (eco-friendly) и безопасный вид транспорта для нашей планеты.

Глобальное развитие железнодорожного транспорта сопровождается всевозрастающей конкуренцией между производителями подвижного состава, строителями высокоскоростных магистралей, авторами инфраструктурных и технологических решений, над которыми научная и инженерная общественность продолжает работать на протяжении последних десятилетий. Стоит отметить, что данная тенденция присуща не только отдельным сферам производства, но и целым странам, которые правильным обозначением приоритетов в транспортной политике помогают себе занять лидирующие позиции и продемонстрировать инновационную траекторию развития национальной экономики.

Вызовы времени диктуют новые правила подготовки современных экономистов и менеджеров для транспортной отрасли, которым при дефиците календарных сроков и избытке информации важно сохранять способность точечного поиска достоверных сведений и материалов в любом районе мира. Профессионалы должны уметь оценивать состояние макроэкономических индикаторов, корпоративных финансов основных игроков транспортных рынков, черпая информацию из мировых бюллетеней, отчетов, докладов, сетевых баз данных.

Встраивание в учебный процесс модулей и целых курсов на английском языке, особенно для обучающихся на магистерских программах, проведение научных конференций и подготовка журнальных публикаций, выступлений на международных симпозиумах, форумах становятся реальной потребностью, расширяют зону согласования интересов железнодорожной отрасли и высших учебных заведений, повышают их конкурентоспособность.

Надо подчеркнуть, что подобные формы языковой «экспансии» приносят сегодня несомненную пользу и самим вузам. Например, рост количества публикаций представителей профес-

сорско-преподавательского состава в зарубежных журналах влияет в конечном счете на повышение уровня индекса цитирований в Scopus, Web of science и др., без учета которого наши высшие учебные заведения уже не могут вести свою деятельность в условиях нарастающей международной конкуренции. Более того, чтение курсов на английском языке помогает и активизации студенческого обмена, увеличению иностранных студентов в магистратуре российских университетов и числа совместных с зарубежными партнерами программ по системе двойных дипломов.

С уверенностью можно констатировать, что стремление к повышению качества оказываемых образовательных услуг и удовлетворению потребностей молодого поколения в освоении английского языка, навыках креативного инновационного мышления, работе с научной информацией из иностранных источников предъявляют к преподавателям вузов особые требования при проведении занятий по экономическим и специальным дисциплинам на английском языке, актуализируют задачи по совершенствованию методик и внедрению в учебный процесс инновационных образовательных технологий.

Многочисленны авторский учебный модуль на английском языке «Passenger rail transport: Economics and Management» и методика его преподавания, они реализуются при подготовке магистров 2-го курса обучения на экономическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова на кафедре экономики социальной сферы в рамках научного семинара. Наряду с этим в осеннем семестре 2013 года модуль был встроен в учебный процесс для студентов из Китайской Народной Республики, обучающихся по магистерской программе «Международный бизнес» в Московском государственном педагогическом университете.

Что касается методики, то она создана на основе 16-летнего опыта преподавательской деятельности в высших учебных заведениях на программах для



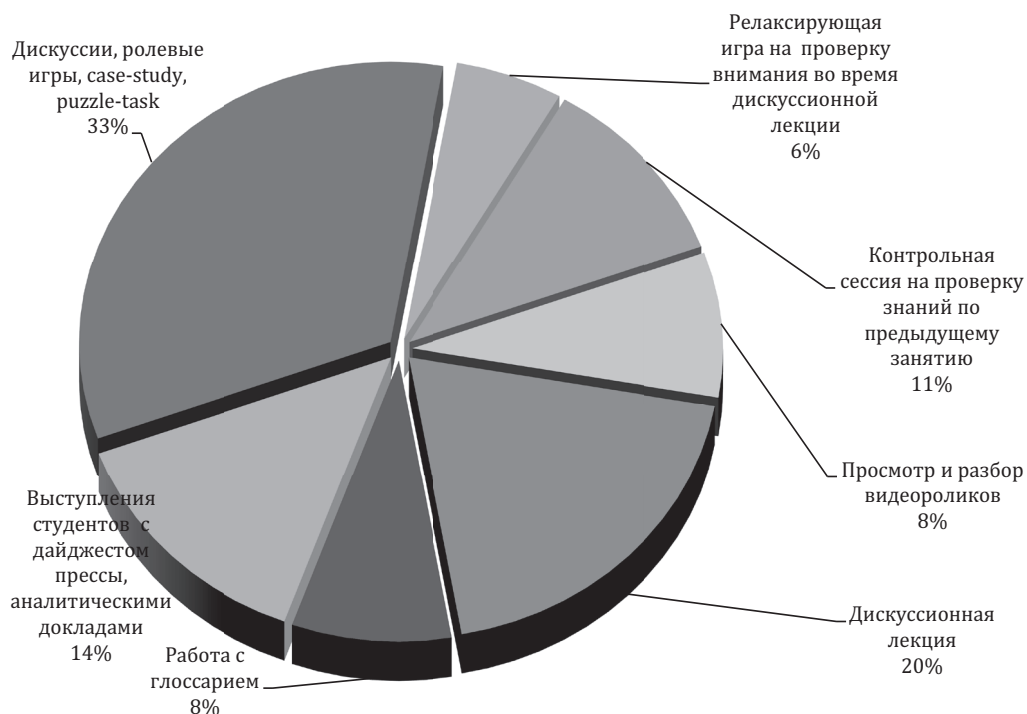


Рис. 1. Распределение времени по видам деятельности при использовании инновационного учебного модуля «Passenger rail transport: Economics and Management» (магистерская программа).

экономистов и менеджеров, собственной практики обучения в Лондоне по бизнес-программам в Twin Training International School, Central School of English, Hampstead School of English, Shane English School, в ходе разработки магистерской программы «Human Resource Development» (развитие человеческих ресурсов) и методик преподавания учебных дисциплин по программе двойных дипломов в University of Twente, на факультете образовательных наук и технологий Educational Science and Technology Department в 2008 году в Нидерландах.

При проведении занятий на магистерских программах по специальным дисциплинам для экономистов и менеджеров на английском языке следует учитывать некоторые особенности учебного процесса. Лучше всего сразу проводить по две учебные пары, общей продолжительностью четыре академических часа. Распределение времени по видам деятельности в целях сохранения концентрации внимания и ак-

тивного участия в учебном процессе обучающихся целесообразно обеспечить в пропорциях, представленных на рис. 1.

Именно таким образом построен учебный процесс при изучении инновационного учебного модуля на английском языке «Passenger rail transport: Economics and Management» в МГУ им. М. В. Ломоносова. Причем при работе с глоссарием желательно привлекать ассистента с лингвистическим образованием, задача которого поставить произношение изучаемых отраслевых и экономических терминов, в то время как задача лектора — объяснить сущность и значение представленных в глоссарии дефиниций. Как правило, студенты со всей серьезностью относятся к подобному процессу, поскольку за счет симбиоза экономического образования и лингвистической поддержки можно достичь многого.

Как иллюстрирует рис. 1, 89% учебного времени занимает активная работа студентов во взаимодействии с лек-

тором, только 11% отводится контрольной сессии на проверку знаний по предыдущему занятию в форме выполнения тестовых заданий и решения кроссворда. Во время занятий студенты участвуют в дискуссиях, ролевых играх, решают кейсы, выполняют puzzle задания. Еженедельно магистранты готовят дайджест мировой прессы и выступают с презентациями и аналитическими докладами на английском языке.

Просмотр и разбор видеороликов вызывают особый интерес у студентов. В учебном процессе используются ролики, подготовленные автором статьи и лектором учебного модуля. Искренними эмоциями встречает аудитория появление лектора в кадре, который, находясь на другом конце планеты, делает репортаж с железнодорожного вокзала, международной отраслевой выставки, из вагона поезда на ту или иную тему учебного модуля на английском языке. Например, специально для этого были привезены видеоролики из Токио, Сиднея, Сеула, Парижа, Милана, Брюсселя, Цюриха, Мюнхена.

Изучение инновационного модуля начинается и заканчивается напутствием для студентов, написанным автором учебного курса:

Your knowledge is in your head,
Your skills are in your hands,
Your success is in your mind
And so your life will be shined.

Нельзя не сказать и о проекте, который является неотъемлемой частью учебного курса «Passenger rail transport: Economics and Management» — «The rail transport industry as an economic factor»/«Железнодорожный транспорт как экономический фактор». Проект выполняется по разработанной автором статьи методике слушателями магистерской программы малыми группами (3–4 человека) на примере конкретной страны. Результаты оформляются в виде презентации в формате ppt. Защита проектов проводится в учебной аудитории и представляет собой выступление всех членов рабочей команды на английском языке.

Основная задача, стоящая перед магистрантами, — провести анализ статистических данных и данных эмпирических исследований по англоязычным источникам и с учетом полученных знаний обосновать роль железнодорожного транспорта в мировой экономике и макроэкономическом развитии взятой как объект изучения страны.

Проект выполняется поэтапно в ходе освоения учебного курса в аудитории и в процессе самостоятельных занятий с современными учебниками (Introduction to Transport Economics: Demand, Cost, Pricing, and Adoption; Transport Economics; Railroad Economics; A Handbook of Transport Economics; Transport Communications: Understanding Global Networks Enabling Transport Services (NETS); Competition in the Railway Industry: An International Comparative Analysis). Отдельное место занимает работа с мировыми отраслевыми периодическими изданиями на английском языке (RailwayPRO; Railway Gazette International; Railvolution; Japan Railway & Transport Review; International Railway Journal (IRJ)); с архивами Railway Technical Research Institute (RTRI), Cambridge University Press, Oxford University Press; диссертационными исследованиями (Fumio Kurosaki, An Analysis of Vertical Separation of Railways); международными бюллетенями, обзорами, докладами (UIC, ERRAC, OECD, UNIFE, Department for Transport (DfT) and the Office of Rail Regulation (ORR), transtats.bts.gov), годовыми отчетами национальных железнодорожных перевозчиков (JSCo Russian Railways, Deutsche Bahn AG, KiwiRail); мировыми электронными базами данных (Thomson Reuters, Bloomberg).

В заключение замечу, что предложенная методика проведения учебного процесса для экономистов и менеджеров железнодорожной отрасли может быть использована и при подготовке профессиональных кадров других отраслей. Кроме того, разработанные учебные модули на английском языке можно встраивать в программы учебных дисциплин, читаемых на русском языке. Позитивные методические приемы достаточно универсальны.



TRAINING OF ECONOMISTS AND MANAGERS IN GLOBALIZED ENVIRONMENT

Lapidus, Larisa V. – D. Sc. (Economics), professor of Moscow State Pedagogical University, director of social and economic innovations center of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

ABSTRACT

Modern railway industry requires economists and managers, knowing foreign languages, thus having a quick access to new knowledge, original sources of information, and capable to establish barrier-free communication in professional world networks. Improving the quality of training of such specialists, as stated in the paper, enhances chances to reconcile interests of industry and higher education institutions. Particular attention is given to an innovative study course in English, which is developed by the author, «Passenger rail transport: Economics and Management» and methods of its teaching with account for growing requirements as for the competence of personnel.

ENGLISH SUMMARY

Background. A new era in the development of the transport sector correlates with new challenges, that stimulate growth in demand for professional communication without borders, innovation and creative solutions, improving mobility of people in the labor market seeing outgrowth of agglomerations and economic globalization. It is impossible to imagine this development without knowledge of foreign languages, active acquiring of new knowledge through work with original sources of information and barrier-free communication in professional world networks.

World transport system is one of the most dynamic sectors of the economy. In the context of intermodality and co-modality of transportation, progression of high-speed rail the main vector of its development is determined by cooperation between different modes of transport (air-rail cooperation, road-rail cooperation, sea-rail cooperation), transfer of passenger and freight traffic to railways as the most environmentally friendly (eco-friendly) and safe mode of transport of the planet.

Global development of railway transport is accompanied by ever-increasing competition between manufacturers of rolling stock, builders of high-speed lines, authors of infrastructure and technological solutions over which the scientific and engineering community has been working over the past decades. It should be noted that this trend is typical of not only certain sectors of production, but also of entire countries, which by setting correct priorities for transport policy help themselves to take leading positions and to demonstrate an innovative way of national economic development.

Challenges of our time dictate new rules for training of modern economists and managers for the transportation industry. Professionals should be able to assess the state of macroeconomic indicators, corporate finance of major players in the transport markets, relying on information from the world bulletins, reports, presentations, web-based databases.

Objective. The objective of the author is to evaluate modern approach to training of economists and managers of railway sector, to present own innovative study course in English «Passenger rail transport: Economics and Management» and methods of its teaching with account for growing requirements for the competence and skills of personnel.

Methods. The author uses descriptive method and analysis.

Results. Incorporation of modules and entire courses in English into the educational process, especially for students in master's programs, organization of scientific conferences and preparation of journal publications, presentations at international symposia, forums are becoming a real necessity, expanding coordination of interests of the rail industry and higher education institutions, increasing their competitiveness.

It should be noted that such forms of language «expansion» bring undoubted benefits to universities. For example, the number of publications of faculty in foreign journals ultimately results in growing citation indices of Scopus, Web of Science and other similar databases. This condition cannot be dispensed as our higher education institutions should work in the context of growing international competition. Moreover, teaching courses in English promote exchange, growth of foreign students in the Master's programs of Russian universities and the number of joint dual diploma programs with foreign partners.

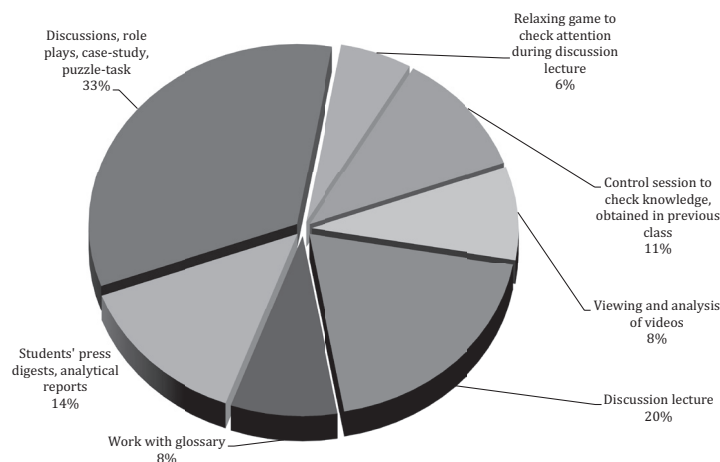
We are confident that the desire to improve the quality of educational services and to achieve greater satisfaction of needs of the younger generation in learning English, in skills of creative innovative thinking, working with scientific information from foreign sources imposes special requirements on university professors of economic and special disciplines in English, actualizes the task of improving techniques and introducing of innovative educational technologies to the educational process.

The author of this article has developed an original training module in English «Passenger rail transport: Economics and Management», and methods of its teaching, they are implemented in the training of Masters of the 2nd year at the department of economics of the social sphere of the Economics Faculty of Lomonosov Moscow State University in the framework of scientific seminar. At the same time in the fall semester 2013 this module was integrated into the learning process for students from the People's Republic of China, studying in the Master's program «International Business» at Moscow State Pedagogical University.

As for the technique, it is based on 16 years of teaching experience in higher education institutions referring to programs for economists and managers, personal teaching practice in London concerning business programs in Twin Training International School, Central School of English, Hampstead School of English, Shane English School, as well as on the development of the master's program «Human Resource Development» and methods of its teaching within dual degree program on educational science and technology at the University of Twente in 2008.

When conducting courses within Master's programs on special subjects for economists and managers in English it is necessary to consider some features of the educational process. The best thing is to hold two classes, a total of four academic hours. In order to maintain students' personal concentration and engagement it is better to distribute time by type of activity following the chart shown in Pic. 1.

The learning of innovative training module «Passenger rail transport: Economics and Management» in English at Lomonosov Moscow State University is or-



Pic. 1. Time distribution by type of activity using the innovative training module «Passenger rail transport: Economics and Management» (Master's program).

ganized exactly in that manner. Moreover, when working with a glossary, it is desirable to involve an assistant with linguistic education, whose task is to teach the pronunciation of industrial and economic terms, while the task of the lecturer is to explain the nature and significance of definitions presented in the glossary. Typically, students take such a process seriously, as due to the symbiosis of economic education and language support, they can achieve a lot.

As illustrated in Pic. 1, active work of students in collaboration with the lecturer takes 89% of study time, while control session intended to check previously gained knowledge and held in the form of test tasks and solving crossword puzzles takes only 11%. During the lessons, students participate in discussions, role games, solve cases, perform puzzle tasks. Weekly undergraduates prepare digest of the world's press and make presentations and analytical reports in English.

Viewing and analyzing the videos are of particular interest to the students. Special videos used in the training process are prepared by the author and the lecturer of the training module. The audience meets with sincere emotions the appearance of the lecturer in the frame, who is on the other side of the world and is making a report from the railway station, the international trade fair, from a train carriage on a particular topic of the training module in English. For example, to that purpose videos were brought from Tokyo, Sydney, Seoul, Paris, Milan, Brussels, Zurich, Munich.

Study of the innovative module begins and ends with parting words for students, written by the author of the course:

Your knowledge is in your head,
Your skills are in your hands,
Your success is in your mind
And so your life will be shined.

We should also say about the project, which is an integral part of the course «Passenger rail transport: Economics and Management» and is named «The rail transport industry as an economic factor». The project is implemented by the method developed by the author for trainees in master's program. The project

is developed in small groups (3–4 people) using a particular country as an example. Results are issued in the form of a presentation in ppt. format. Defense of projects is carried out in the classroom and it is a report delivered by all members of a working team in English.

The main challenge for the undergraduates is to conduct an analysis of statistical data and empirical research based on English-language sources and with account of the knowledge gained to justify the role of rail transport in the world economy and the macroeconomic development of a considered country.

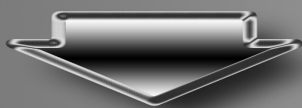
The project is carried out stage by stage during the course time in the classroom and in the process of self-learning with the help of modern textbooks (Introduction to Transport Economics: Demand, Cost, Pricing, and Adoption; Transport Economics; Railroad Economics; A Handbook of Transport Economics; Transport Communications: Understanding Global Networks Enabling Transport Services (NETS); Competition in the Railway Industry: An International Comparative Analysis). A special place is given to work with global industry periodicals in English (RailwayPRO; Railway Gazette International; Railvolution; Japan Railway & Transport Review; International Railway Journal (IRJ)); archives Railway Technical Research Institute (RTRI), Cambridge University Press, Oxford University Press; thesis research (Fumio Kurosaki, An Analysis of Vertical Separation of Railways); international bulletins, surveys, reports (UIC, ERRAC, OECD, UNIFE, Department for Transport (DfT) and the Office of Rail Regulation (ORR), transtats.bts.gov), annual reports of the national rail carriers (JSC Russian Railways, Deutsche Bahn AG, KiwiRail); international electronic databases (Thomson Reuters, Bloomberg).

Conclusion. The proposed methodology of the learning process for economists and managers of the railway industry can be used in the training of professionals in other sectors. Besides the developed training modules in English can be incorporated in the curricula of disciplines, taught in Russian. Positive tutorial techniques are comprehensive for that purpose.

Keywords: higher education, economists, managers, railway transport, methods of teaching, learning in English, innovative educational technologies, training of masters.

Координаты автора (contact information): Лapidус Л. В. (Lapidus, L. V.) – infodilemma@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 14.04.2014
Принята к публикации / article accepted 26.07.2014



ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

Трудовой семестр на дорогах

Возрожденная вузами практика студотрядов вернула к жизни немало полезных форм общественного труда. МИИТ, в котором эта традиция, по сути, возобновилась еще в 1997 году, минувшим летом делегировал около двух тысяч своих студентов на транспортные предприятия и стройки страны, чтобы поучаствовать в дополнительном (добровольном!) трудовом семестре.

Особенно востребованными в период массовых летних перевозок на железных дорогах оказались бойцы отрядов проводников пассажирских вагонов, билетных кассиров и помощников машинистов локомотивов. Им пришлось обслуживать и курортные направления (Сочи, Анапа, Адлер, Ейск), и маршруты дальневосточных, сибирских, уральских регионов.

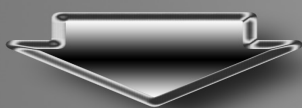
Их готовность обеспечивалась не только получением университетских знаний, но и обучением за счет предприятий рабочим специальностям, проверкой и поддержанием здоровья, льготным питанием, а для выполнения

своих обязанностей каждому из студотрядовцев выдавалась форменная одежда.

Всего трудилось 24 отряда, из них десять профильных, железнодорожных. Кроме того, в общее число студенческих формирований входили отряды вожатых в детских оздоровительных лагерях, волонтерский отряд по восстановлению Иосифо-Волоцкого монастыря, отряд правопорядка на спортивно-массовых мероприятиях, отряд спасателей, а также оперативный, шефско-патриотический, общестроительные и т. д.

В большинстве своем мнения участников и организаторов совпадают: трудовой семестр дает студентам уникальную возможность получить дополнительную профессиональную практику, заработать столь важные в ходе обучения деньги, приобрести незаменяемый опыт взаимодействия в команде, почувствовать дух товарищества, коллективизма, которых так не хватает в наше время.

Евгений ДУМБРОВСКИЙ,
руководитель Управления
молодежной политики МИИТ ●



EXPRESS INFORMATION

Railway Term

The higher schools have recently restored the practice of student brigades¹ which marked the comeback of many forms of student labor activities. MIIT University, who restored that long-standing tradition as far back as in 1997, saw last summer about 2000 students going to different transport enterprises and construction sites to participate in additional (voluntary!) term.

Most demanded during the period of mass summer passenger traffic were the participants of the teams of on-board service crews of passenger trains, of ticket agents and assistant engine drivers. They worked at «resort» routes (to Sochi, Anapa, Adler, Yeisk), as well as far-eastern, Siberian, and Ural routes.

¹ «Student brigades» mean teams of students who volunteer to work during the summer vacation time not individually but within those teams. Generally they have the support from the part of the respective university administrations which assist them in contacting business organizations for temporary employment of such organized student groups, and from national non-governmental organization uniting different student brigades. — editorial note for English version.

Their professional qualification was guaranteed by knowledge cumulated during University studies, as well as by industrial arts' training at the account of respective business entities, medical testing and health services, preferential costs of food board. Every member of teams received uniform.

There were 24 student teams at MIIT University. 10 of them worked at railways according to the future job profile of the students, others were of different profiles. Some teams' members worked as leaders in children summer recreation camps. There was a volunteer team for reconstruction of historical site of Joseph-Volokolamsk Monastery. Other teams worked as stewards during sport events, rescues, builders, etc.

The majority of opinions of participants agrees on the fact that summer labor term affords a unique opportunity to receive additional internship, as well as to earn some money, to achieve the most valuable experience of team building and work, to perceive the team spirit which often misses nowadays under other circumstances.

Evgeny DUMBROVSKY,
head of the division of youth politics
of the MIIT University



РЕТРОСПЕКТИВА 212

*Тепловозный дизель
не претендует быть «вечным
двигателем».*

ПРЕСС-АРХИВ 222

*Кризисы приходят и уходят,
а дорога остается.*

ГАЛЕРЕЯ ИМЕН 224

*Его свеча горела ярко.
Но недолго.*



БИОГРАФИЯ ВАГОНА 238

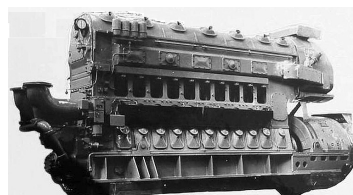
*Плавность хода, сквозная
упряжь, упругая люлька.*

КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL



RETROSPECTIVE VIEW 212

*Diesel engine has no ambition
to become perpetuum mobile.*



NEWS FROM... THE ARCHIVES 222

*Crisis comes and goes away but
the railway remains.*

GALLERY OF NAMES 224

*The flame of his candle was
bright but short.*

THE CV OF A COACH 238

*Smooth running, through
harness, resilient cradle.*



Ресурс тепловозных дизелей: ретроспективный анализ



Игорь СИРОТЕНКО
Igor V. SIROTENKO

Георгий ГОГРИЧИАНИ
Georgy V. GOGRICHIANI



Сиротенко Игорь Васильевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник отделения «Тяговый подвижной состав» ОАО «ВНИИЖТ», Москва, Россия
Гогричани Георгий Венедиктович — доктор технических наук, профессор, заведующий аспирантурой ОАО «ВНИИЖТ», Москва, Россия.

В публикуемой обзорной статье показано, что для тепловозных дизелей первого послевоенного поколения были характерны существенные новым разработкам конструкционные недостатки, незавершенные идеи. Рассмотрены результаты исследований, выполненных в тот период, проанализированы с критических позиций принятые в то время технические решения, в том числе нацеленные и на устранение выявленных проблем. Как вытекает из полученных данных, узлы двигателя неравнозначны по влиянию на его безотказность и ресурс, образуют свои уровни по значимости, «месту» в конструкции дизеля как системы.

Ключевые слова: железная дорога, история, тепловозостроение, дизель тепловозный, ресурс, отказы, ретроспективный анализ, закономерности послевоенного поколения.

Четыре десятилетия — с конца 1940-х до начала 1990-х были периодом создания и отработки конструкций отечественных тепловозов и тепловозных двигателей. В ходе этих работ проблема безотказности и ресурса оставалась одной из главных, вызывая трудноисчислимые экономические потери (внезапные отказы, неплановые ремонты и т. п.). Запуск в эксплуатацию нового дизеля сопровождался, как правило, массовыми отказами важных узлов — и постановкой множества задач для срочного решения.

1.

Первое поколение тепловозных дизелей имело главным назначением обеспечение перехода от производства паровозов к существенно более эффективному виду тяги — тепловозам. За годы Второй мировой войны двигателестроение сделало значительный шаг вперед, новые дизели использовали газотурбинный наддув, были более быстроходны, имели отличные весогабаритные показатели.

Проблемой отечественного двигателестроения естественным образом стало отсутствие собственных прототипов, поскольку

выпускаемые в то время двигатели морально устарели и их модернизация была принципиально невозможна. Роль прототипов взяли на себя американские образцы, которые оказались на технике, поставляемой в рамках военной помощи — на тепловозах (ALCO-539, в нашем исполнении Д50), судах-ледоколах (Fairbanks Morse 10-38D8 $\frac{1}{8}$ -2Д100). Тепловозные дизели первого поколения имели общий недостаток всех копируемых образцов техники — дефицит информации по вопросам, касающимся производства и обеспечения безотказной работы узлов двигателя. К примеру, какие из элементов конструкции являлись ключевыми для ситуаций риска, были ли применены при изготовлении тех или иных узлов упрочняющие технологии и какие это технологии.

В числе первых проблемы обнаружились у дизелей типа Д50 (обозначение по ГОСТ 10150-88-6ЧН31, 8/33, мощностью 1000 л. с. при 740 об./мин), выпускавшихся с 1946 года. Двигатель — четырёхтактный, шестицилиндровый с рядным расположением цилиндров, импульсным турбонаддувом и промежуточным охлаждением воздуха, что для двигателей послевоенного времени было весьма прогрессивным. Основной конструкции являлась литая чугунная рама-картер, в поперечных перегородках которой располагались постели коренных подшипников коленчатого вала. На них размещался массивный коленчатый вал — 2100 кг. Чугунный литой блок цилиндров устанавливался на верхнюю плоскость картера и крепился к нему тяжёлыми шпильками. Для конструкции характерно сочетание узлов, избыточных по массе, с запасами по ресурсу (блок цилиндров, коленчатый вал, крышка цилиндра) и узлов с малыми ресурсами, требующих регулярного контроля (поршни, подшипники коленчатого вала).

Наиболее уязвимыми в Д50 были узлы поршневой группы — головки поршней и компрессионные кольца. Конструкция поршня не имела внутреннего охлаждения, наибольшее количество тепла при такой схеме отводилось к цилиндровой втулке, которая выполняла роль охладителя, через поршневые кольца. На поршнях происходило пригорание верхних уплотнительных колец, они теряли подвижность, случались прорывы газов в картер, оплавления головок и прогары [1].

Высказывались разные причины отказов — большая доля холостой работы, повышенное содержание серы в топливе и т.п. Однако в работе [2] впервые показано, что тепловые нагрузки на поверхности поршня Д50 были очень близки к критическим величинам, при которых неохлаждаемая конструкция теряла свою работоспособность, то есть оплавления и прогары становились закономерными. Проблема была решена заменой сплава LowEx поршневой головки с малым коэффициентом теплового расширения на сплав ПС12 с высокими показателями теплопроводности, увеличением толщины днища для облегчения передачи тепла к кольцам, переводом первого кольца в менее нагретую зону и изменением его сечения и материала [3]. Благодаря этому отказы удалось значительно снизить, снять же проблему окончательно удалось только после перевода тепловозов с дизелями Д50 с поездной на маневровую работу, где поршни испытывают меньшую тепловую нагрузку.

Итак, наиболее ответственными элементами в конструкции поршня Д50, как было выяснено, являлись головки поршней и верхние (компрессионные) поршневые кольца. Эффективность отвода тепла, который обеспечивали эти конструктивные элементы, определяла работоспособность цилиндро-поршневой группы дизеля.

Ещё большие проблемы возникли при вводе в эксплуатацию дизелей типа 2Д100 (10ДН20,7/2×25,4 мощностью 2000 л. с. при 850 об./мин). Тепловозы с этим дизелем должны были заменить паровозы в грузовом и пассажирском движении. Двигатель, простой по конструкции и технологичный в производстве (рис. 1а), оказался на продолжительный период с середины 1950-х по начало 1970-х годов основным для отечественного грузового тепловозного парка, несмотря на сопутствующие ему трудности.

Он был двухтактный, десятицилиндровый с двумя коленчатыми валами — верхним и нижним, с противоположно движущимися поршнями и прямоточно-щелевой продувкой цилиндров. При такой схеме в конструкции двигателя исключались технологически сложные и ненадёжные узлы. Эти особенности давали, как казалось, преимущества в отношении безотказности ресурса. Однако имелся ряд недостатков — наличие второго



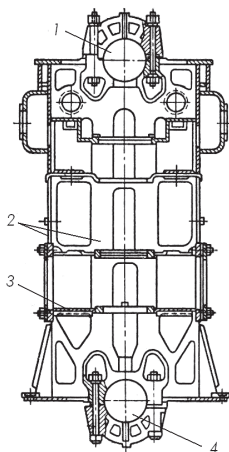
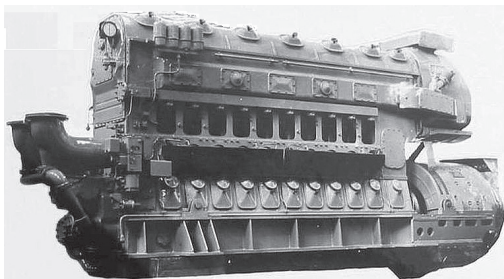


Рис. 1. Дизель 2Д100.

а – общий вид: 1 – картер верхнего вала; 2 – картер нижнего вала; 3 – отсек вертикальной передачи; 4 – объёмная воздухоудка типа Рут.
б – блок дизеля, поперечное сечение: 1 – узел подвески верхнего коленчатого вала; 2 – вертикальные листы; 3 – горизонтальные листы; 4 – узел подвески нижнего коленчатого вала; А-Б – места трещин.

коленчатого вала с узлом вертикальной передачи мощности от верхнего вала к нижнему усложняло и утяжеляло дизель (он имел двадцать поршней, 44 подшипника коленчатого вала), соответственно возрастала вероятность выхода из строя двигателя в случае отказа какого-либо из его многочисленных узлов. Вертикальное расположение узлов, в том числе наличие коленчатого вала сверху, затрудняло выполнение работ по ремонту и обслуживанию довольно объёмной цилиндрической поршневой группы, ремонтпригодность дизеля оказалась низкой.

К 1960 году парк этих дизелей превысил тысячу единиц, период (пробег) между капитальными ремонтами был установлен всего в 600 тыс. км, причём не менее трети тепловозов проходили его досрочно в связи с отказами важнейших узлов (чаще всего это были поршни, блок цилиндров, коленчатый вал) [1, 4].

Поршень так называемого первоначального варианта конструктивно отличался от прототипного, в него были внесены изменения для приспособления к технологиям, принятым на заводе-изготовителе. Поршень имел составную конструкцию, в центр головки через сверления в шатуне поступало моторное масло. Под действием инерционных сил масло встряхивалось в полостях между корпусом и вставкой, отбирало тепло от нагретых поверхностей и сливалось через патрубок в картер двигателя. Менее чем за год работы на наружной (огневой) поверхности этих поршней проступали мелкие трещины в виде сетки, отмечались сквозные трещины в центре днища, обрывы шпилек крепления [5].

Помимо первоначального проходили эксплуатационные испытания поршни ещё четырёх опытных вариантов – 14А, 14Б, 14В, 22. При их разработке было принято однозначное решение об отказе от охлаждения взбалтыванием как неэффективного и переходе на охлаждение циркуляционного типа, при котором масло поступало в поршень под давлением и перемещалось по внутренним полостям по определённому контуру, осуществляя тем самым охлаждение, а затем происходил его слив в картер (вариант 14А).

Было модернизировано крепление шпилек. Поршень варианта 14Б отличался от 14А расположением и конфигурацией полостей, варианты 14В и 22 сочетали в себе элементы конструкций 14А, 14Б и начальной, поршень варианта 22 имел съёмное днище для удобства его восстановления при повреждениях (испытания, однако, вскоре были прекращены из-за низкой надёжности именно разъёмного соединения). Для всех поршней на 40% увеличили прочностные свойства материала головки – серого чугуна, показатель теплопроводности при этом несколько снизился. В конструкции дизеля применена более совершенная топливная аппаратура для исключения случайного приближения факела форсунки к днищу поршня, появились масляные насосы производительностью до 100 м³/ч вместо более ранних 68–72 м³/ч.

Результаты испытаний были обескураживающими: разгарная сетка трещин, аналогичная той, что была у начального варианта, проявлялась у поршней всех вариантов; кроме этого, появились трещины по ручьям для размещения поршневых колец (14А,

14Б), внутренние трещины — по краям головки (14В), сквозные — в днище (14А, 14В) и другие виды повреждений [5, 6]. Для поршней варианта 14А, например, сетка трещин (82 повреждённых поршня, или 54%, рис. 2) давала о себе знать при достаточно большой наработке — свыше 90 тыс. км, что говорило о периодическом перегреве и накоплении на поверхности термических усталостных повреждений, а трещины по ручьям (46 случаев, или 30%) наблюдались вследствие отложений нагара во внутренних боковых полостях поршня опять же по причине перегревов. В то же время сквозные трещины, разрушения поршней, по всей видимости, носили случайный характер.

Испытания опытных поршней продолжались, и к началу производства дизелей второго поколения (1960-е годы) причины повышенных отказов выявлены так и не были.

Повреждения поршней 2Д100 носили преимущественно термический характер: изменения в конструкции были направлены на повышение прочности шпилек и их креплений, термостойкости головки, рациональное расположение внутренних полостей для циркуляции масла.

Второе место по частоте выходов из строя занимал блок цилиндров с необычной для того времени конструкцией из вертикальных и горизонтальных прокатных стальных листов (рис. 1б), соединённых между собой электросваркой с использованием в основном угловых швов. Такая конструкция более трудоёмка и более дорога по сравнению с литыми и сварно-литыми блоками [7], но позволяла при этом быстро освоить выпуск блока, например, в условиях военного времени. По показателю удельного веса — 2,5 кг/л.с. блок цилиндров был очень лёгким. Горизонтальные листы образовывали вместе с вертикальными поперечные связи — «этажи», увеличивающие общую изгибную жёсткость. Впрочем, несмотря на это, конструкция в целом имела большой статический прогиб под действием собственного веса, а также прогибы в вертикальной и горизонтальной плоскостях [8, 9].

В начальный период эксплуатации были отмечены трещины по сварным швам, переходящие в стойки блока, наиболее часто повреждения встречались в узле соединения коренных опор (бугелей) коленчатых валов

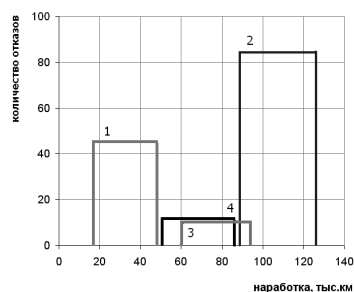


Рис. 2. Отказы поршней варианта 14А дизелей 2Д100 (данные [5]):
1 — трещины по ручью; 2 — разгарная сетка трещин днища; 3 — сквозная трещина в днище; 4 — разрушение поршня.

с верхними и нижними горизонтальными плитами блока (рис. 1б — А), в переднем вертикальном листе отсека управления и в месте сочленения наклонного и вертикального листов с нижней полосой (рис. 1б — Б). Наблюдались остаточные деформации опорных узлов коленчатого вала, при этом непрямолинейность линии верхнего коленчатого вала достигала 0,18 мм [9, 10].

В последующий период при производстве капитальных ремонтов было установлено, что не менее 30% поступивших в ремонт дизелей имели неустраняемые деформации опор коленчатых валов (искривления линии вала, несоосность и трещины). Повреждения располагались ближе к опорным узлам коленчатого вала, прилегающим к ним горизонтальным листам (30% трещин) и прежде всего — к элементам конструкции, воспринимающим нагрузки от вертикальной передачи (50%). Работы по усилению элементов конструкции блока, попытки повысить качество проварки швов не принесли желаемого результата, была снижена только острота проблемы.

Таким образом, как было установлено, наиболее нагруженными и повреждаемыми элементами в конструкции блока цилиндров дизеля 2Д100 оказались узлы подвешивания верхнего и нижнего коленчатых валов с прилегающими к ним горизонтальными листами и отсека вертикальной передачи.

Третьим по частоте отказов и первым по последствиям этих отказов был коленчатый вал.

Для производства коленчатых валов 2Д100 применили технологию чугуна литья, что было новым для того времени. Литье дало возможность по сравнению с тра-



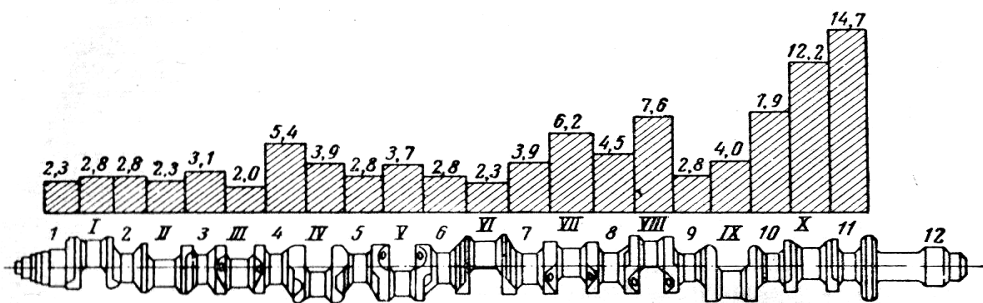


Рис. 3. Распределение повреждений верхнего коленчатого вала дизеля 2Д100 по его элементам в % от общего числа повреждений [13].
I–X – шатунные шейки; 1–12 – коренные шейки.

диционной ковкой изготавливать элементы более сложной формы и с меньшим расходом металла. То обстоятельство, что чугуны уступали по своим прочностным свойствам, по сопротивлению усталостному разрушению легированным сталям не считалось принципиальным. В конструктивном плане коленчатые валы имели наибольший среди известных тогда дизелей показатель перекрытия шеек (122 мм), рациональную форму шёк и внутренних полостей [8, 7].

Уже в начале эксплуатации была зафиксирована низкая износостойкость поверхностей шеек валов. Износ в среднем в три раза превышал прогнозируемые значения и ограничивал ресурс коленчатого вала 600 тыс. км пробега [11]. Отмечались и случаи изломов. По мере нарастания парка тепловозов и их наработки проблема трещин и изломов выходила на первый план. На дизелях выпуска 1956–1961 годов по этой причине произошла замена от 33 до 40% коленвалов [12], примерно в половине случаев из-за трещин, которые выявлялись во время плановых подъёмочных ремонтов.

Повреждения коленчатого вала носили усталостный характер, а их распределение по длине было довольно однообразным (рис. 3). «Такое однообразие указывает на то, что коленчатый вал дизеля 2Д100 по всем сечениям достаточно равнопрочный», как было оптимистично отмечено в [13]. Скорее это указывает на то, что условия нагружения вала на всём протяжении оказались одинаково плохи. Преобладание отказов на десятой шатунной и одиннадцатой коренной шейках объяснялось неудачным расположением конической шестерни вертикальной передачи, вызывающей дополнительный прогиб вала, несом-

пенсированный его жёсткостью или конструкцией опорных узлов. Главное влияние на напряженно-деформированное состояние вала оказывали, как выяснилось позже, деформации опорных узлов в блоке цилиндров и наличие несоосности.

Первым заметным шагом к решению проблемы было усиление коленчатого вала за счёт замены материала — чугуна легированного (Cr-Ni-Mo), из которого он первоначально отливался, на чугун высокопрочный с глобулярным графитом (ВПЧ). Благодаря этой замене в несколько раз снизилось изнашивание, но на процесс появления трещин и изломов она никак не повлияла [14]. Предположения о том, что новые коленчатые валы имеют отклонения по химсоставу, механическим показателям и структуре, не подтвердились, исследования показали, что показатели качества металла ломаных валов из ВПЧ были более чем хорошими [15], а значит, наибольшую опасность несли с собой конструктивные элементы.

Таковыми элементами признали галтели перехода между шейкой и щекой вала, где чаще всего образовывались трещины [11], радиус этого ответственного элемента составлял всего 8 мм. После скругления галтели, увеличения её радиуса с 8 до 12 мм, введения технологии накатывания, т. е. создания зон сжимающих напряжений, которые препятствовали образованию очагов остаточных растягивающих напряжений на поверхности, количество трещин и изломов сократилось в 4,5–6 раз.

Наиболее ответственными элементами в конструкции коленчатого вала 2Д100, определяющими степень надёжности его работы, по факту стали галтели перехода коренных и шатунных шеек в щеки вала.

Делая некоторые выводы по поводу сказанного, необходимо отметить следующее. У дизелей первого поколения вскоре после выхода в серию проявились отказы поршней (Д50, 2Д100), блоков цилиндров, коленчатых валов (2Д100). На двигателях-прототипах повреждений этих узлов в таком количестве не было. Очевидно, что при копировании технических решений не были учтены важные обстоятельства, известные только разработчикам. Здесь имеются в виду свойства материалов (важные химические компоненты, входящие в состав, требуемые физические показатели), назначения некоторых конструктивов, которые могли быть упрощены для большей технологичности, упрочняющие технологии. Было установлено, что для этого поколения дизелей принципиально важными являлись:

- теплопроводность сплава для головки поршня, износостойкость чугуновых поршневых колец (Д50);

- жёсткость и прочность элементов блока цилиндров, качество сварных соединений (2Д100);

- материал коленчатого вала — ВПЧ с более высокими показателями механических свойств (износостойкость, пределы усталости), рациональная конструкция галтелей (радиусы скругления) и их упрочнение (2Д100).

Сложность ситуации состояла в том, что выявленные слабости находились в узлах, представляющих особую значимость для работы двигателя, и могли привести к его скорым внезапным отказам. Под значимостью в данном случае понимается в первую очередь место этого узла среди других узлов в конструкции дизеля как системы, определяемое статистически по частоте выхода из строя дизеля при отказах узла. Отметим, что узлы или группы узлов образуют условные уровни по значимости и тем самым составляют своеобразную иерархию, а именно:

(1) коленчатый вал, поскольку двигатель очень чувствителен к его отказам. В 45–50% отказов коленвалов 2Д100 («чистые» изломы) выходила из строя вся установка. В то же время условия нагружения коленчатого вала напрямую зависят от жёсткости и состояния опорных узлов блока цилиндров, поэтому опорный узел

коленчатого вала в блоке цилиндров должен быть включён в эту группу.

(2) цилиндро-поршневая группа. От 15 до 20% отказов поршней (разрушения, сквозные трещины) являлись фатальными для всего дизеля, его работоспособности.

Это распределение зафиксировано по данным эксплуатационной работы дизелей первого поколения. Анализ характеристик дизелей второго и третьего поколений позволит расширить и уточнить иерархию поэлементной значимости. Об этом во второй части статьи.

(Окончание следует)

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие и совершенствование тепловозной тяги / Фурьянский Н.А. и др. — М.: Транспорт, 1969. — 304 с.
2. Володин А. И. Исследование тепловых потоков поршней тепловозных дизелей // Труды ВНИИЖТ. Вып. 40. — М., 1951. — С.70–96.
3. Греков К.А. О пригорании поршневых колец в тепловозном дизеле Д50 // Вестник машиностроения. — 1958. — № 4. — С. 27–32.
4. Фурьянский Н. А. Перспективы развития и совершенствования тепловозной тяги на железных дорогах СССР // Труды ВНИИЖТ. Вып.198. — М., 1960. — С. 4–14.
5. Насыров Р.А. Исследования работы поршней дизеля 2Д100 //Труды ВНИИЖТ. Вып.198. — М., 1960. — С. 74–84.
6. Насыров Р.А. Повышение надёжности работы поршней тепловозных дизелей. — М.: Транспорт, 1977. — 216 с.
7. Симсон А. Э., Хомич А. З., Куриц А. А. и др. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания — М.: Транспорт, 1987. — 536 с.
8. Глаголев Н. М., Куриц А. А., Водолаженко В. В., Бартош Е. Т. Тепловозные двигатели и газовые турбины. — М.: Трансжелдориздат, 1957. — 463 с.
9. Стеценко Е. Г. Измерения и методы восстановления некоторых геометрических параметров блоков дизеля 2Д100 // Труды ВНИИЖТ. Вып.198. — М., 1960. — С. 47–55.
10. Шляпин В. Б., Крайчик М. М., Котельников В. Л. Повреждения блоков дизелей 2Д100 и тележек тепловозов ТЭЗ в эксплуатации и методы их ремонта сваркой // Труды ВНИИЖТ. Вып.198. — М., 1960. — С.56–73.
11. Хмелевский А. В. Износ и повреждения коленчатых валов и износ вкладышей подшипников дизеля 2Д100 //Труды ВНИИЖТ. Вып.230. — М., 1962. — С. 19–45.
12. Жук Е. И. Повышение долговечности литых коленчатых валов тепловозных дизелей двигателя// Двигатели внутреннего сгорания. — М.: Науч.-исслед. ин-т информации по тяжелому, энергет. и трансп. машиностроению. — Вып. № 10. — 1966. — 40 с.
13. Стеценко Е. Г., Школьник Л. М. и др. Повышение надёжности и долговечности коленчатых валов транспортных дизелей. — М.: Транспорт, 1965. — 137 с.
14. Домбровский К. И., Хмелевский А. В., Резаков В. Г. Об износе коленчатых валов дизеля 2Д100 // Труды ВНИИЖТ. Вып.198. — М., 1960. — С. 15–34.
15. Мирза А. Н. Причины поломок коленчатых валов дизеля 2Д100 // Вестник ВНИИЖТ. — 1962. — № 3. — С. 45–48.



WORKING LIFE OF DIESEL ENGINES: A RETROSPECTIVE ANALYSIS

Sirotenko, Igor V. – Ph. D. (Tech.), senior researcher at the department of Traction rolling stock of JSC «VNIIZhT» (Russian Railway Research Institute), Moscow, Russia.

Gogrichiani, Georgy V. – D. Sc. (Tech.), professor, head of the post-graduate school of JSC «VNIIZhT» (Russian Railway Research Institute), Moscow, Russia.

ABSTRACT

This published review article shows that diesel engines of the first post World II generation were characterized by inherent structural deficiencies of new developments, unfinished ideas. The results of studies carried out in that period are considered, technical solutions taken at that time are critically analyzed, including those that aimed at addressing identified problems. The analysis allowed the authors, in particular, to draw conclusions that there were brands of used metals, wear resistance and fatigue strength of cast iron, features of bearing fillets, cylinder block group, the quality of welded joints that had fundamental importance for that generation of diesel engines. As follows from the obtained data, engine components are not equivalent in their impact on its reliability and working life, form a certain hierarchy as for their importance for design of the engine structure as a system.

ENGLISH SUMMARY

Background. Four decades – from the late 1940s to the early 1990s – were a period of development and testing of domestic diesel locomotives and diesel engines. In the course of this work the problem of reliability and working life remained one of the main ones, causing hard-calculable economic losses (sudden failures, unplanned repairs, etc.). Commissioning of a new diesel engine was accompanied, as a rule, by massive failures of important components and consequently by setting of multiple tasks for urgent solutions.

Objective. The objectives of the authors is to investigate diesel engines of the first post World war II generation, find out their advantages and disadvantages and to draw a conclusion on their working capacity.

Methods. The authors use historical retrospective method and engineering analysis.

Results.

1.

The main purpose of the first generation of diesel engines was to ensure transition from steam locomotive manufacture to a significantly more efficient type of traction – diesel locomotives. During the Second World War, engine building made a significant step forward; the new diesel engines used turbocharging, were faster, and had greater dimensions and weights.

Domestic engine-manufacturing problem was the lack of own prototypes, since engines produced at that time were obsolete and their modernization was essentially impossible. The role of prototypes was taken by the American samples, which were mounted on the equipment supplied under the military assistance [land-lease] – on locomotives (ALCO-539, Russian version was called D50), ships-icebreakers (Fairbanks Morse 10-38D8½-2D100). Locomotive diesel engines of the first generation had a common drawback of all copied models of equipment, which was lack of information on issues related to production and ensuring reliable operation of engine components. For example, it related to information on what design elements were key to risk situations, whether hardening technologies had been used in the manufacture of certain nodes and what this technology was.

The problems first appeared in diesel engines such as D50 (denoted by [national standards' system] 10150–88–6CHN31, 8/33, 1,000 hp at 740 rpm), produced since 1946. The engine was a four-cycle, six-cylinder with in-line cylinders, pulse turbocharging and intercooling, which was very progressive for engines of the postwar period. The engine based on molded cast-iron frame-crankcase, in transverse bulkheads of which seats of crankshaft bearings were located. A massive crankshaft of 2100 kg was located on them. Molded cast iron cylinder block was mounted on the top surface of the crankcase and was fastened thereto with tie rods. This design was characterized by a combination of nodes, excessive by weight, with reserves of a working life (cylinder block, crankshaft, cylinder head) and nodes with limited working life, requiring regular monitoring (pistons, crankshaft bearings).

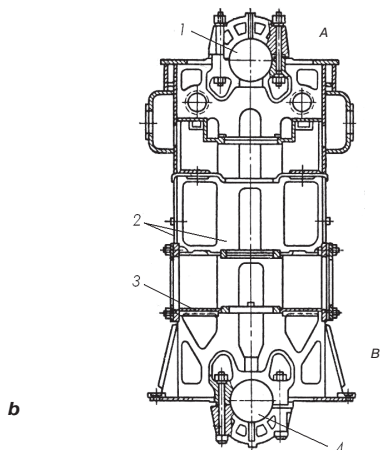
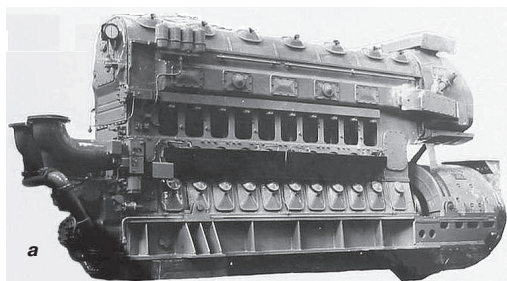
The most vulnerable in D50 were nodes of piston block – piston heads and compression rings. Piston design had no internal cooling; the greatest portion of heat within such a scheme was given to the cylinder liner, which served as the coolant through the piston rings. Gumming-up of upper O-rings occurred on pistons, they lost mobility, there were breakthroughs of gases in the crankcase, partial melting of heads and burnout [1].

There were various opinions about causes of failures. They presumably referred to a large proportion of idle operation, high content of sulfur in the fuel, etc. However, the paper [2] showed for the first time that the heat loads on the surface of the piston D50 were very close to the critical value at which the non-cooled unit was losing its efficiency, i. e. partial melting and burnout became natural. The problem was solved by replacing the piston head alloy with low thermal expansion LowEx with the alloy PS12 with high heat conductivity, increasing the thickness of the bottom to facilitate heat transfer to the rings, transfer of the first ring to a less heated zone and the change in its cross-section and material [3]. Due to this it became possible to reduce failures; but the problem was finally eliminated only after the transfer of diesel locomotives with diesel D50 from mainline operations to shunting work where the pistons suffered from a lower heat load.

Thus, the most critical elements in the design of the piston D50, as it was found, were heads of the piston and upper (compression) piston rings. Efficiency of heat removal, which was provided by these structural elements, determined performance of cylinder-piston block of diesel engine.

More serious problems arose during the commissioning of diesel engines such as 2D100 (10DN20, 7/2 × 25,4 of 2000 hp at 850 rpm). Locomotives with this diesel engine had to replace steam locomotives in freight and passenger traffic. Engine, simple in design and easy to manufacture (Pic. 1a), appeared for a long period since the mid-1950s to the early 1970s, to be the main one for domestic freight locomotive fleet, despite accompanying difficulties.

It was a two-cycle engine that had ten cylinders with two crankshafts – upper and lower, with opposed pistons and direct-flow slot drain of cylinders. In such a scheme technologically complex and unreliable



Pic. 1. Diesel 2D100.

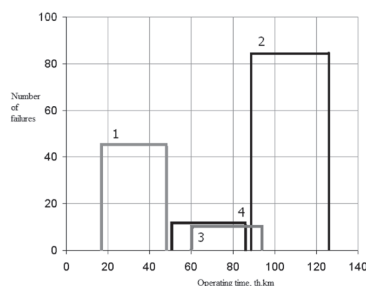
a – general view: 1 – upper shaft crankcase; 2 – lower shaft crankcase; 3 – vertical transmission compartment; 4 – solid displacement blower pump of ROOT type.

b – block of diesel engine, a cross-section: 1 – suspension node of the upper crankshaft; 2 – vertical sheets; 3 – horizontal sheets; 4 – suspension node of the lower crankshaft; A-B – places of cracks formation.

nodes were excluded. These features gave, as it seemed, advantages in terms of reliability. However, there were also shortcomings. The presence of the second crankshaft assembly of vertical transmission of power from the top to the bottom of the shaft complicated and charged diesel (it had 20 pistons, 44 crankshaft bearings). Respectively, engine failure due to accidental failure of any of its multiple nodes was more probable. The vertical arrangement of the nodes, including the presence of the crankshaft on the top, made it difficult to perform repair and maintenance of quite extensive cylinder-piston group, so maintainability of diesel was low.

By 1960, the fleet of these diesels exceeded a thousand units; period (mileage) between overhauls was set at just 600 th. km, and not less than one third of its locomotives had to be repaired ahead of schedule due to the failures of critical components. The greatest number of failures amounted to pistons, cylinder block, crankshaft [1, 4].

Piston of so-called original version was structurally different from the prototype, it was amended to adapt to the technology adopted at the producer factory. Piston had a composite structure, in the center of the head engine oil went through the hole in the rod. Under the influence of inertial forces oil was stirred up in the cavities between the housing and insert, extracted heat from hot surfaces and was



Pic. 2. Failures of pistons of 14A variant of diesels 2D100 (data [5]):

1 – cracks on streams; **2** – network of cracks of the bottom; **3** – through crack at the bottom; **4** – destruction of piston.

discharged through the tube section into the crankcase. After less than a year of work on the outside (fire) surface of the pistons small cracks appeared in the form of a net, through cracks in the center of the bottom and breaking of mounting studs were observed [5].

In addition to the initial version performance tests were conducted for pistons of four more experimental options – 14A, 14B, 14V, 22. At the designing stage an explicit decision was made to waive the cooling with churning as inefficient and to move to cooling of circulation type in which the oil flowed into the piston under pressure and moved to the inner cavity for a specific circuit, thereby effecting cooling, and then discharged to the crankcase (option 14A).

Mounting studs were upgraded. The piston of 14B type differed from the 14A type in location and configuration of cavities, versions 22 and 14V combined the structural elements of 14A, 14B and the initial piston version, the piston of 22 version had removable bottom to facilitate its restoration in case of damage (tests, however, were soon discontinued due to low reliability of removable connection). For all pistons the strength properties of the material of the head (gray iron) were increased by 40%, however thermal conductivity decreased slightly. The design of the diesel engine used a more advanced fuel injection equipment to prevent accidental approximation of the injector component flame to the bottom of the piston; there were oil pumps with capacity up to 100 m³/h instead of the earlier versions of 68–72 m³/h.

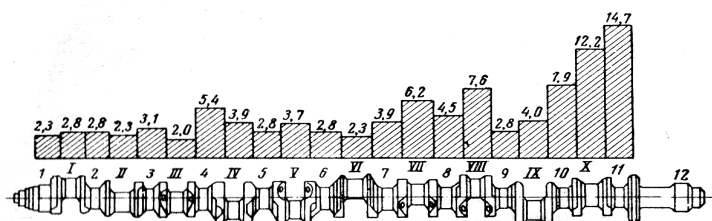
The test results were discouraging: netting of cracks similar to the one that was in the initial version, was observed at the pistons of all options. Moreover the engineers observed cracks on the streams to accommodate the piston rings (14A, 14B), internal cracks – on the edges of the head (14B), through cracks – at the bottom (14A, 14B), and other types of damages [5, 6]. For pistons of 14A type, for example, a net of cracks (82 damaged pistons, or 54%, Pic. 2) became apparent at a sufficiently high operating time – more than 90 th. km, which indicated a periodic overheating and accumulation on the surface of thermal fatigue damaged. Cracks on streams (46 cases, or 30%) were observed as a result of carbon deposits in the inner side cavities of the piston also due to overheating. At the same time, through cracks, damages of pistons had likely a random character.

Tests of pilot pistons continued, and by the beginning of the production of second-generation diesel engines (1960s) the causes of high failure rate were not identified.





Pic. 3. Distribution of damages of the upper crankshaft of diesel 2D100 on its elements in % of total damage [13].
I–X – crank journals;
1–12 – main journals.



Damages of pistons 2D100 were mostly of thermal nature: design changes were aimed at increasing the strength of the studs and their mounting, heat stability of the head, rational layout of the internal cavities for oil circulation.

The second place by frequency of failures was occupied by cylinder block with unusual, for that labour time, construction of vertical and horizontal rolling steel sheets (Pic. 1b), interconnected by electric welding using mainly fillet welds. Such a design is more time consuming and more expensive in comparison with molded and welded-molded blocks [7], but at the same time allowed to quickly master the production of the unit, for example, in wartime. In terms of specific weight (2,5 kg / hp) cylinder block was very light. Horizontal sheets formed together with vertical sheets a sort of cross-links or «floors» that increased the overall flexural rigidity. However, despite this, the whole structure had a large static deflection under its own weight, as well as deflections in vertical and horizontal planes [8, 9].

In the initial period of operation cracks were observed in welded seams, running into studs of the block, the most common damages were observed in connection node of indigenous supports (straps) of crankshafts with upper and lower horizontal plates of the block (Pic. 1b – A), in the anterior vertical sheet of control unit and in the place of coupling of the inclined and vertical plates with the bottom band (Pic. 1b – B). A residual deformation of the crankshaft bearing points was observed, wherein misalignment of the upper line of the crankshaft reached 0,18 mm [9, 10].

Subsequent overhauls revealed that at least 30% of diesels, arrived for repair, had inherent deformations of strain bearing of crankshafts (curvature of the shaft line, misalignment and crack). Damages were located closer to the support units of the crankshaft, horizontal sheets adjacent thereto (30% of cracks), and primarily – to the structural elements that received the load of the vertical transmission (50%). Attempts to strengthen the structural elements of the block, to improve the quality of boiling of seams did not bring the desired result, they only reduced the severity of the problem.

Thus, it had been found that the most loaded and damageable elements in cylinder blocks of diesel 2D100 were nodes of hanging upper and lower crankshafts with adjacent horizontal plates and vertical transmission compartment.

The crankshaft was the third in failure rate and the first in the consequences of those failures.

For the production of crankshafts 2D100 the technology of iron castings was applied, which was new for its time. Casting made it possible (as compared to conventional forging) to produce the elements of a more complex shape and with less consumption of the metal. The fact that the irons were inferior to alloy-treated steels in their strength properties, resistance to fatigue failure, was not considered

fundamental. In a constructive scheme crankshafts had the greatest (of the then known diesel engines) index of overlapping of center shafts (122 mm), a rational form of the cheeks and internal cavities [8, 7].

Low wear resistance of shaft journals surfaces was recorded at the very beginning of operation. Depreciation was on average three times higher than the predicted values and limited a working life of the crankshaft to 600 th. km run period [11]. There were also cases of fractures. With the increase in diesel locomotives and their service hours the problem of cracks and fractures came to the fore. On diesels, produced in 1956–1961 for this reason 33 to 40% of the crankshafts were changed [12], approximately in half of the cases it happened due to cracks that were detected during routine repairs after the engine had been lifted.

Damages of crankshaft were of fatigue nature, and their length distribution was fairly uniform (Pic. 3). «This uniformity indicates that the crankshaft of diesel engine 2D100 is quite equal in strength in neither by sections», as it was optimistically pointed out in [13]. Rather, it indicates that the loading conditions of the shaft all along were equally bad. The predominance of failures in the tenth crank and eleventh main journals was explained by ineffectual location of the bevel pinion of the vertical transmission causing additional shaft deflection, not compensated by its rigidity or structure of supporting nodes. A major influence on the stress-strain state of the shaft was provided, as it turned out, by the deformation of the shaft support units in the cylinder block and the presence of misalignment.

The first notable step to solving the problem was to strengthen the crankshaft due to replacement of the material – (alloyed iron Cr-Ni-Mo), from which it was originally casted on, with high-strength cast iron with globular graphite. Due to this change wear decreased by several times, but it did not influence the process of cracks and breaks appearance [14]. The assumption that new crankshafts had deviations in chemical composition, mechanical characteristics and structure had not been confirmed, studies showed that the quality of broken metal of shafts of high-strength cast iron was more than good [15], and therefore, structural elements were the most dangerous.

Transition fillets between the journal and cheek of the crankshaft, where the majority of cracks was formed [11], were recognized as most dangerous, as the radius of that unit was of only 8 mm. After rounding the fillet, increasing its radius from 8 to 12 mm, introduction of rolling technology, i. e. creation of compressive stress zones, which prevented the formation of sites of residual tensile stresses on the surface, the number of cracks and fractures decreased by 4,5–6 times.

So the transition fillets of main and crank journals on the cheeks of the shaft became in fact the most critical elements in the design of the crankshaft 2D100 determining the reliability of its work.

Conclusions. Drawing some conclusions about what has been written, it is necessary to note the following. The first generation of diesels shortly after the

start of their production got a series of apparent failures of the pistons (D50, 2D100), cylinder blocks, crankshafts (2D100). The prototype engines did not have so many damages of that kind. It is obvious that when copying technical solutions, important circumstances, known only to developers, were not taken into account. This refers to the material properties (important chemical components, required physical characteristics), to the role of certain constructive proposals that might have been simplified for greater workability, to hardening technology. It was found that for this generation of diesel engines the following characteristics were of a fundamental importance:

- Thermal conductivity of alloy for the piston head, durability of cast iron piston rings (D50);
- The stiffness and strength of the elements of the cylinder block, quality of welded joints (2D100);
- The material of the crankshaft (high-strength cast iron) with higher mechanical properties (wear resistance, fatigue limit), the rational design of fillets (corner radius) and their hardening (2D100).

The complexity of the situation was that the identified weaknesses were at the nodes of particular importance for the operation of the engine, and might lead to sudden failures. The importance in this case

refers, primarily, to the place of this node among other nodes in the design of a diesel engine as of a system defined by statistical frequency of failure of the diesel engine caused by a certain node's failure. We should note that the nodes or groups of nodes form conventional levels of significance, and thus constitute a kind of hierarchy, namely:

(1) *The crankshaft.* The engine is very sensitive to its failures. In 45–50% of the failures of crankshafts 2D100 («pure» breaks) the entire plant broke down. At the same time, the loading conditions of the crankshaft directly depend on the hardness and the state of the cylinder block bearing points, so the reference node of the crankshaft in the cylinder block must be included in this group.

(2) *The cylinder-piston group.* From 15 to 20% failures of pistons (destruction, through cracks) were fatal to the entire diesel, its working capacity.

This distribution is fixed according to data on the operational work of the first generation diesels. The analysis of characteristics of the engines of the second and third generations will expand and clarify the hierarchy of componentwise importance. The second part of the article will be devoted to it.

(To be continued)

Keywords: railway, history, diesel locomotive manufacturing, diesel locomotive, working life, failures, retrospective analysis, regularities of the postwar generation.

REFERENCES

1. Fufryanskiy, N.A. et al. Development and improvement of diesel traction [*Razvitiye i sovershenstvovanie teplovoznoy tyagi*]. Moscow, Transport publ., 1969, 304 p.
2. Volodin, A. I. The study of heat flows of diesel engines pistons [*Issledovanie teplovykh potokov porshney teplovoznnykh dizeley*]. Trudy VNIIZhT [Works of VNIIZhT], Iss. 40, Moscow, 1951, pp.70–96.
3. Grekov, K. A. On the sticking of piston rings in diesel engines D50 [*O prigrananii porshnevnykh kolets v teplovoznnykh dizeley D50*]. Vestnik mashinostroeniya. 1958, Iss. 4, pp. 27–32.
4. Fufryanskiy, N. A. Prospects for the development and improvement of diesel traction on the railways of the USSR [*Perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya teplovoznoy tyagi na zheleznykh dorogah SSSR*]. Trudy VNIIZhT [Works of VNIIZhT], Iss.198, Moscow, 1960, pp. 4–14.
5. Nasyrov, R. A. Studies on the work of pistons of diesel 2D100 [*Issledovaniya raboty porshney dizelya 2D100*]. Trudy VNIIZhT [Works of VNIIZhT], Iss.198, Moscow, 1960, pp. 74–84.
6. Nasyrov, R. A. Improving the reliability of pistons of diesel engines [*Povyshenie nadezhnosti raboty porshney teplovoznnykh dizeley*]. Moscow, Transport publ., 1977, 216 p.
7. Simson, A.E., Homich, A.Z., Kurits, A.A. et al. Diesel internal combustion engines [*Teplovoznnyye dvigateli vnutrennego sgoraniya*]. Moscow, Transport publ., 1987, 536 p.
8. Glagolev, N.M., Kurits, A.A., Vodolazhchenko, V.V., Bartosh, E. T. Diesel engines and gas turbines [*Teplovoznnyye dvigateli i gazovyye turbiny*]. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1957, 463 p.
9. Stetsenko, E. G. Measurement and recovery methods of geometric parameters of the diesel 2D100 units [*Izmereniya i metody vosstanovleniya nekotorykh*

geometricheskikh parametrov blokov dizelya 2D100]. Trudy VNIIZhT [Works of VNIIZhT], Iss.198, Moscow, 1960, pp. 47–55.

10. Shlyapin, V.B., Kraychik, M.M., Kotelnikov, V. L. Damage of blocks of diesel 2D100 and bogies of diesel-electric locomotives in operation and methods of repair with welding [*Povrezhdeniya blokov dizeley 2D100 i telezhek teplovoznov TE3 v ekspluatatsii i metody ih remonta svarkoy*]. Trudy VNIIZhT [Works of VNIIZhT], Iss.198, Moscow, 1960, pp.56–73.

11. Hmelevskiy, A. V. Wear and damage of crankshafts and wear of bearings of diesel 2D100 [*Izнос i povrezhdeniya kolenchatykh valov i izнос vkladyshey podshipnikov dizelya 2D100*]. Trudy VNIIZhT [Works of VNIIZhT], Iss.230, Moscow, 1962, pp. 19–45.

12. Zhuk E. I. Increasing longevity of cast crankshafts of diesel engines [*Povyshenie dolgovechnosti litykh kolenchatykh valov teplovoznnykh dizeley*]. Moscow, NIINFORMTYaZhMASH, series Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engines], Iss. № 10–66–3, 1966, 40 p.

13. Stetsenko, E.G., Shkolnik, L.M. et al. Improvement of reliability and durability of crankshafts of transport diesels [*Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti kolenchatykh valov transportnykh dizeley*]. Moscow, Transport publ., 1965, 137 p.

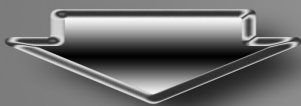
14. Dombrovskiy K. I., Hmelevskiy A. V., Rezakov V. G. On the wear of crankshafts of the diesel engine 2D100 [*Ob iznose kolenchatykh valov dizelya 2D100*]. Trudy VNIIZhT [Works of VNIIZhT], Iss.198, Moscow, 1960, pp. 15–34.

15. Mirza, A. N. Reasons for failures of crankshafts of diesel 2D100 [*Prichiny polomok kolenchatykh valov dizelya 2D100*]. Vestnik VNIIZhT [Herald of VNIIZhT], 1962, Iss. 3, pp. 45–48.

Координаты авторов (contact information): Сиротенко И. В. (Sirotenko, I. V.) – sirotenko.igor@vniizht.ru, Гогриччани Г. В. (Gogrichiani, G. V.) – (499) 260–41–32.

Статья поступила в редакцию / article received 02.07.2014, rev.09.09.2014
Принята к публикации / article accepted 15.10.2014





Результаты съезда по каменноугольному кризису и вторая Екатерининская дорога

В последнее время в газетах было посвящено немало статей этому кризису; но мы полагаем достаточным привести здесь резюме трудов занимавшегося им съезда и для этого воспользоваться статьей г-на Инженера «По поводу каменноугольного кризиса», помещенную в № 8614 «Нового времени». Впрочем, и в данном случае ограничимся существенной частью статьи.

Съезд компетентных лиц и углепромышленников по уничтожению угольного голода закончил свои занятия, и теперь потребители могут спокойно ожидать будущего, которое сулит им только на два года недостаток угля, а затем начнется перепроизводство, что видно из ниже приводимых данных.

Предполагается добыть: в 1901 г. — 801800000 п., в 1902 г. — 896000000 п., в 1903 г. — 970300000 п., в 1904 г. — 1030000000 п., с устройством же новых ветвей добыча увеличивается еще в 1901 г. на 38000000 п., в 1902 г. — на 120000000 п., в 1903 г. — на 174000000 п., в 1904 г. — на 254000000 п. Потребление же выразится: в 1901 г. — 924000000 п., в 1902 г. — 1028000000 п., в 1903 г. — 1100000000 п., в 1904 г. — 1184000000 пудов. Таким образом, определится недостаток угля в 1901 г. в 85000000 п., в 1902 г. — 12000000 п., и превышение добычи над потреблением: 1903 г. — в 44000000 п., 1904 г. — 100000000 пудов.

Следовательно, через два, много через три года можем ожидать нового съезда для принятия мер к устранению причин тяжелого положения наших углепромышленников, иначе говоря — в продолжение 2-х лет мы успеем перейти от одной крайности к другой. Однако при близком изучении всех причин, вызвавших угольный кризис, придется согласиться с мнениями тех, которые не рассчитывают на полное уничтожение кризиса, а следовательно, и на понижение цен, и для выяснения этого вопроса мы постараемся разобрать значение указанных причин, которых насчитывают три: 1) недостаток в железнодорожных ветвях и вагонах; 2) прекратившийся за по-

следнее время прилив иностранных капиталов, служащих для расширения дел и устройства новых; 3) недостаток в рабочих руках.

Недостаток вагонов, а частью и некоторых железнодорожных линий, по нашему глубокому убеждению, если и имеет влияние, то только второстепенное...

Прекращение прилива иностранных капиталов вполне объясняется тем, что многие угольные предприятия обманули надежды иностранных акционеров, деньги которых не столько пошли на дело, сколько на куртажи. Этим объясняется, почему многие прекрасные угольные дела, крупные по акционерным капиталам, не могут довести своей производительности до требуемых размеров из-за отсутствия необходимых для этого средств и дать какой-либо доход, а поэтому рассчитывать на появление новых иностранных капиталов, в особенности при предполагаемом перепроизводстве, нельзя. Остается надежда на своих капиталистов, туго идущих на такие рискованные и трудные предприятия, какими считаются каменноугольные, почему и расчеты на возникновение новых предприятий — более чем рискованны.

Остается, наконец, рабочий вопрос, составляющий основную причину наших кризисов, потому что настоящего горнорабочего мы не имеем.

С этим обстоятельством необходимо считаться, и пока на него не будет обращено серьезное внимание, пока не примут меры к подготовке постоянных рабочих путем организации оседлых горных поселений, пока коренным образом не улучшатся условия жизни горнорабочих и техниче-

ские условия разработки каменноугольных месторождений, — до тех пор кризисы не исчезнут.

Если число рабочих в каменноугольных копях в период с 1897 по 1900 г. увеличилось с 46000 до 60000, причем эти годы отличались крупными периодами, то мало есть оснований рассчитывать на более быстрое увеличение числа горнорабочих в следующее 4-летие, а их потребуется в 1901 г. — 100000, 1902 г. — 114000, 1903 г. — 123000 и 1904 г. — 130000. Система пользования для горных работ рабочими, привлекаемыми из нуждающихся местностей, серьезной пользы искоренению угольных кризисов принести не может...

Есть еще особенность в положении нашего каменноугольного дела, заключающаяся в том, что поставщиком кокса и угля в пределах всей Европейской России является пока один Донецкий бассейн и что ограниченное число его коксующихся углей, как это было выяснено на последнем съезде углепромышленников, расходует неправильно. Если высказанные на съезде предположения о запасах коксующихся углей подтвердятся, то едва ли можно рассчитывать на значительное развитие в будущем нашей металлургической промышленности. Допуская даже возможность открытия в Донецком бассейне новых коксующихся углей, все-таки при быстром развитии нашей промышленности и возрастании потребления минерального топлива нельзя рассчитывать на то, чтобы он один мог поставлять по нормальным ценам каменный уголь во все концы Европейской России, и мы вполне присоединяемся



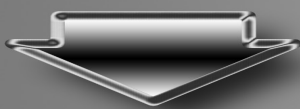
к мнению, высказанному на съезде, о необходимости подробного исследования и других месторождений каменного и бурого углей и оказания содействия их распространению...

Поучительным в этом отношении для нас примером может служить Германия, потребляющая ежегодно свыше 1,5 миллиарда пудов бурого угля...»

Мы привели эту заметку по связи ее со статьей о том же кризисе, которая разбирает вопрос с точки зрения железных дорог, перевозящих в Донецком бассейне каменный уголь... К сказанному же г-м Инженером можем прибавить теперь лишь то, что ввиду громадного роста потребности в каменном угле предположено уже построить вторую Екатеринбургскую железную дорогу, которая начнется от Ингульца, перейдет Днепр у Александровска и направится через Пологи и Волноваху к Дебальцеву, и что движение по этой новой дороге предполагается открыть осенью 1902 г.

(Железнодорожное дело. — 1900. — № 67. — С. 74–76)

Из фондов библиотеки МИИТ •



NEWS FROM... THE ARCHIVES

Results of the Congress on coal crisis and second Ekaterinburg railway

We reprint an article compiled from issue 67 of the journal *Railway Business* of 1900 (pp. 74–76). The article summarizes the problems that coal industry had more than a century ago and that have certain semblance with modern situation. The coal

industry had to solve the issues of insufficiency of railways and rail cars, lack of investment for further development, deficiency of staff and workforce with necessary skills and competences.

We express gratitude to the Library of MIIT University for the assistance.





Яркий луч впереди паровоза



Николай ГРИГОРЬЕВ

Nickolai D. GRIGORIEV

Этому человеку в истории мировой и отечественной электрофизики принадлежит одна из наиболее запоминающихся страниц. В XIX веке он стал обладателем признанных всем цивилизованным миром изобретений и патентов, в том числе «свечи Яблочкова» и способы использования эффекта «дробления света» в многоэлементных электрических цепях переменного тока. Благодаря ему «русский свет» обеспечил яркую ночную жизнь крупнейшим европейским городам, дал электрическое освещение кораблям и поездам, многим объектам общественной инфраструктуры. И при этом – драматичная судьба ученого, ранняя смерть, незавершенные планы и проекты.

Ключевые слова: электрофизика, свеча Яблочкова, электрическое освещение, генераторы, электросеть, трансформатор, история, биография.

Григорьев Николай Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

ПРИГЛАШЕНИЕ ОТ ВЕЛИКОГО КНЯЗЯ

17 июня 1877 года свечи Яблочкова осветили Вест-Индские доки в Лондоне, а затем мост Ватерлоо, залы в Кенсингтонском и Британском музеях, часть набережной р. Темза, отель «Метрополь», Гатфильдский замок, Вестгейтские морские пляжи.

Казалось, тьма отступала, и электричество брало свое. Но не отступали конкуренты. Никто ничего добровольно отдавать не хотел.

Акционеры могущественных английских газовых компаний пустили в ход все средства, вплоть до явных обманов, клеветы и подкупов, чтобы дискредитировать способ освещения по системе Яблочкова. По их настоянию английский парламент учредил специальную комиссию, в которую вошли и выдающиеся ученые того времени В. Томсон (лорд Кельвин), Д. Тиндаль и другие фигуры. Им предстояло рассмотреть вопрос о допустимости широкого использования электрического освещения в Британской империи.

Все неудачи, неизбежные при новизне дела, преувеличивались и раздувались в многочисленных статьях, описывались воображаемые катастрофы, к которым может при-

(Окончание. Начало в предыдущем номере «МТ»)

вести применение электрического света. Сторонники газового освещения указывали на опасность электричества для жизни, трудность дробления света, вредное влияние на глаза и т. п. В протоколах комиссии было записано: «Что касается электрического света, то английские леди весьма им недовольны: они находят, что он придает какую-то мертвенность физиономии». После длительных дебатов и заслушивания свидетельских показаний нашлось среди членов комиссии немало ярых противников электрических свечей, посчитавших, что в Лондоне оно дороже газового. Сторонников оказалось меньше.

Почти одновременно с Англией свечи Яблочкова осветили помещение торговой конторы Ю. Михаэлиса в Берлине, Национальную улицу, площадь Колона и древний памятник архитектуры — развалины Колизея в Риме, Фольскгартен в Вене. С исключительной быстротой новое электрическое освещение было установлено на площадях, улицах, в морских портах, магазинах, театрах и дворцах Бельгии, Испании, Португалии, Швеции, других стран Европы и за ее пределами. «Русский свет» вспыхнул в Сан-Франциско и 26 декабря 1878 года в магазинах Винемара в Филадельфии (США), в Рио-де-Жанейро (Бразилия) и городах Мексики. Появился он в Дели, Калькутте, Мадрасе. Персидский шах и король Камбоджи осветили им свои дворцы.

Ни одно из изобретений в области электротехники не получало столь быстрого и широкого распространения, как свечи Яблочкова. Это был триумф русского инженера. После его работ стало ясно, что электрическое освещение — способ самый удобный, дешевый и многообещающий. Свеча имела небольшую мощность и была пригодна для освещения небольших помещений. Группы таких светильников могли обеспечить более равномерное распределение световых потоков по помещению, чем посредством газовых ламп и дуговых прожекторов. К тому же быстро падали на нее цены. Например, за два года с марта 1878 по март 1880 года цены на свечу упали в 2 раза.

Во французском патенте № 120684, выданном изобретателю 11 октября 1877 года, были предложены конденсаторы в виде стопки (блока) металлических пластин или полосок фольги с находящимися между ними



изоляционными слоями (пластинами). Они представляли собой свернутые в рулон листы оловянной фольги, разделенные слоями пластыря и гуттаперчи (природный водонепроницаемый изоляционный материал; продукт стужения или слипания коллоидных частиц млечного сока в процессе броуновского движения). Четные металлические пластины или полоски фольги были соединены между собой одним общим проводником, а нечетные — другим. Блоки могли монтироваться параллельно или последовательно. Такая пакетная конструкция конденсаторов ныне имеет широкое распространение.

В дополнение к этому патенту 12 октября 1878 года Яблочков заявил свои права на устройство конденсатора из металлических листов, покрытых изолирующим веществом и с целью повышения электрической прочности и емкости, погруженных еще и в резервуар с изолирующей жидкостью. Это изобретение стало предшественником конструкции оксидного электролитического конденсатора с рекордно большими удельными и абсолютными емкостями, запатентованного вскоре после смерти автора. В электролитическом конденсаторе диэлектриком выступает оксидный слой, образующийся при электролизе на поверхности металла, который является одной обкладкой. Другой обкладкой служит электролит, необходимый для существования оксидного слоя, толщина которого при небольших напряжениях меньше микрометра.

В магнитодинамоэлектрической машине переменного тока, на которую Яблочков взял французский патент № 119702 в 1877 году, не было подвижных обмоток и скользящих контактов. Намагничивающая обмотка и обмотка, в которой наводилась ЭДС, оставались





неподвижными. Вращался зубчатый железный диск, менявший при вращении магнитный поток, пронизывающий обмотку с ЭДС. Этот принцип работы машины используется в современных индукторных генераторах переменного тока.

Конструировавшиеся в то время мало-мощные генераторы, приводимые в движение от трансмиссионных валов посредством ременных передач, устанавливались на электростанциях десятками и препятствовали распространению электрического освещения. Разработанный Яблочковым мощный генератор переменного тока имел вращающиеся электромагниты (ротор), полюсы которых имели геликоидальную (спиральную винтовую) форму. Он считал, что небольшому угловому движению будет соответствовать значительное перемещение магнитного полюса, а это даст возможность применять меньшие скорости вращения.

Преимущества сконструированных в тот период машин Яблочкова перед другими распространенными тогда генераторами А. В. Сименса и З. Т. Грамма были значительными. В машине Сименса ток получался во вращающемся якоре, что приводило к изнашиванию коллекторно-щеточного механизма и искрению из-за сравнительно высокого напряжения в цепи. В машине Грамма обмотки, в которых наводились ЭДС, неподвижны, но они имели кольцеобразную форму, что вносило немалые неудобства при изготовлении машины или исправлении поврежденных обмоток.

Генераторы Яблочкова не препятствовали увеличению их размера и мощности, как система Грамма. Можно было, не останавливая машину, выключить поврежденную катушку, вынуть ее и заменить другой. По сути, это были двухфазные синхронные машины с электрически несвязанными обмотками. Многофазный генератор с электрически связанными обмотками Яблочков построить сразу не решился. Он хотел совместить в одной машине несколько отдельных генераторов, в конце концов получилось четыре. Это был первый многофазный генератор переменного тока, примененный на практике для питания отдельных групп свечей и допускающий дробление света. Расположение полюсов на роторе, устройство неподвижного якоря (статора), подвод тока к обмотке возбужде-

ния посредством щеток и двух колец сохранились в синхронных машинах и в настоящее время.

На Всемирной Парижской выставке 1878 года система электрического освещения Яблочкова была полностью закончена для ее практического употребления и имела огромный успех. Его свечи и каолиновая лампа привлекали всех посетителей выставки. Работами русского изобретателя заинтересовалась Парижская академия наук, образовавшая комиссию, в состав которой вошли знаменитые ученые А. Сен-Клер-Девиль, Э. Беккерель, П. Бертело и др.

Было установлено, что Яблочков добился полнейшего дробления, постоянства и возможности разделения электрического света во всех пропорциях: малых, средних и больших. В «Известиях Парижской академии наук» сообщалось: «Свеча Яблочкова вызвала в Париже, как и, впрочем, в других местах, целое движение в пользу электрического освещения. Ей безусловно мы обязаны тем, что электрическое освещение стало обычным способом. По справедливости в истории возникновения электрического освещения ей нужно отвести очень заметное место, которого она вполне заслуживает».

Имя изобретателя сделалось известным всему миру. Однако и здесь на выставке он вел упорную и успешную полемику с ополчившимися на него многочисленными недоброжелателями (в основном с представителями газовых компаний). Ему приходилось опровергать их ложные измышления о недостатках изобретения.

Выставку посетил Великий князь Константин Николаевич (второй сын императора Николая I), генерал-адмирал (высший военно-морской чин), стоявший во главе Морского ведомства. Он, увлекшись изобретениями и идеями Яблочкова, предложил ему финансовую помощь и содействие к перенесению деятельности в Россию.

НОЧНОЕ ОРУЖИЕ ВОЕННЫХ КОРАБЛЕЙ

Став знаменитым и очень богатым (имел репутацию миллионера), в 1878 году Яблочков, предварительно расплатившись с кредиторами в России, вернулся на родину. Его всюду приглашали, в газетах и журналах ему посвящались статьи, везде продавались портреты. Он совместно с поклонниками элект-

трического освещения, среди которых были промышленники, финансисты и военные, учредил в Санкт-Петербурге акционерную компанию «Товарищество электрического освещения и изготовления электрических машин и аппаратов П. Н. Яблочков-изобретатель и Компания». Был заключен договор с Санкт-Петербургским электромеханическим заводом на Обводном канале об изготовлении свечей и других деталей. За право эксплуатации своих изобретений в России ученому пришлось выкупить французские патенты № № 112024, 115793 и 120684, заплатив парижской компании чрезмерно высокую цену их акциями, которые приносили ему большой доход. Этот благородный и патриотический поступок затем тяжело отразился на его материальном положении.

Впервые в России электрические свечи были установлены в Кронштадте. 11 октября 1878 года они осветили казармы учебного экипажа и площади перед домом командира морского порта. В ноябре их свет достиг Зимнего дворца, а весной следующего года военные корабли «Петр Великий» и «Вице-адмирал Попов» вышли в море, освещенные прожекторами. Эти системы освещения изобретатель готовил особенно тщательно, поскольку удача могла привлечь морское министерство, важного заказчика.

Удачно было выполнено освещение Дворцового и Литейного мостов через Неву, ряда заводов (Балтийского, Обуховского, Ижорского и др.), переборочной мастерской Охтенского капсюльного завода (позволило улучшить условия труда), богатых особняков, некоторых ресторанов и прочих крупных объектов столицы России. Затем восемь шаровых светильников засияли на площади перед Александринским театром в Санкт-Петербурге.

С весны 1879 года товарищество «Яблочков-изобретатель и К^о» начало сооружать установки электрического освещения в Москве, Подмоскowie, Ораниенбауме (ныне Ломоносов в Ленинградской области), Киеве, Нижнем Новгороде, Гельсингфорсе (ныне Хельсинки, столица Финляндии), Одессе, Харькове, Николаеве, Брянске, Архангельске, Полтаве, Красноводске, Екатеринодаре (ныне Краснодар), Саратове и других городах Российской империи.

Но наибольшее число фонарей с электрическими свечами было установлено на воен-

ных судах и в портах Балтийского и Черного морей, на заводах военного и военно-морского ведомств. Пресса Великобритании того времени писала, что успех русских в борьбе с турецким флотом, во главе которого стоял адмирал Гобарт-паша, во многом предопределило умелое применение на русском флоте электроосветительных установок.

Изобретатель везде был техническим руководителем при разработке планов, проектов, монтаже и наладивании системы электрического освещения. И снова ему, как и за границей, пришлось выдерживать конкуренцию с могущественными газовыми компаниями, которые стремились через своих сторонников дискредитировать благое дело. Петербургская Городская дума, как только истек срок контракта на электрическое освещение Литейного моста, отказалась его продлевать. Яблочкову пришлось многократно выступать в защиту своих идей и полемизировать с их противниками. Он говорил о световых качествах и простоте свечей, настаивал на том, что с их помощью ему удалось решить вопрос о дроблении света и тем самым сделать электрическое освещение конкурентоспособным с газовым. Все это отнимало много сил и времени.

2 апреля 1879 года Яблочков сделал доклад «Об электрическом освещении» в Русском техническом обществе (РТО). Через 10 дней им здесь же была прочитана публичная лекция с многочисленными демонстрациями. 14 апреля Павла Николаевича наградили именной медалью РТО.

В том же году Яблочков взял французскую привилегию на электростатический генератор для получения переменного или выпрямленного тока. Машина состояла из ряда дисков с острыми зубцами по окружности, укрепленными на вращающемся валу. Зубцы входили в соответствующие промежутки между рядом неподвижных заряженных дисков. Заряды, наводимые в подвижных дисках, передавались во внешнюю цепь. Над этими типами генераторов работают и современные конструкторы.

30 января 1880 года в Санкт-Петербурге на первом учредительном собрании электротехнического (VI) отдела РТО он стал непременным членом общества и был избран «кандидатом в председатели» (заместителем председателя). Совместно с В. Н. Чиколевым,



Д. А. Лачиновым и А. Н. Лодыгиным изобретатель в 1880 году инициировал создание одного из старейших российских технических журналов «Электричество». В 1880-1882 годах Яблочков вместе с Чиколевым делил пост первого главного редактора этого издания.

Первую в мире сугубо электрическую выставку (за год до будущей парижской) организовали по инициативе Павла Николаевича в 1880 году в Санкт-Петербурге, спустя несколько месяцев после учреждения VI отдела РТО. Освещала выставку, естественно, система Яблочкова. По стенам были развешены схемы и объяснительные рисунки, поясняющие способы соединения свечей в фонарях и фонарей между собой, другие особенности проводных сетей. Экспонировались принадлежности для электрического освещения (подсвечники, матовые шары, кронштейны и т. п.) и измерительные приборы, изготовлявшиеся заводом акционерного общества «Яблочков-изобретатель и К^о». Это были первые электротехнические измерительные приборы не только в России, но и мире. Тут же демонстрировались динамоэлектромашин (генераторы) для питания свечей.

В связи с применением переменных токов для питания свечей Яблочкова в 1880 году возник вопрос о влиянии электрических проводов на связь. Электротехнический отдел и созданная по его инициативе особая комиссия, в которую входил и Яблочков, проведя ряд опытов, пришли к заключению, что даже при весьма небольшом расстоянии индуктивное действие токов на провода связи столь незначительно, что оно не влияет на работу телеграфных аппаратов и реле и едва чувствуется телефонами. Это заключение имело в то время громадное значение, оно успокоило министерство внутренних дел, ведавшее электрическими сооружениями, и телеграфную администрацию, от которых зависело разрешение на прокладку проводов для электротехнических целей.

ОРДЕН ПОЧЕТНОГО ЛЕГИОНА

В конце 1880 года из-за недостатка денежных средств, плохих технических и промышленных условий и отношений высших полицейских властей с Великим князем Константином Николаевичем, на которого верхи смотрели недоброжелательно, Яблочков бедным опять переехал в Париж. И сразу приступил к подготовке первой (официаль-

ной, в отличие от петербургской) международной электротехнической выставки, которая открылась 1 августа 1881 года. На ней вновь демонстрировалось электрическое освещение по системе Яблочкова с применением переменного тока, трансформаторов, конденсаторов и свечей. Его изобретения получили внеконкурсную высшую оценку жюри. Но выставка явилась триумфом лампы накаливания, изобретенной в России Лодыгиным и доведенной до товарного продукта Эдисоном в США. Она могла гореть 800–1000 часов без замены, ее можно было много раз зажигать и гасить.

В 1877 году русский морской офицер А. Н. Хотинский принимал в Америке крейсера, построенные по заказу России. Он посетил лабораторию Эдисона и передал ему лампу накаливания Лодыгина и свечу Яблочкова со схемой дробления света. Эдисон внес некоторые усовершенствования и в ноябре 1879 года получил на них патент как на свои изобретения и наладил их массовое производство. Яблочков выступил в печати против американца, заявив, что он украл у русских не только их мысли и идеи, но и их изобретения. Патент Эдисона в США судом был аннулирован. И тем не менее производство ламп никто не отменил.

Между тем, Яблочкову довелось участвовать в работе первого международного конгресса электриков, проходившего в 1881 году в Париже во Дворце Елисейских полей (ныне резиденция президента Франции) и установившего систему практических электрических единиц. Участие в конгрессе и выставке послужило поводом отметить выдающиеся заслуги Павла Николаевича в электротехнике, ему был вручен французский орден Почетного легиона.

В январе 1882 года VI отделом РТО в Санкт-Петербурге была организована вторая электрическая выставка. На ней поместили все экспонаты Русского отдела Парижской международной электрической выставки и дополнительно — каолиновые лампы Яблочкова и его трансформаторы. Демонстрировались опыты питания ряда свечей от общего генератора переменного тока посредством трансформаторов.

В том же году освещение парижского проспекта Оперы электрическими свечами заменили на газовые горелки. За границей был выпущен дуговой фонарь с дифференциаль-

ным регулятором под именем лампы Гефнера-Альтенка. Переход к более мощным лампам накаливания с вольфрамовой нитью, созданных Лодыгиным, сузил область применения и дуговых фонарей. У электрической свечи из-за невысокого срока службы, неуправляемости характеристик, отсутствия мобильности и возможности регулирования оказались серьезные соперники, и она, поначалу вызвав бурный рост электротехнической промышленности во всем мире, спустя пять лет после этого окончательно уступила позиции лампе накаливания.

Кстати говоря, дуговая угольная лампа до сих пор применяется в прожекторах, кино-проекторных аппаратах и мощных облучательных установках. Поиск более эффективных средств оптического излучения вернул к дуговым лампам, но работающим уже на иных принципах. Начиная с 30-х годов XX века получили распространение созданные под руководством академика С. И. Вавилова источники света, в которых используется излучение, возникающее при электрическом разряде в инертных газах или парах металлов (в основном ртути, натрия). Сейчас наиболее широко для освещения помещений, сооружений, в копировальных аппаратах, световой рекламе применяются экономичные ртутные лампы низкого давления (люминесцентные). При подключении лампы к источнику переменного тока между ее электродами возникает электрический ток, возбуждающий ультрафиолетовое свечение атомов ртути, которое вызывает свечение люминофорного слоя. Световая отдача и срок службы люминесцентных ламп в несколько раз больше, чем ламп накаливания того же назначения.

Ртутные лампы высокого давления состоят из внутренней кварцевой «горелки» и внешней стеклянной колбы. В лампе типа ДРЛ ультрафиолетовое излучение переводится в видимую область посредством люминофора, нанесенного на внешнюю колбу. В ней 4-электродная горелка помимо ртути заполнена смесью инертных газов (аргон + 1% неон), обеспечивающей минимальное значение напряжения при возникновении вспомогательного и основного разрядов. Вспомогательные электроды в ДРЛ осуществляют функцию поджига основного разряда, благодаря которому лампы до 400 Вт могут зажигаться при температуре выше -25°C от сете-

вого напряжения 220 В без дополнительных импульсных устройств.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ имеют высокую световую отдачу (90 лм/Вт), но не могут работать без импульсного зажигающего устройства.

Изобретение прозрачной керамической оболочки из поликристаллической окиси алюминия с рабочими температурами $1500\text{--}1600^{\circ}\text{C}$ позволило создать высокоинтенсивные натриевые источники света ДНаТ. В них поджигающим газом служит ксенон, а буферным — пары ртути. Качество цветопередачи улучшается повышением содержания паров ртути или введением других элементов. Светоотдача у ламп 140 лм/Вт. Самые новейшие виды — высокоинтенсивные серные источники света.

Массовое применение получили мобильные и регулируемые полупроводниковые светильники со светодиодами, которые излучают белый, оранжевый, желтый, зеленый, синий, голубой, красный света и еще экономичнее и долговечнее, чем люминесцентные лампы. Источники излучения на основе светодиодов имеют хорошие эксплуатационные характеристики: не боятся изменений давления, механических нагрузок и температуры окружающей среды (работают от -55°C до 85°C), отличаются большим сроком службы (до 50000 часов), надежностью, экологичностью, компактностью, простотой схемы включения, электробезопасностью. Для увеличения мощности и улучшения светопередачи светодиоды собирают в модули.

ПАТЕНТ НА АВТОАККУМУЛЯТОР

В 1882 году Яблочков подал патентную заявку на динамомашину, отличающуюся тем, что с целью увеличения ЭДС при той же скорости вращения у нее оси статора (неподвижной системы катушек) и ротора (подвижной системы обмоток) наклонены к оси вращения.

Запатентованный им в том же году электродвигатель был рассчитан на очень малое число оборотов, необходимость в котором вызывалась тем, что употреблявшиеся в то время механизмы были приспособлены к тихоходным паровым машинам. Потом он изобрел электродвигатель под названием клиптический, способный работать при питании постоянным и переменным напряже-





нием, и генератор переменного тока с наклонными пазами. Ныне в синхронных генераторах также применяется скос пазов на величину зубцового деления.

Наличие пазов на статоре электрической машины искажает кривую магнитного поля в воздушном зазоре между якорем (статором) и индуктором (ротором), поскольку силовые линии стягиваются на зубцы. На основную гармонику магнитного поля полюсов и пазов как бы накладываются дополнительные гармоники, называемые зубцовыми. В электрических машинах с целым числом пазов на полюс-фазу происходит многократное увеличение ЭДС тех высших гармоник, которые индуктируются гармониками магнитного поля близкого или кратного к количеству зубцов на пару полюсов. При указанном значении скоса пазов ЭДС от зубцовых гармоник магнитного поля значительно ослабляются, а ЭДС, наводимая в проводниках обмотки якоря от основной гармоники, уменьшается только примерно на 1% из-за незначительного скоса пазов.

Электрические машины Яблочкова не получили распространения, потому что у изобретателя не оказалось достаточных материальных средств, чтобы наладить их промышленное производство. Он не умел, как Эдисон, пускать свои разработки в промышленный оборот с расчетом использовать полученные материальные средства для продолжения исследований, изготовления устройств, экспериментирования и внедрения их в практику.

Яблочков занимался разработкой и новых гальванических элементов. Сначала он стремился получить электрическую энергию путем непосредственного расходования угля в гальваническом элементе, минуя применение паровой машины. Электролитом служила расплавленная селитра (нитрат аммония), залитая в чугунный цилиндр и являвшаяся в то же время источником кислорода для горения угля и деполяризатором. В цилиндр опускалась проволочная корзина с коксом, который становился катодом. Внесение в селитру солей некоторых металлов позволяло регулировать интенсивность процесса горения. Этот сухой элемент давал ток, превосходящий ток применявшегося тогда жидкостного гальванического элемента Р. В. Бунзена.

В другом элементе Яблочкова источником кислорода являлась вода. Позднее изобрета-

тель перешел к элементам, в которых вместо угля применялся натрий или другие сильно окисляющиеся щелочные металлы. Они не требовали присутствия жидкости и были им названы «сухими элементами». Их действие основывалось на окислении натрия при комнатной температуре. Натрий, служащий катодом, в этом случае отделен от угля или другого проводника пластинкой пористого изолятора. Кислород воздуха, окисляющий натрий, проникал к нему через пористый анод и пористый изолятор. Задняя поверхность натриевой пластинки была покрыта слоем лака, препятствующим непосредственному окислению ее воздухом. Элемент с натрием прошел несколько различных модификаций.

Работы с химическими источниками тока оказались опасными для жизни. В 1884 году при проведении экспериментов с натриевой аккумуляторной батареей мощностью 40 лошадиных сил (29,44 кВт) от воспламенения водорода произошел взрыв, перешедший в пожар. Окна в лаборатории были выбиты, комната наполнилась газом. Изобретатель чуть не погиб, он стал задыхаться от продуктов горения и уже лежал без сознания с опаленной бородой, когда к нему пожарные Парижа пришли на помощь.

Вредным процессом в гальванических элементах является поляризация анода, представляющая собой накопление около него водорода, который мешает прохождению тока. Яблочков воспользовался поляризацией анода для создания особого трех-электродного элемента. В центральной части этого цилиндрического элемента катодом служил сильно окисляющийся штабик из натрия, анодом — сравнительно слабо окисляющийся цинковый цилиндр. Во внешней части того же элемента анодом был неокисляющийся уголь, катодом — цинк. Уголь постоянно поляризовался, но вместе с тем поглощал кислород из воздуха, что приводило к непрерывному уничтожению поляризации путем соединения кислорода с поляризующим уголь водородом. Этот тип гальванического элемента Павел Николаевич назвал «автоаккумулятором» и запатентовал в 1885 году. Тогда же он представил доклад о принципах действия этого элемента в Парижскую Академию наук. Его автоаккумулятор явился прототипом предложенных позднее гальванических элементов с «воздушной деполяризацией».

Появление электрического освещения по системе Яблочкова вызвало к жизни электрические блок-станции для одного дома (без передачи энергии на большие расстояния). Первая такая станция была создана в 1876 году в Париже, а в 1879 году — в Санкт-Петербурге для освещения Литейного моста (при участии изобретателя), в 1882 году — в Москве в Лубянском пассаже.

В 1885 году ученый предложил централизованное производство электрической энергии и метод ее передачи на расстояние при помощи высоковольтного переменного тока. Он рекомендовал для повышения напряжения пользоваться индукционными катушками. Через шесть лет передачу на 175 км электрической мощности свыше 75 кВт с повышением трансформаторами напряжения до 15 кВ осуществил российский инженер Доливо-Добровольский, создав трехфазную систему переменного тока. Идея Яблочкова о централизованном производстве и распределении электрической энергии после этого стала претворяться в жизнь, началось строительство электростанций переменного тока.

На третьей отечественной электрической выставке, открывшейся в январе 1885 года, завод Яблочкова экспонировал свои лампы накаливания мощностью 45 Вт и аккумуляторы. За них предприятие получило высшую награду, медаль РТО.

В 1887 году изобретателю выдан патент на метод гальванической деполяризации. В последних типах разработанных им гальванических элементов он лужением цинкового катода боролся с его засорением окисью цинка. Засорение пор угля было устранено устройством элемента из тонкой деревянной перегородки с очень малыми пористыми отверстиями, не пропускающими засоряющие частицы солей к углю, и механической подачей в него под давлением газов. Впоследствии деревянные сепараторы нашли применение в конструкциях свинцовых кислотных аккумуляторов.

ЧЕЛОВЕК ВЫСОКОГО РОСТА

В 1889 году Яблочков был членом жюри по классу XV (точная механика, научные приборы), председателем русского комитета и устройтелем русского электротехнического отдела Парижской выставки. Экспонирова-

лись его свечи в количестве 166 экземпляров, демонстрировалось применение трансформаторов и были показаны наиболее совершенные варианты системы электрического освещения со свечами. Но практических последствий для него это уже иметь не могло.

На выставке ученый познакомился с ювелиром из Голландии, который сообщил ему о возможности обогащения на разности в цене белых и желтых бриллиантов, добываемых в Капской колонии Великобритании (ныне провинция в ЮАР на крайнем юго-западе Африканского континента), если будет найден способ обесцвечивания последних. Нуждавшийся в материальных средствах для своих основных работ, Павел Николаевич стал проводить опыты обесцвечивания желтых бриллиантов хлором при высокой температуре.

Теперь известно, что хлор является ядовитым газом. Он раздражает слизистые оболочки и дыхательную систему. Вступает в реакцию с влагой человеческого тела с образованием соляной HCl и хлорноватистой HClO кислот, а при высоких концентрациях вызывает спазмы мускулов гортани и опухоли слизистых оболочек, что приводит к удушью. При нагревании на свету происходит моментальная реакция хлора с водородом (смесь этих газов взрывоопасна). В нагретом состоянии хлор легко взаимодействует с органическими веществами, образуя хлористый водород, хлорорганические соединения (с предельными и ароматическими углеводородами) и углерод (с непредельными углеводородами), который выделяется в виде сажи.

Хлор имеет резкий запах и токсичен, относится ко второму классу опасности вредных веществ. Предельно допустимая концентрация (ПДК) этого газа в воздухе рабочей зоны в настоящее время равна 1 мг/м³. Люди быстро теряют способность определять запах хлора в малых концентрациях, поэтому значения этого газа, превышающие пороговые, могут не поддаваться немедленному обнаружению. Трехкратное превышение ПДК хлора при длительном вдыхании воздуха вызывает ослабление легочной функции, а пятикратное приводит к заболеванию бронхов и создает предрасположенность к туберкулезу. Острая интоксикация хлора вызывает раздражение слизистых оболочек глаз, носа, гортани,





распространяемое на грудную клетку и сопровождаемое глущей болью. Начинается рефлекторный кашель, иногда сильный, приводящий к рвоте. Вдыхание большого количества хлора приводит к отеку легких, падению кровяного давления и остановке сердца через несколько минут.

При проведении экспериментов Яблочков хлором сжег слизистую оболочку легких и с тех пор стал задыхаться. Потом стали опухать ноги. Многолетняя усиленная работа, душевные волнения, вызванные неудачей любимого дела, привели к двум последовавшим подряд инсультам.

Поправившись, Павел Николаевич в декабре 1892 года возвратился в Россию. В Санкт-Петербурге его встречали холодно, точно он мало кому был известен. Изменилось отношение предпринимателей к нему и его идеям. На изобретателя банкиры стали смотреть как на неудачника, которому рискованно доверять деньги. Он опять сильно заболел, очень мучился грудной болезнью и кашлем. Чувствовались усталость, последствия отравления хлором, взрыва натриевой аккумуляторной батареи и перенесенных инсультов.

Яблочков решил поправить здоровье в родных местах с сухим и теплым климатом и выехал в Аткарский уезд Саратовской губернии, где близ села Колено находилось доставшееся ему по наследству небольшое имение Двоенки. Побыв в нем недолго, он вначале переехал в Сердобский уезд, к старшей сестре, поместье которой находилось в селе Иваново-Кулики, а затем в конце ноября 1893 года в Саратов, намереваясь заняться научными исследованиями.

Но его здоровье все ухудшалось. Затруднялось дыхание, слабело сердце, что повлекло за собой водянку (скопление жидкости в полостях тела, подкожной клетчатке ног и других тканях). Ноги совсем опухли и почти не двигались. Перестал выходить на прогулки, хотя и раньше не любил гулять из-за роста 2 аршина и 14 вершков (около 2 м), поскольку обращал на себя, как ему казалось, чрезмерное внимание.

Всеми забытый, почти без средств к существованию знаменитый изобретатель, впервые в мире внедривший в практику электрическое освещение, доживал по-

следние дни. 31 (19 — по старому стилю) марта 1894 года в возрасте 46 лет он скончался. Его похоронили на окраине села Сапожок Сердобского уезда Саратовской губернии, в ограде приходской Михайло-Архангельской церкви в фамильном склепе.

Много бумаг, записок и заметок Яблочкова пропало бесследно. О многих его начинаниях в воздухоплавании, по поводу механической тяги на дорогах (была взята им привилегия на электромобиль) сохранились только предания. Про изобретателя первого трансформатора, утвердившего электрический свет в умах людей, вначале забыли и вспомнили лишь тогда, когда между американскими и европейскими фирмами начались споры о патентах.

Именно так, в небескорыстных судебных дискуссиях, был установлен, между прочим, приоритет Яблочкова в изобретении вторичного генератора тока (трансформатора), позволившего создать современные электрические сети. Кто эксплуатирует этот приоритет — вопрос, скорее всего, «праздный». Но в наши дни суммарная мощность трансформаторов повышающих и понижающих подстанций почти в 10 раз превышает общую установленную мощность синхронных генераторов электрических станций. Факт красноречивый. Самодостаточный.

В конце 30-х годов прошлого века церковь в их приходе была разрушена. Пострадал и склеп Яблочковых. Накануне 100-летия ученого по заданию президента АН СССР С. И. Вавилова юбилейная комиссия после длительных поисков и опроса местных жителей в Сердобском районе Пензенской области и Ртищевском районе Саратовской области и изучения материалов в Саратовском областном архиве нашла его могилу. На ней в 1952 году установили Павлу Николаевичу Яблочкову памятник-монумент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Забаринский П. П. Яблочков. — М.: Молодая гвардия, 1938. — 172 с.
2. Белькинд Л. Д. Павел Николаевич Яблочков. 1847—1894. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 269 с.
3. Шателен М. А. Русские электротехники XIX века. — М.: Госэнергоиздат, 1955. — 432 с.
4. Веселовский О. Н., Шнейберг Я. А. Очерки по истории электротехники. — М.: Изд-во МЭИ, 1993. — 252 с.

BRIGHT BEAM IN FRONT OF A LOCOMOTIVE

(End. Beginning in a previous issue of *World of Transport and Transportation Journal*)

Grigoriev, Nikolai D. – Ph.D. (Tech.), associate professor at the department of Electric engineering, metrology and power engineering of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

Pavel Yablochkov owns one of the most memorable pages in the history of world and domestic electrophysics. In XIX century he became a holder of inventions and patents recognized by the entire civilized world of «Yablochkov candle» and ways to use the effect of «light fragmentation» in the multi-element electric alternating current circuits, etc. Thanks to him, «Russian light» provided a vibrant nightlife to major European cities, gave electric lighting to ships and trains, other public infrastructure facilities. And at the same time the author of the article highlights a dramatic fate of the scientist, early death, unfinished plans and projects.

Invitation from Grand Duke

On the 17th of June, 1877 Yablochkov candle lightened West Indian docks in London, and then Waterloo bridge, halls of Kensington and British Museums, part of embankment of the river Thames, the hotel «Metropol», Hatfield castle, Westgate sea beaches.

It seemed that the darkness stepped back, and electricity took its course. But competitors did not retreat. Nobody wanted to give back anything voluntarily.

Shareholders of powerful British gas companies set all means in motion, up to obvious deceptions, slander and bribes to discredit an illumination method developed by Yablochkov. On their insistence, the British Parliament established a special commission, which included outstanding scientists of the time W. Thomson (Lord Kelvin), J. Tyndall and other persons. They had to consider the admissibility of widespread use of electric lighting in the British Empire.

All failures, which are inevitable in case of the novelty of the case, were exaggerated and were blown about in numerous articles; imaginary catastrophes were described, which might result from the use of electric light. Supporters of gas lighting pointed to the danger of electricity for life, the difficulty of light fragmentation, harmful effects on the eyes, etc. The minutes of the commission stated: «With regard to the electric light, the English ladies are very unhappy: they find that it gives some deadness to their face». Long debates and hearing of witnesses revealed many vigorous opponents of electric candles among members of the commission, considering that in London they were more expensive than gas. Supporters turned out to be in the minority.

Almost simultaneously with England Yablochkov candles lighted rooms of trading firm J. Michaelis in Berlin, National street, Colonnade square and the ruins of the Colosseum in Rome, Folskgarten in Vienna. With exceptional speed new electric lighting was installed in squares, streets, in ports, shops, theaters and palaces of Belgium, Spain, Portugal, Sweden and other countries in Europe and beyond. «Russian Light» flashed up in San Francisco and on the 26th of December 1878 in Vine-mar's stores in Philadelphia (USA), in Rio de Janeiro (Brazil) and cities in Mexico. It appeared in New Delhi, Calcutta, Madras. The Shah of Persia and the King of Cambodia let it lighten their palaces.

None of the inventions in the field of electrical engineering had received such a rapid and widespread occurrence as Yablochkov candles. It was a triumph of the Russian engineer. After his work, it became clear that the electric light is the most convenient, cheapest and promising way of lighting. The candle had little power and was suitable for lighting of small spaces.

Groups of such lamps could provide a more uniform light distribution throughout the room than gas lamps and arc lamp projectors. Moreover, price for it decreased rapidly. For example, during two years from March 1878 to March 1880 the price of the candle had fallen by 2 times.

French Patent № 120684, issued to inventor on the 11th of October 1877 proposed capacitors as a stack (block) of metal plates or strips of foil with insulating layers (plates) located between them. They were rolled-up sheets of tin foil, separated by layers of plaster and gutta-percha (a natural waterproof insulation material, the product of condensation or coalescence of colloidal particles of the latex in the Brownian motion). Even metal plates or foil strips were interconnected by a common conductor, while the odd plate or foil strips were interconnected by another one. The blocks could be mounted in parallel or in series. This packet design of capacitors is widespread today.

In addition to that patent on the 12th of October 1878 Yablochkov claimed his rights to the condenser unit from metal sheets coated with an insulating material and immersed in a tank with an insulating liquid to improve electric strength and capacity. This invention was a predecessor of a structure of the oxide electrolytic capacitor with record high specific and absolute capacities patented soon after the author's death. In the electrolytic capacitor dielectric is an oxide layer formed during electrolysis on the metal surface, which is one armature. The other armature is an electrolyte needed for the existence of an oxide layer which thickness is less than a micrometer under smaller voltages.

In magnet dynamoelectric AC machine, on which Yablochkov took out French patent № 119702 in 1877, there were no moving windings and sliding contacts. Magnetizing winding and winding, in which EMF was induced, remained motionless. Ridged iron disk was rotating, changing during the rotation a magnetic flux, penetrating the winding with EMF. This principle of operation of the machine is used in modern inductor alternators.

Low-power generators, designed at that time, geared from transmission shafts via a belt drive, were installed in power plants and prevented the spread of electric lighting. A powerful alternator, developed by Yablochkov, had rotating electromagnets (rotor), the poles of which had a helical (spiral helical) form. He believed that a small angular motion will correspond to significant movement of the magnetic pole, and this will provide an opportunity to use a smaller rotation speed.

Advantages of machines, constructed by Yablochkov in that period of time, over generators of A. V. Siemens and Z. T. Gramm were significant. In Siemens' machine current was generated in a rotating armature, leading to wear of collector-brush gear and flashover due to relatively high voltage in the circuit. In Gram's machine windings, in which EMF was induced, were stationary, but they had a ring shape that made a lot of inconvenience for manufacture of machines and repairing of the windings.

Generators of Yablochkov did not prevent an increase in their size and power, as the system of Gramm. It was possible without stopping the machine, to turn off the damaged coil, remove it and replace it by another one. In fact, they were two-phase synchronous machines with electrically unconnected windings. Yabloch-



kov did not decide to build a multiphase generator with electrically connected windings immediately. He wanted to combine in one machine several individual generators, in the end he got four. It was the first multiphase AC generator, applied in practice for the supply of certain groups of candles and allowing fragmentation of light. Location of the poles on the rotor, stationary armature unit (stator), the current supply to the excitation winding through the brushes and two rings have been preserved in the synchronous machine till present.

At Paris World Exhibition of 1878, Yablochkov's electric lighting system was presented as completely finished for its practical use and was a huge success. His candles and kaolin lamp attracted all visitors. Works of Russian inventor got the interest of members of Paris Academy of Sciences, where a commission was formed, which included well-known scientists A. Saint-Clair-Deville, E. Becquerel, P. Berthelot et al.

It was found that Yablochkov achieved full fragmentation, constancy, and the possibility of separation of electric light in all proportions: small, medium and large. «Proceedings of Paris Academy of Sciences» reported: «Yablochkov candle caused in Paris, as well as, indeed, elsewhere, a movement in favor of electric lighting. We are obliged to it certainly by the fact that electric lighting became a usual way. Equitably in the history of the electric light it should take a very prominent place, which it deserves».

Inventor's name was known all over the world. However, at that exhibition he engaged in persistent and successful controversy with numerous detractors (mostly with representatives of gas companies). He had to refute their false allegations about the shortcomings of the present invention.

The exhibition was visited by Russian Grand Duke Konstantin Nikolaevich (the second son of Emperor Nicholas I), General-Admiral (the highest naval rank), who headed the Naval Department. He was fascinated by inventions and ideas of Yablochkov and offered him financial assistance and cooperation to transfer his activities to Russia.

Night weapon of warships

Becoming famous and very rich (he had a reputation as a millionaire), in 1878, Yablochkov, paid off his creditors in Russia and returned to his homeland. He was invited everywhere, in newspapers and magazines articles were dedicated to him, everywhere his portraits were sold. He together with adorers of electric lighting, among whom there were industrialists, financiers and the military, established in St. Petersburg a stock company «Association of electric lighting and manufacture of electrical machinery and apparatus P. N. Yablochkov- inventor and company». A contract was signed with St. Petersburg electromechanical factory on Obvodny canal on the manufacture of candles and other items. To obtain the right to exploit his inventions in Russia the scientist had to buy French patents № 112024, 115793 and 120684, paying the Parisian company an exorbitant price with their shares, which otherwise would have brought him a large income. This noble and patriotic act then had a severe impact on his financial position.

For the first time in Russia electric candles were installed in Kronstadt. On the 1st of October 1878, they lit up the quarters of the training crew and squares in front of the house of the commander of the port. In November, their light reached the Winter Palace, and in the spring of next year warships «Peter the Great» and «Vice-Admiral Popov» put out to sea, illuminated by spotlights. The inventor prepared these lighting systems very carefully, as luck would attract the Admiralty, an important customer.



Then the lighting of the Palace and Liteyny bridges across the Neva, a number of factories (Baltic, Obukhov, Izhorsk et al.), sorting-out workshop of Okhta primer plant (thus improving working conditions), rich mansions, some restaurants and other large objects of the Russian capital was carried out successfully. Then eight ball lights shone on the square in front of Alexandrinsky Theatre in St. Petersburg.

In the spring of 1879 the association «Yablochkov-inventor and Co.» began to install of electric lighting in Moscow, Moscow region, Oranienbaum (now Lomonosov in Leningrad region), Kiev, Nizhny Novgorod, Helsingfors (now Helsinki, capital of Finland), Odessa, Kharkiv, Nikolayev, Bryansk, Arkhangelsk, Poltava, Krasnovodsk, Ekaterinodar (now Krasnodar), Saratov and other cities of the Russian Empire.

But the greatest number of lamps with electric candles was installed on warships and in ports of the Baltic and Black Seas, in the factories of the military and naval ministries. Press of the UK at that time wrote that the Russian success in the fight against the Turkish fleet, headed by Admiral Hobart Pasha (Augustus Charles Hobart-Hampden), was largely determined by the skillful application of electric light installations in the Russian navy.

The inventor was a technical leader in the development of plans, projects, installation and establishment of the system of electric lighting everywhere. And again, he, like abroad, had to compete with powerful gas companies, who sought through their supporters to discredit a good work. St. Petersburg City Council, as soon as the contract for electric lighting of Liteyny Bridge expired, refused to renew it. Yablochkov had to repeatedly stand for his candles and debate with his opponents. He talked about the light quality and ease of his candles, insisted that with their help he was able to solve the problem of fragmentation of light and thus make electric lighting competitive with gas. All this took a lot of time and effort.

On the 2nd of April, 1879 Yablochkov made a report «On the electric light» in the Russian Technical Society (hereinafter-RTS). After 10 days, he gave a public lecture, accompanied by numerous demonstrations. On the 14th of April Pavel Nikolayevich was awarded a medal of RTS.

In the same year Yablochkov took a French privilege on electrostatic generator to produce AC or rectified current. That machine consisted of a series of disks with sharp teeth circumferentially, fixed to the rotating shaft. Teeth were in appropriate intervals between several fixed charged disks. Charges, induced in moving disks, were transferred to an external circuit. Modern engineers are working now to further develop these types of generators.

On the 30th of January, 1880 in St. Petersburg, on the first constituent assembly of electrical (VI) department of RTS, he became a permanent member of the society and was elected «candidate for chairman» (deputy chairman). Together with V. N. Chikolev, D. A. Lachinov and A. N. Lodygin the inventor in 1880 initiated the creation of one of the oldest Russian technical journals «Electricity». In the years 1880–1882, Yablochkov together with Chikolev was the first editor-in-chief of the journal.

The world first purely electric exhibition (the year before the future one in Paris), was organized on the initiative of Yablochkov in 1880 in St. Petersburg, a few months after the establishment of VI department of RTS. The exhibition, of course, was illuminated using the system of Yablochkov. Diagrams, charts and explanatory drawings illustrating the methods of candles connection in lanterns and lanterns to each other, other features of the wired networks were installed on the walls. Accessories for electric lighting (candle holders, frosted balls, brackets, etc.) and measuring instruments were exhibited, which were produced by the plant of the stock company «Yablochkov-inventor and Co». Those were the first electrical measuring instruments, not only in Russia, but also in the world. Dynamo-electric machines (generators) were demonstrated feeding the of candles.

In connection with the use of alternating currents to supply Yablochkov candles in 1880 a question arose about the influence of the electrical wires on communication. Electrical Division and a special commission created on its initiative, which also included Yablochkov, conducted a series of experiments, and finally came to the conclusion that even with a very small distance inductive effect of the currents on the wires of communication was so insignificant that it did not affect the operation of telegraph and relay, barely affected phones. This conclusion was of enormous importance at that time, it calmed the Ministry of the Interior, which was in charge of electrical installations, and telegraph administration, which both influenced authorisation procedure concerning wired installations for electrical purposes.

Legion of Honor

At the end of 1880 due to lack of funds, poor technical and industrial conditions and relations of higher police authorities with the Grand Duke Konstantin Nikolaevich, who was accepted unfriendly by high-ranked authorities, Yablochkov, being poor at that time, moved to Paris again. And immediately he began to prepare for the first (official, in contrast to St. Petersburg), International Electrical engineering exhibition, which opened on the 1st of August, 1881. It once again demonstrated the electric lighting system of Yablochkov with AC, transformers, capacitors, and candles. His inventions received the highest out-of-competition assessment of jury. But the exhibition was a triumph of the incandescent lamp, invented in Russia by Lodygin and brought to a marketable product by Edison in the United States. It could be alight for 800–1000 hours without replacement, it could be turned on and off many times.

In 1877, the Russian naval officer A. N. Khotinsky was charged to take in the USA some cruisers, built by order of Russia. He visited the laboratory of Edison and gave him the incandescent lamp of Lodygin and Yablochkov candle with scheme of light fragmentation. Edison made some improvements, and in November 1879 he received a patent for them as for his inventions and established mass production. Yablochkov drew a pen against the American, claiming that he had stolen from Russians not only their thoughts and ideas, but also their inventions. Edison's patent was cancelled by court

in the United States. Nevertheless, nobody cancelled the production of incandescent lamps.

Meanwhile, Yablochkov participated in the First International Congress of Electricians, held in 1881 in Paris at the Palais des Champs-Élysées (now the residence of the President of France), and set a system of practical electrical units. Participation in the congress and exhibition served as an occasion to note outstanding achievements of Yablochkov in electrical engineering, he was recipient of the French National Order of the Legion of Honour.

In January 1882 VI department of RTS in St. Petersburg organized the second electric exhibition. It demonstrated all exhibits of the Russian department of Paris Electrical Engineering Exhibition of 1881, and further developments like kaolin lamps of Yablochkov and transformers. Experiments were demonstrated on supplying a number of candles from common alternator through transformers.

In 1882, the illumination of Paris Opéra prospectus with electric candles was replaced by gas burners. Abroad arc lamp was produced with a differential controller named lamp of Hefner-Alteneck (F.H.Ph. F. von Hefner-Alteneck). Transition to more powerful incandescent lamps with a tungsten filament, created by Lodygin narrowed the scope of application of arc lamps. Electric candles due to the low service life, uncontrollability of characteristics, lack of mobility and control got serious contenders, and having caused rapid growth of the electrical industry in the world, five years later it finally gave way to incandescent lamps.

Incidentally, carbon arc lamp is still used in spotlights, film projector and powerful irradiators. The search for more effective means of optical radiation returned to arc lamps, but working on different principles. From the 30s of the XX century light sources using the radiation produced by electric discharge in inert gases or vapors of metals (mainly mercury, sodium) became widespread, e.g. those created under the guidance of academician S. I. Vavilov. Currently, economical low-pressure mercury lamps (fluorescent) are widely used to illuminate premises, facilities, copiers, illuminated advertisement. When connecting the lamp to AC power between its electrodes, an electric current appears, exciting the ultraviolet emission of mercury atoms, resulting in glow of the phosphor layer. Luminous efficiency and lifetime of the fluorescent lamps are several times higher than features of incandescent lamps of the same purpose.

High pressure mercury lamps consist of an internal quartz «burner» and outer glass bulb. In the mercury arc lamp ultraviolet radiation is transferred into a visual area through the phosphor coated on the outer bulb. In it four-electrode burner besides mercury is filled with a mixture of inert gases (argon + 1% neon), providing the minimum value of voltage when an auxiliary and a main discharges arise. Auxiliary electrodes in mercury arc lamp perform ignition of the main discharge, whereby lamps up to 400 W can ignite at temperatures above –25 °C from the line voltage of 220 V without additional impulse devices.

Metal halide lamps of mercury arc lamps with iodides type have a high luminous efficiency (90 lm / W), but cannot work without a pulse ignitor.

The invention of a transparent ceramic shell of polycrystalline alumina with operating temperatures of 1500–1600 °C made it possible to create high-intensity sodium arc lamps. Their igniter gas is xenon; a buffer gas is mercury vapor. Color quality is improved with increasing content of mercury vapor, or the introduction of other elements. Luminous efficiency of these lamps





236

is 140 lm/W. The newest types are high-intensity sulfur light sources.

Mobile and adjustable semiconductor lamps with LEDs that emit white, orange, yellow, green, blue, cyan, red lights find widespread use; they are more economical and durable than fluorescent lamps. Radiation sources based on LEDs have good performance: they are not affected by pressure changes, mechanical loads and ambient temperature (work from -55°C to 85°C), characterized by a long service life (up to 50 000 hours), reliability, environmental friendliness, compactness, easy scheme of switching, electrical safety. To increase capacity and improve light transmission LEDs are assembled in modules.

Patent for automatic battery

In 1882 Yablochkov filed a patent application on the dynamo, that in order to increase EMF at the same speed of rotation its stator axis (stationary coil system) and the rotor (the moving coil system) are inclined to the axis of rotation.

He patented in the same year the motor, which was designed for a very small number of turns, the need for which was caused by the fact that mechanisms applied at that time were adapted to the low-speed steam engines. Then he invented the electric motor called cliptic, capable of operating at DC and AC voltage, and alternator with sweep slots. Now, in synchronous generators slot skewing is also used at the value of slot pitch.

Slots in the stator of the electric machine impair a curve of magnetic field in the air gap between an armature (stator) and an inductor (rotor), because the force lines are drawn on the tooth group. Additional harmonics called tooth harmonics are somewhat superimposed on fundamental harmonic component of the magnetic field of poles and slots. In electrical machines with an integer number of slots per pole-phase a multiple increase in EMF occurs up to the higher harmonics, which are induced by harmonics of the magnetic field close to or divisible by the number of teeth per a pair of poles. At the indicated value of slot skewing EMF of the tooth harmonics of the magnetic field considerably weakens, and EMF induced in the conductors of the armature winding of the fundamental harmonic is reduced only by about 1% due to a slight slot skewing.

Electric machines of Yablochkov did not become widespread, because the inventor did not have sufficient funds to develop their commercial production. He could not, like Edison, bring his developments into business intercourse intending to use received funds for further research, manufacture of devices, experimentation and further practical implementation.

Yablochkov engaged in the development of new electrochemical cells. At first he tried to get electricity by direct consumption of coal in a galvanic cell, bypassing the use of the steam engine. The electrolyte was molten nitrate (ammonium nitrate), poured into the cast iron cylinder and was at the same time a source of oxygen for the combustion of coal and polarizer. A wire basket with coke which then became a cathode, was put into a cylinder. Adding to the nitrate salts of certain metals enabled to adjust the intensity of the combustion process. This dry element generated the current, exceeding the current of liquid electrochemical cell (zinc-carbon primary cell) of R. V. Bunsen, applied at that time.

In another Yablochkov's cell oxygen was produced out of water. Later, the inventor turned to the elements in which the coal was used instead of sodium or other strong oxidized alkali metals. They did not require the presence of liquid and he called them «dry cells». Their effect was based on the oxidation of sodium at room temperature. Sodium serving as a cathode in this case

is separated from the coal or other conductor with a plate of the porous insulator. Atmospheric oxygen, oxidizing sodium, penetrated to him through the porous anode and a porous insulator. The rear surface of the sodium plate was covered with a layer of varnish which prevented it from the direct oxidation by the air. The cell with sodium went through several different modifications.

Work with chemical current sources was life-threatening. In 1884, during the experiments with the sodium battery with capacity of 40 horsepower (29,44 kW) ignition of hydrogen caused an explosion, transformed into a fire. Windows were broken in the laboratory; the room was filled with gas. The inventor was almost killed; he began to choke with combustion products and was lying unconscious with a singed beard, when Paris firemen came to rescue him.

A harmful process in electrochemical cells is polarization of the anode, i. e. accumulation of hydrogen near the anode, which prevents the passage of current. Yablochkov used anode polarization to create a special three-electrode cell. In the central part of the cylindrical cell the cathode was a strong oxidizing rod of sodium, the anode was a relatively weak oxidizing zinc cylinder. In the outer part of the same cell the anode was non-oxidizing carbon, the cathode was zinc. Coal permanently polarized, but nevertheless absorbed oxygen from the air, which led to continuous destruction of polarization by compounding oxygen with hydrogen polarizing coal. Yablochkov called this type of electrochemical cell «automatic (or auto-) battery» and patented it in 1885. Then he presented a report on the operating principles of this cell in Paris Academy of Sciences. His battery was a prototype of galvanic cells with «air depolarization», proposed later.

The appearance of electric lighting of Yablochkov's system brought to life electric isolated block-plant for one building (without power transmission over long distances). The first such station was installed in 1876 in Paris, the second one was engineered in 1879 – in St. Petersburg for lighting of Liteyny Bridge (with the participation of the inventor), and the next one was engineered in 1882 for Moscow Lubyanka shopping mall.

In 1885, the scientist suggested centralized generation of electricity and the method of its transmission over a distance by means of high-voltage alternating current. He recommended the use of induction coils to increase the voltage. Six years later, a Russian engineer Dolivo-Dobrovolsky carried out transmission of electric power of more than 75 kW over 175 km with an increase in voltage by transformers up to 15 kV, creating a three-phase AC system. The idea of Yablochkov on a centralized generation and distribution of electric energy then began to be put into practice; the construction of the AC power stations began.

At the third domestic electrical exhibition, which opened in January 1885, Yablochkov's plant exhibited its incandescent lamps of 45W and batteries. For them, the company received the highest award, the medal of RTS.

In 1887, the inventor took out a patent for the method of galvanic depolarization. In the latter types of electrochemical cells designed by him he, using tin coating of the zinc cathode, struggled with its clogging with zinc oxide. Clogging of coal pores was removed by device element of a thin wooden partition with very small porous holes, not carrying contaminating particles of salts to the coal and with power feed of gases to it under the pressure. Subsequently wooden separators began to be used in the construction of lead acid batteries.

A tall man

In 1889, Yablochkov was a jury member in the class XV (precision mechanics, scientific instruments), chairman of the Russian Committee and organizer of Russian Electrical Engineering Department at Paris exhibition. He exhibited 166 candles, demonstrated the use of transformers, and the most advanced versions of the system of electric lighting with candles were shown. But all this could not have any practical implications for him.

At the exhibition the scientist met with a jeweler from the Netherlands, who informed him about the possibility of enrichment on the difference in the price of white and yellow diamonds, mined in the Cape Colony of Great Britain (now provinces of the Republic of South Africa), if a way of decoloration of the latter was found. Yablochkov, who needed financial assets for his major works, began to conduct experiments with chlorine decoloration of yellow diamonds at high temperature.

It is now known that chlorine is a poisonous gas. It exasperates mucous membranes and respiratory system. It reacts with the moisture of the human body to form hydrochloric HCl and hypochlorous HClO acids, and at high concentrations causes muscle spasm of the larynx and tumors of mucous membranes, causing suffocation. When heated, on the light chloride immediately reacts with hydrogen (a mixture of these gases is explosive). In the heated state chlorine readily reacts with organic compounds to form hydrogen chloride, chlorine organic compounds (with saturated and aromatic hydrocarbons) and carbon (with unsaturated hydrocarbons), which is released in the form of hydrocarbon black.

Chlorine has a strong odor and toxicity, belongs to the second class of dangerous harmful substances. Maximum allowable concentration (MAC) of this gas in the air of the working area is now equal to 1 mg / m³. People quickly lose the ability to detect the odor of chlorine in small concentrations, so the value of this gas in excess of the threshold, may not be amenable to immediate detection. Threefold excess of MAC of chlorine during prolonged inhalation of air causes a weakening of lung function, and a five-fold excess leads to disease of the bronchi and creates a predisposition to tuberculosis. Acute toxicity of chlorine causes irritation of eyes, nose, throat, extending to the chest and accompanied by burning pain. Reflex cough starts, sometimes strong, leading to vomiting. Inhalation of large amount of chlorine leads to pulmonary edema, drop in blood pressure and heart failure after a few minutes.

In the experiments chlorine burned mucous membrane of the lungs of the inventor and since then Yablochkov began to choke. Then legs started to swell up. Many years of intensive work, the anxiety caused by the failure of his favorite activity, led to two subsequent consecutive strokes.

Recovered, in December 1892 Yablochkov returned to Russia. In St. Petersburg, he was received

coldly, as if he was known to very few people. The attitude of entrepreneurs to him and his ideas changed. Bankers began to consider him as a loser, who was risky to trust money to. He became very ill again, suffered from chest disease and cough.

Yablochkov decided to improve health in his native places with dry and warm climate and went to Atkarsk district of Saratov province, where near the village Kolenko he had inherited a small estate Dvoenko. After staying there for a short time, he first moved to Serdobsky district, to an elder sister, whose estate was located in the village Ivanovo-Kuliki, and then in late November 1893 to Saratov, intending to do research.

But his health deteriorated. He had difficulties with breathing, heart weakened, which resulted in a hydrocele (fluid accumulation in the body cavities, subcutaneous tissue of legs and other tissues). Legs had quite swollen and almost did not move. He stopped going out for a walk, although previously he did not enjoy walking either because of being tall (about 2 m), since it seemed to him that too much attention was paid to him.

Neglected, almost destitute famous inventor, the world's first to introduce the practice of electric lighting, lived his last days. On the 31st (or on the 19th according to Russian old style Julian calendar) of March 1894 at age 46, he died. He was buried on the outskirts of the village Sapozhok of Serdobsky district, Saratov region, in the churchyard of the parish church of the Archangel Michael in the family vault.

A lot of papers, notes and memos of Yablochkov disappeared without a trace. Only legends remained on many of his endeavors in aeronautics, mechanical traction on the road (he took a privilege on an electric car). The inventor of the first transformer was first forgotten and only when American and European firms began arguing about patents, people remembered him.

In the judicial debate, among other things, Yablochkov's priority was set in the invention of secondary current generator (transformer), which made it possible to create a modern electric network. The question about who enjoys this priority is likely to be an «idle» issue. But these days, the total power of transformers of raising and lowering substations exceeds almost by 10 times the total installed capacity of synchronous generators of power plants. This fact is eloquent.

In the late 30-ies of the last century, the church in their parish was destroyed. Yablochkov's family vault was damaged also. On the eve of the 100th anniversary of the scientist on the instructions of the President of USSR Academy of Science S. I. Vavilov jubilee committee found his grave after a long search and a survey of local residents in Serdobsky district of Penza region and Rtishchevsky district of Saratov region and upon learning materials in the Saratov regional archives. There in 1952, a monument to Pavel Nikolayevich Yablochkov was erected.

Keywords: electrophysics, Yablochkov candle, electric lighting, generators, power line, transformer, history, biography.

REFERENCES

1. Zabarinskiy, P. P. Yablochkov. Moscow, Molodaya gvardiya publ., 1938, 172 p.
2. Belkind, L. D. Pavel Nikolaevich Yablochkov. 1847–1894. Moscow, Izd-tvo AN SSSR publ., 1962, 269 p.
3. Shatelen, M. A. Russian electrical engineers of XIX

century [Russkie elektrotehniki XIX veka]. Moscow, Gosenergoizdat publ., 1955, 432 p.

4. Veselovskiy, O. N., Shneyberg, Ya. A. Essays on the history of electrical engineering [Ocherki po istorii elektrotehniki]. Moscow, Izd-vo MEI publ., 1993, 252 p.

Координаты автора (contact information): Григорьев Н. Д. (Grigoriev, N. D.) – (495) 684–21–19.

Статья поступила в редакцию / article received 17.12.2013

Принята к публикации / article accepted 25.02.2014





Пассажирский вагон плавно прошел свой путь



Валентина ТАРАСОВА
Valentina N. TARASOVA

Галина ЕФИМОВА
Galina N. EFIMOVA



Тарасова Валентина Николаевна — доктор исторических наук, профессор, заведующая кафедрой «Инновационные технологии» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Ефимова Галина Николаевна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Инновационные технологии» МИИТ, Москва, Россия.

Статья продолжает тему пассажирского вагоностроения (см. «МТ», 2006, № 2). Даются ретроспективный анализ (1865–2000 гг.) направлений совершенствования тележек вагонов, основные этапы и виды их модернизации, история создания устройств обеспечения плавности хода тележек. Названы представители научных школ, занимавшихся разработкой конструкций неавтоматической сцепки без боковых буферов, двухосных тележек с одинарным и тройным подвешиванием. Особая роль отведена участию сотрудников МИИТ в обосновании рационального угла установки наклонных гидравлических гасителей колебаний в центральном рессорном подвешивании, замене клиновых фрикционных гасителей в буксовой ступени резиновыми прокладками.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, история, пассажирский вагон, рессорное подвешивание, плавность хода, конструкция тележки, кузов, научные школы.

Пассажирский вагон является неотъемлемой частью пассажирского комплекса железных дорог, обеспечивая возрастающий спрос на сервисные услуги, комфортабельность и плавность хода поезда.

Пассажирское вагоностроение в России имеет длительную историю развития с середины XIX века по настоящее время. Особенности конструктивных решений и параметров вагонов определялись растущими требованиями к качеству перевозок и зависели от климатических и социальных условий, сложившихся традиций транспортного обслуживания населения.

Не все в жизни вагонов было вот так сразу гладко. Всегда оставались причины говорить об утомляемости человека в пути следования. Мешали прежде всего колебания кузова, которые влияют на положение частей тела. К вагонным колебаниям относятся подпрыгивание, продольная качка или галопирование, боковое параллельное колебание, боковая качка, виляние или поперечная качка, подергивание.

Совершенствование технических средств, обеспечивающих плавность хода, идет в направлении передачи и смягчения

действия растягивающих (тяговых) и сжимающих (ударных) усилий, форсирующих свое присутствие во время движения поезда.

Тележки пассажирских вагонов классифицируются по назначению, числу осей, устройствам рессорного подвешивания и буксовой связи, способу передачи нагрузки от кузова и его элементов на ходовые части, типу конструкции рамы.

Рессорное подвешивание снижает динамические воздействия пути на вагон и вагона на путь. Оно состоит из упругих элементов, возвращающих устройств и гасителей колебаний. Упругие элементы смягчают (амортизируют) толчки и удары по движущемуся вагону в вертикальной плоскости, а совместно с возвращающим устройством — в горизонтальной плоскости. Гасители колебаний служат уменьшению их амплитуды, успокоению обрессоренных масс вагона.

Под действием динамических сил со стороны колесной пары при перемещении вагона упругие элементы деформируются и обеспечивают плавные колебательные движения обрессоренных масс. В качестве упругих элементов в основном использовались витые пружины. В сравнении с листовыми рессорами они позволяли получить необходимые упругие характеристики при меньших массах и габаритных размерах, а в сочетании с гасителями колебаний делали более спокойным ход вагона. Кроме того, они смягчали горизонтальные толчки и удары, были проще и дешевле в изготовлении и ремонте, чем листовые. В дальнейшем появились пневматические, резинометаллические, торсионные и другие типы рессор.

У истоков отечественного пассажирского вагоностроения стояли выпускники С.-Петербургского корпуса инженеров путей сообщения. Первые построенные в России пассажирские вагоны имели центральную неавтоматическую сцепку без боковых буферов, тормоз с ручным приводом и тормозными колодками из осины. По мере совершенствования модели внимание конструкторов в первую очередь обращалось на уменьшение качки и тряски, для чего рессоры делали более упругими.

Пассажирские вагоны Александровского механического завода получали двухос-

ные тележки с одинарным подвешиванием. В 1865 году инженер Рехневский разработал новую конструкцию, в которой было применено двойное рессорное подвешивание, дававшее лучшую плавность хода, чем при одинарном подвешивании. В 1884 году на Русско-Балтийском заводе сконструирована тележка двойного подвешивания Фетте. Этот тип модели, опытный образец которой изготовили лишь спустя почти три десятка лет, производился до 1936 года, с заменой деревянно-металлических конструкций на металлические сварные.

Первые конструкции тележек тройного подвешивания появились в 1897 году в пассажирских вагонах дальнего следования и служебных. Через три года кузнечный мастер главных мастерских Петербурго-Варшавской железной дороги И. О. Браун предложил более перспективную конструкцию эллиптической рессоры.

Двухосные тележки, которые чаще других присутствовали в конструкциях пассажирских вагонов начала XX века, характеризовались улучшенными показателями рессорного подвешивания, боковыми буферами и центральными тягово-сцепными устройствами. К 1917 году все пассажирские вагоны отечественного образца имели сквозную упряжь с винтовой сцепкой и боковыми буферами.

В СССР в связи с появлением новых типов вагонов и увеличением скоростей движения конструкции тележек были значительно усовершенствованы. Выбор схемы рессорного подвешивания определялся требованиями по обеспечению плавности хода, устойчивости и динамических качеств вагона. В люлечном подвешивании кузов опирался на надрессорную балку, а балка через комплекты упругих элементов — на люльку, связанную с рамой тележки при помощи подвесок.

В 1937 году провели испытания тележек, каждая из которых обладала системой соединения рессор и свойствами смягчения вертикальных ударов. Тележки сравнивались между собой по величине амплитуд и частоте вертикальных и горизонтальных колебаний, величине ускорений и динамической перегрузке ходовых частей. Лучшими по плавности хода были признаны тележки тройного подвешивания Фетте с одинарными продольными балансирами,





тележки безбалансирной конструкции — завода им. Егорова, а также системы Ханина — с коническими пружинами в центральном рессорном подвешивании.

С конца 1940-х по 1980-е годы в пассажирских вагонах применялись двухосные тележки ЦВМ, КВЗ-5, КВЗ-ЦНИИ, КВЗ-ЦНИИМ и тележки для вагонов габарита РИЦ. Они обеспечивали устойчивое направление движения по рельсовому пути, распределение и передачу всех нагрузок от кузова на путь, восприятие тяговых и тормозных сил, движение вагона с минимальным сопротивлением и необходимой плавностью хода.

В 1940-е годы известный специалист в области динамики и конструкции вагонов М. В. Винокуров, который заведовал отделением вагонного хозяйства и одновременно возглавлял кафедру «Вагоны» в МЭМИ-ИТ, исследовал собственные и вынужденные колебания пассажирского вагона; на основе анализа дифференциальных уравнений он рекомендовал целесообразные соотношения жесткостей ступеней рессорного подвешивания, оценил влияние нелинейности подвешивания на плавность хода вагона и др.

В 1995—1997 годы учеными кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТ под руководством В. Д. Хусидова совместно с ОАО «ТВЗ» и ВНИИЖТ проводились научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ пассажирского вагона. Акцент был сделан на обоснование рационального угла установки наклонных гидравлических гасителей колебаний в центральном рессорном подвешивании, замену клиновых фрикционных гасителей колебаний в буксовой ступени резиновыми прокладками определенной жесткости.

Тележки КВЗ-ЦНИИ в диапазоне высоких скоростей движения в буксовой ступени подвешивания ухудшали показатели плавности хода. Гидравлические гасители центрального рессорного подвешивания по своим характеристикам и углу расположения в тележке не обеспечивали оптимальное гашение вертикальных и боковых колебаний. Показатель плавности хода составлял 3,25, что не соответствовало нормам, принятым министерством путей сообщения. Поэтому для модернизации

тележки были определены критические величины коэффициентов сопротивления гасителей на основе расчетов вертикальных и боковых колебаний вагона.

Установлено, что для вертикальных колебаний кузова критическое значение коэффициента сопротивления гасителя составляет 2,0 тс/м, а для боковых — 10 тс/м. Для этого при интегрировании системы дифференциальных уравнений задавалось начальное боковое отклонение кузова от положения равновесия и расчетным путем подбиралось такое значение, при котором процесс собственных затухающих колебаний становился аperiодичным.

При вынужденных пространственных колебаниях пассажирского вагона на тележках типа КВЗ-ЦНИИ необходимая величина демпфирования вертикальных колебаний должна была быть в два раза больше, чем для боковых. Это обстоятельство следовало учитывать при определении рационального угла установки гасителя в тележке для совместного гашения вертикальных и боковых колебаний, а также при выборе коэффициентов сопротивления вертикальных и боковых гасителей, участвующих в раздельном гашении колебаний.

На предварительном обсуждении вариантов модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ в ОАО «ТВЗ» было высказано предположение о том, что гашение боковых колебаний может быть осуществлено за счет трения в шарнирах люлечного подвешивания без постановки дополнительного гасителя.

В серии расчетов анализировались динамические показатели вагона при углах установки 45°, 60°, 75° к горизонтальной плоскости и различных коэффициентах сопротивления жидкости. В качестве динамических показателей вагона исследовались максимальные значения суммарных вертикальных сил в центральном подвешивании, действующих на надрессорный брус; вертикальных и боковых сил — на рессорные комплекты центрального подвешивания; боковых сил — между колесом и рельсом; рамных сил — на колесные пары; вертикальных и боковых ускорений кузова и рам тележек.

Сравнение результатов показало, что угол установки гасителя 45° является неблагоприятным, так как демпфирующие

силы большие по величине в горизонтальном, а не в вертикальном направлении. Предварительные расчеты этих величин зафиксировали, что они отличаются в два раза, и следовательно, для вертикальных колебаний при таком угле демпфирующей силы не хватает, а для боковых она получается излишней.

Наилучшие динамические характеристики отмечены при коэффициенте сопротивления гасителя 6–8 тс/м и угле установки 60–75°. Ускорения по кузову составляют 0,06–0,80 g, а по раме не превышают 0,50–0,60 g в диапазоне скоростей движения от 15 до 50 м/с (54–180 км/ч). При таких коэффициентах сопротивления гасителя и углах его установки обеспечивается необходимое соотношение демпфирующих сил в вертикальном и поперечном направлениях, а величины коэффициентов сопротивления близки к 0,25.

Стандартный гаситель тележки КВЗ-ЦНИИ имеет определенный по стендовой диаграмме коэффициент сопротивления порядка 12 тс/м.

Отсечка диаграммы предохранительным клапаном составляет примерно 1,5 т. Для указанных параметров гасителя проведены расчеты при четырех углах установки, равных 45°, 60°, 75°, 80°.

Эффективность мероприятий по модернизации центральной и буксовой ступеней рессорного подвешивания определяется показателями плавности хода в вертикальном и боковом направлениях. Показатели плавности хода получены расчетным путем при интегрировании системы, которая описывает динамическое состояние вагона. Согласно Шперлингу — по формуле:

$$W_i = 2,7K\sqrt{Z_0^3\omega^5},$$

где ω — частота колебаний; Z_0 — амплитуда колебаний; K — эмпирический коэффициент.

Для расчетов значения коэффициента K определялись по графику, показывающему изменение его значений в зависимости от частоты и направления колебаний. При этом за исходные величины состояния пути были взяты длины вертикальных и горизонтальных неровностей — 25 м; амплитуды вертикальной и горизонтальной неровностей — 0,02 м; ширина колеи — 1520 мм.

Типовой вариант тележки имел угол наклона гидравлического гасителя 45°, в буксовой ступени подвешивания располагались фрикционные гасители с силой трения 0,07 т, причем упругие прокладки отсутствовали. Модернизированный вариант тележки получил угол наклона гидравлического гасителя 60°, в буксовой ступени подвешивания фрикционные гасители отсутствовали, но были поставлены упругие прокладки со следующими характеристиками:

— жесткость прокладки на сжатие — 4000 т/м;

— жесткость на сдвиг — 2500 т/м;

— жесткость на смятие — 1500 т/м;

— коэффициенты неупругого сопротивления прокладок при деформациях сжатия, сдвига и смятия — соответственно 0,4, 0,3 и 0,3 тс/м;

— радиальные зазоры между прокладкой и шпинтоном — 10 мм.

Лучшую плавность хода показал вариант с отдельным гашением колебаний в центральной ступени и модернизированным вариантом буксовой ступени. Показатели плавности хода такой тележки в вертикальном и боковом направлениях были 2,80 и 2,09 при скоростях движения 30 и 45 м/с. Что на 25–30% превышало данные типового варианта.

Пользователи железнодорожного транспорта на каждом историческом этапе неизменно демонстрировали потребность в повышении эффективности пассажирских перевозок, и это было самым действенным стимулом к совершенствованию конструкции пассажирского вагона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагоны: учебник / Под ред. М. В. Винокурова. — М.: Трансжелдориздат, 1949. — 610 с.
2. Вагоны: учебник / Под ред. В. В. Лукина. — М.: Транспорт, 1988. — 280 с.
3. Ефимова Г. Н. История создания и перспективы модернизации пассажирского вагона / Дис... канд. техн. наук. — М., 2009. — 269 с.
4. Тарасова В. Н., Ефимова Г. Н. Как экипаж превратился в пассажирский вагон // Мир транспорта. — 2006. — № 2. — С. 134–143; 2006. — № 3. — С. 146–154.
5. Соловьева А. М. Железнодорожный транспорт России во второй половине XIX в. — М.: Наука, 1975. — 316 с.
6. Динамика пассажирского вагона и пути модернизации тележки КВЗ-ЦНИИ / В. В. Хусидов, А. А. Хохлов, Г. И. Петров, В. Д. Хусидов; под ред. А. А. Хохлова. — Екатеринбург: Полиграфист, 2001. — 163 с.
7. Шадур Л. А. Развитие отечественного вагонного парка. — М.: Транспорт, 1988. — 279 с.



PASSENGER CAR PASSED ITS WAY SMOOTHLY

Tarasova, Valentina N. – D. Sc. (History), professor, head of the department of Innovative Technology of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Efimova, Galina N. – Ph.D. (Tech.), associate professor at the department of Innovative Technology of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

This article continues the theme of passenger car building (see *Mir Transporta* [World of Transport and Transportation] Journal, 2006, Iss.2 and Iss.3 [4]). It provides a retrospective analysis (1865–2000) of ways of improvement of bogies, describes major historical and technical stages and types of modernization, outlines the story of creation of devices to ensure the movement smoothness of bogies. The representatives of scientific schools are named, who were involved in the development of units of non-automatic coupler without side buffers, as well as of two-axle bogies with single and triple suspension. A special role is given to the participation of employees of MIIT in the justification of rational installation angle of inclined hydraulic dampers in the central spring suspension, replacing the wedge friction dampers in the pedestal level with rubber gaskets.

ENGLISH SUMMARY

Background. Passenger coach is an integral part of a passenger railway complex, providing an increasing demand for maintenance services, comfort and smooth movement of a train.

Rail passenger coach building in Russia has a long history of development since the middle of the XIX century to the present. Features of design solutions and parameters of cars were determined by growing requirements for transportation quality and depended on climatic and social conditions, prevailing traditions of transport services.

Not everything in life of coaches was smooth. There were always reasons to talk about human fatigue in transit. Primarily there were coach's body oscillations which affected the position of parts of the human body. Coach's oscillations relate to bouncing, longitudinal pitching, parallel lateral oscillation, lateral pitching, rolling motion, shuttle motion.

Improvement of technical means, ensuring movement smoothness, goes in the direction of transmission and mitigation of actions of tensile (traction) and compression (shock) forces, speeding up their presence during the movement of a train.

Objective. The objective of the authors is to investigate issues related to movement smoothness of passenger coaches in historical retrospective.

Methods. The authors use historical method, comparison, analysis and description.

Results. Passenger coaches' bogies are classified by purpose, number of axles, spring suspension devices and pedestal connection, a method of transmitting the load from the body and its components on the chassis, type of frame construction.

Spring suspension reduces the dynamic impact of a track on a coach and of a coach on a track. It consists of elastic elements, returning devices and dampers. Elastic elements soften (absorb) shocks and blows on a moving coach in a vertical plane, and in conjunction with a returning device – in a horizontal plane. Dampers reduce the oscillations' amplitude, sprung weight.

Under the action of dynamic forces from a wheel set when a car is moving, elastic elements deform and provide a smooth oscillatory motion of sprung weight. Coiled springs were mainly used as elastic elements. In comparison with bolster springs they provided necessary elastic characteristics at lower weight and dimensions, and in combination with vibration dampers made movement of a train smoother. In addition, they softened horizontal thrusts and blows, were easier and cheaper to be manufactured and maintained, than bolster springs. Later railways used pneumatic, rubber, torsion and other types of springs.

Graduates of St. Petersburg Railway Engineers School were at the origin of the domestic passenger coach building. Passenger coaches, which were first built in Russia, had a central non-automatic coupling without side buffers, hand-operated brake and brake pads of aspen. With further improvement of a model designers' attention was primarily drawn to reduce tossing and shaking, for which springs were made more elastic.

Passenger coaches of Alexander mechanical plant obtained two-axle bogies with a single suspension. In 1865, engineer Rekhnevsky developed a new structure in which double spring suspension was applied, giving better smoothness than had a coach with a single suspension. In 1884, at the Russian-Baltic plant a bogie with Fette double suspension was designed. This type of a model, a prototype of which was produced only after almost three decades, was manufactured until 1936, with the replacement of wooden and metal structures with metal welded units.

The first design of bogies of a triple suspension appeared in 1897 in passenger long-distance coaches. Three years later, blacksmith master of main workshops of Petersburg-Warsaw railway I. O. Braun offered a more promising design of elliptical spring.

Two-axle bogies, which were most often present in the design of passenger coaches of the early XX century, were characterized by improved performance of spring suspension, side buffers and central towing hitch. By 1917, all domestic passenger cars had a through draft with a screw coupling and side buffers.

In the USSR, due to emergence of new types of cars and increasing speed bogies were significantly improved. Selection of spring suspension schemes was determined by requirements to ensure movement smoothness, stability and dynamic characteristics of a coach. In cradle suspension a body rested on the bolster and this bolster through a set of elastic elements rested on a cradle connected to the bogie frame with suspension links.

In 1937 bogies were tested, each of which had a system of springs' connection and the properties to mitigate vertical strokes. Bogies were compared in magnitude of amplitude and frequency of vertical and horizontal vibrations, the magnitude of acceleration and dynamic overload of chassis. Three models were recognized as the best in smoothness: bogies with a triple Fette suspension with single longitudinal balancers, bogies without balancers designed at

Egorov plant, and Khanin systems having conical springs in a central spring suspension.

Since the late 1940s to the 1980s passenger coaches used two-axle bogies CVM, KVZ-5, KVZ-TSNII, KVZ-TSNIIM and bogies with dimensions RIC. They provided a stable direction of movement along the track, the distribution and transfer of all loads from the body on a track, perception of traction and braking forces, the movement of a coach with minimal resistance and required level of smoothness.

In the 1940s, a renowned expert in the field of dynamics and design of cars M. V. Vinokourov, who headed the department of car facilities and also headed the department of cars in MEMIT, explored natural and forced vibrations of a passenger coach. Considering the analysis of differential equations, he recommended reasonable gradual stiffness ratio of spring suspension, evaluated the impact of nonlinearity of suspension on smooth movement of a car.

In the years 1995–1997 the scientists of the department of Cars and cars facilities of MIIT led by V. D. Husidov together with JSC «TVZ» and VNIIZhT (Tver rail car plant and Russian railway research institute respectively) conducted R&D work on the modernization of a bogie KVZ-TSNIIM of a passenger coach. Emphasis was placed on justification of rational installation angle of inclined hydraulic dampers in the central spring suspension, replacement of wedge friction dampers in the pedestal level with rubber gaskets of a certain rigidity.

Bogies KVZ-TSNIIM at a high speed range in the pedestal level of suspension worsened the parameters of movement smoothness. Hydraulic dampers of central spring suspension due to their characteristics and location angle in the bogie did not provide the optimal damping of vertical and lateral vibrations. Indicator of movement smoothness was 3,25, which was not consistent with the standards adopted by the Ministry of railways. Therefore, in order to modernize a bogie, critical coefficients of dampers' resistance were identified through calculations of vertical and lateral vibrations of a coach.

It was found that for vertical oscillations of the body critical value of the resistance coefficient of a damper was 2,0 tf / m, and for the side oscillation it was equal to 10 tf / m. The researchers used integration of a system of differential equations to set an initial lateral deviation of a body from the equilibrium position and chose the value through calculation, at which the process of the damped oscillations became aperiodic.

In case of forced spatial oscillations of a passenger coach on bogies of type KVZ-TSNIIM, required value of damping of vertical oscillations should be two times larger than for the lateral oscillations. This fact should be taken into account when determining the rational installation angle of a damper in a bogie for joint damping of vertical and lateral oscillations, as well as while choosing coefficients of resistance of vertical and lateral dampers involved in separate vibration damping.

At the preliminary discussion in JSC «TVZ» of options to upgrade bogies KVZ-TSNIIM it was suggested that the lateral oscillation damping may be performed by the friction in the joints of a cradle suspension without installation of additional damper.

Series of calculations analyzed the dynamic performance of a coach at the installation angles of 45°, 60°, 75° to the horizontal plane and the different coefficient of resistance of the liquid. Dynamic performance of a car was examined through

maximum values of: integral vertical forces in the central suspension acting on bolster; vertical and lateral forces' impact on central suspension spring group; lateral forces' impact arising between wheel and rail; frame forces acting on wheel sets; vertical and lateral acceleration of the body and the bogie frames.

Comparison of results showed that the damper installation angle of 45° is disadvantaged as damping forces are larger in impact horizontally than vertically. Preliminary calculations of these values recorded that they differ by two times and hence for vertical vibrations at such an angle damping force is not enough, and for lateral vibrations it is excessive.

The best dynamic performance is marked with a coefficient of damper resistance of 6–8 tf / m and the installation angle of 60–75°. Acceleration on body amounts to 0,06–0,80 g, and on the frame it does not exceed 0,50–0,60 g at a speed range from 15 to 50 m / s (54–180 km / h). Such resistance coefficient of the damper and installation angles provides a required ratio of damping forces in vertical and transverse directions, and the resistance coefficients are close to 0,25.

A standard damper of a bogie KVZ-TSNIIM has a certain resistance coefficient of about 12 tf / m.

Cutoff of a chart with a safety valve is approximately 1,5 t. For those parameters of a damper calculations were conducted at four installation angles, equal respectively to 45°, 60°, 75°, 80°.

The effectiveness of measures to modernize central and pedestal steps of spring suspension is determined by indicators of movement smoothness in vertical and lateral directions. Indicators of movement smoothness were obtained by calculation in the integration of the system, which describes a dynamic state of a car. According to Sperling it was made by the formula:

$$W_i = 2,7 K \sqrt[10]{Z_0^3 \omega^5},$$

where ω is vibration frequency; Z_0 is an amplitude of vibrations; K is empirical coefficient.

In order to proceed with calculations, values of the coefficient K were determined by a graph showing the change in its value as a function of frequency and direction of oscillation. At the same time lengths of vertical and horizontal irregularities of 25 m; amplitudes of vertical and horizontal irregularities of 0,02 m; track gauge of 1520mm were taken as the initial values of the state of the track.

A typical variant of a bogie had the inclination angle of the hydraulic damper equal to 45°, in the pedestal level of suspension friction dampers were located with the force of friction of 0,07 t, and the elastic gasket was missing. Upgraded version of the bogie got the inclination angle of the hydraulic damper 60°, in the pedestal level of suspension friction dampers were missing, but elastic gaskets were put with the following characteristics:

- Compression stiffness of the gasket – 4000 t / m;
- Shear stiffness – 2500 t / m;
- Stiffness for crushing – 1500 t / m;
- Coefficients of inelastic resistance of gaskets with compression deformation, shear and crushing – respectively 0,4; 0,3 and 0,3 tf / m;
- The radial clearances between the gasket and chair of spring – 10 mm.

The best smoothness of movement was shown by a variant with split vibration damping in the central stage and a modernized version of the



pedestal level. Indicators of movement smoothness of this trolley in vertical and lateral directions were 2,80 and 2,09 respectively at speeds of 30 and 45 m/s. Thus they exceeded by 25–30% a standard option.

Conclusion. Users of rail transport at each historical stage consistently demonstrated the need to improve the efficiency of passenger transport, and this was the most effective stimulus to improve the

design of a passenger coach. Scientists of railway universities, including MIIT, conducted R&D work which permitted through modernization of bogies of passenger coaches to ensure the smoothness of movement. The historical review shows that they used the well advanced methods of their time and their persistent efforts permitted to create newer set of applied methods which were used for a long period for further researches.

Keywords: history, rail transport, passenger car, spring suspension, movement smoothness, bogie construction, body, scientific schools.

REFERENCES

1. Cars. A textbook [*Vagony: uchebnik*]. Ed. by, Vinokurov, M.V. Moscow, Transzheldorizdat publ., 1949, 610 p.
2. Cars. A textbook [*Vagony: uchebnik*]. Ed. by, Lukin, V.V. Moscow, Transport publ., 1988, 280 p.
3. Efimova, G. N. History of development and prospects of modernization of a passenger car. Ph. D. (Tech.) thesis [*Istoriya sozdaniya i perspektivy modernizatsii passazhirskogo vagona: Dis. kand. tehn. nauk*]. Moscow, 2009, 269 p.
4. Tarasova, V.N., Efimova, G. N. From Horse-drawn to Railway carriage *Mir transporta* [World of Transport and Transportation] *Journal*, 2006, Iss. 2, pp. 134–143; 2006, Iss. 3, pp. 146–154.
5. Solovieva, A. M. Railway transport in Russia in the second half of XIX century [*Zheleznodorozhnyy transport Rossii vo vtoroy polovine XIX v.*]. Moscow, Nauka publ., 1975, 316 p.
6. Dynamics of passenger car and ways for modernization of a bogie KVZ-TsNII [*Dinamika passazhirskogo vagona i puti modernizatsii telezhki KVZ-TsNII*]. By V. V. Husidov, A. A. Hohlov, G. I. Petrov, V. D. Husidov. Ed. by Hohlov, A. A., Ekaterinburg, Poligrafist publ., 2001, 163 p.
7. Shadur, L. A. Development of domestic car fleet [*Razvitie otechestvennogo vagonnogo parka*]. Moscow, Transport publ., 1988, 279 p.

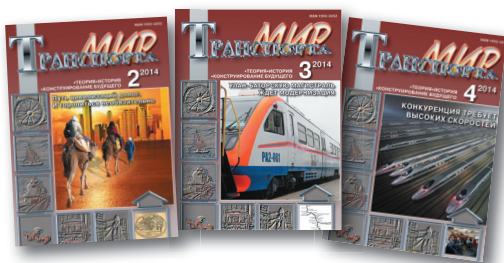
Координаты авторов (contact information): Тарасова В. Н. (Tarasova, V.N.) – tarasovavn@mail.ru,

Ефимова Г. Н. (Efimova, G.N.) – efimovagal@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 11.10.2014

Принята к публикации / article accepted 03.12.2014

Оформить подписку на журнал «Мир транспорта» можно в любом отделении почтовой связи:



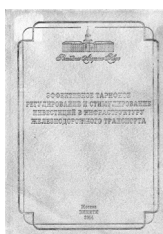
- в каталоге «Газеты. Журналы» Роспечати – подписной индекс 80812;
- в каталоге научно-технической информации Роспечати – подписной индекс 60790.

Журнал «МТ» получают транспортные и ведущие технические вузы, областные, научные и технические библиотеки большинства регионов Российской Федерации, а также библиотечные центры ряда стран СНГ.



ТАРИФЫ И СТИМУЛЫ 246

*Научный сборник или
коллективная монография?..*



АВТОРЕФЕРАТЫ 250

- Расчет тоннелей на сейсмостойкость.
- Управление экономическими рисками.
- Алгоритмы кластеризации и модернизация вокзальных комплексов.
- Упругопластичность стальных ферм.
- Тестовый метод диагностирования аппаратуры.

НОВЫЕ КНИГИ 252

*Издательства страны
пополнили списки научно-
технической и учебно-
методической литературы
о транспорте.*

TARIFFS AND INCENTIVES 246

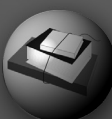
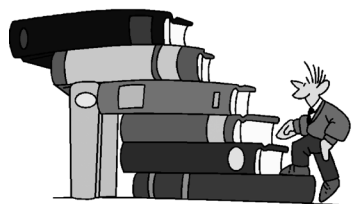
*Collection of researches or a
collective monograph?..*

SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES 250

- Computation of seismic resistance of tunnels.
- Economic risk management.
- Algorithms of clusterization and modernization of station complexes.
- Elastoplasticity of steel truss.
- Test method of hardware trouble shooting.

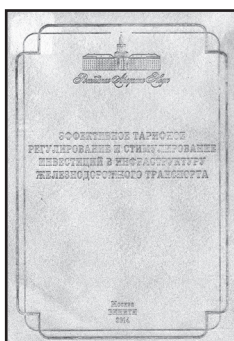
NEW BOOKS 252

*National publishing houses
completed the lists with
new books on transport and
transportation.*





Тарифы и штормовые рифы



Эффективное тарифное регулирование и стимулирование инвестиций в инфраструктуру железнодорожного транспорта: Коллективная монография/Под науч. ред. С. М. Резера. – М.: ВИНТИ РАН, 2014. – 368 с.

Книга подготовлена на основе материалов аналогичной по названию международной научно-практической конференции в Москве (октябрь 2013 г.) с участием представителей транспортных организаций стран Европы, Азии и Латинской Америки. Рассмотренные специалистами отрасли вопросы касаются оптимизации инвестиционных методов регулирования транспортных тарифов, анализа накопленного отечественного и зарубежного опыта ценообразования, тарифной практики, инфраструктурных преобразований. Демонстрируемые авторами подходы отражают глобализацию мировой экономики, модернизационные процессы, особенности интеграционной политики взаимодействующих на транспортном рынке государств и компаний.

Ключевые слова: железные дороги, инфраструктура, транспортный рынок, тарифное регулирование, ценообразование, инвестиции, модернизация.

Составители коллективной монографии, как она обозначена в выходных данных книги, судя по всему, исходили из допущения, что собранные воедино доклады и выступления участников международной конференции своим содержанием («научным весом») вполне отвечают законам жанра. Насколько это их право, оставим в стороне, и будем исходить из свершившейся данности. А она такова, что дает читателю возможность самому определять ценность каждого из материалов сборника, его актуальность и соответствие запросам отраслевой практики. Критерий тут один: не абсолютизация факта или попытки найти однозначный ответ на давно назревшую проблему, а четкое обозначение позиции и направления готовящихся инновационных преобразований.

Находясь в положении такого читателя, выделим свои содержательные приоритеты в той их последовательности, которую предлагает порядок расположения выступлений в книге (а равно и на конференции).

Отметим прежде всего трактовку задач модернизации сферы регулирования, относящихся к полномочиям федеральной службы по тарифам, ее руководителем С. Г. Новиковым. Он исходит из того, что транспортный продукт предназначен к продаже, и потребитель хочет понимать за какое его качество ему предстоит платить деньги. Это понимание диктует целый набор изменений, которые уже приняты регулирующими органами или которые планируется реализовать в ближайшее время, в том числе на уровне тарифных решений.

Здесь основные положения модернизации регуляторной модели, принципы долгосрочного ценообразования, повышение квалификации и профессиональное развитие регуляторов, международное сотрудничество и кооперация органов регулирования транспорта.

Выделены пять принципов долгосрочного ценообразования, что важно для любых продолжений и научных дискуссий: а) следование основополагающему методу государственного регулирования тарифов — методу доходности инвестированного капитала; б) продолжительность долгосрочного регулирования — не менее пяти лет; в) стоимостная основа тарифов (необходимая валовая выручка) проектируется с опорой на данные раздельного учета доходов и расходов; г) при расчете возврата капитала и дохода на него ведется раздельный учет базового и инвестированного капитала (причем отдельно от бухгалтерского и налогового учета); д) индексы изменения тарифов на грузоперевозки устанавливаются с учетом решений правительства РФ по допустимому уровню индексации на соответствующий период регулирования.

Именно сбалансированная модель регулирования тарифной системы, подчеркивает президент ОАО «РЖД» В. И. Якунин, определяет возможность полноценных инвестиций в железнодорожную инфраструктуру. Однако принимаемые государством решения в этой области выполняются крайне медленно, и поэтому частные инвесторы тоже не спешат проявлять активность. Есть и другой нюанс: мнение отдельных экспертов о том, что уровень инфляции в России при увеличении вложений в инфраструктуру железных дорог резко возрастает, не имеет под собой оснований.

Говоря о тесном сотрудничестве академической науки с ОАО «РЖД», президент РАН, академик В. Е. Фортов призвал расширять проводимые совместно научные исследования, которые в сочетании с зарубежным опытом позволяют выработать оптимальные подходы к регулированию тарифов на транспорте.

Эту тему — не сразу, на дистанции — продолжает академик РАН В. И. Колесников (Ростовский государственный

университет путей сообщения). Применительно к государственной тарифной политике он характеризует особенности методологии, свойственной сфере тарифообразования, связанные с ней инвестиционные и инфраструктурные проблемы. Ключевой момент при этом — необходимость самого пристального внимания к определению (изучению) последствий в случае замораживания тарифов железнодорожных монополий. Зарубежный опыт показывает, что такая мера не приводит к экономии средств, а наоборот, усугубляет положение в отрасли и экономике страны, поскольку резко ухудшает возможности управления, качественного обслуживания потребителей транспорта и увеличивает сроки доставки грузов, замедляет оборачиваемость денежных средств. Чтобы усилить научное обеспечение стоящих задач, академик Колесников предлагает при участии правительственных и общественных структур организовать в составе РАН комиссию по проблемам транспорта.

В плане методологии и ее проекции на интеграционные процессы интерес представляет комментарий доктора технических наук, советника руководителя ФСТ А. Г. Кирилловой по поводу нормативных правовых документов в рамках соглашений о евразийском экономическом пространстве для России, Казахстана и Белоруссии. Согласованы и приняты (на тот момент) принципы формирования предельных уровней тарифов, алгоритм их расчета, установлены правила изменения уровня тарифов в границах ценовых пределов, процедура принятия сопутствующих решений. Железные дороги смогут эффективнее использовать пропускные способности инфраструктуры, привлекая новые грузопотоки на малозагруженные маршруты. Дается право привлечения инвестиций в развитие инновационных технологий, ибо в правилах применения тарифного коридора отдельно оговорено, что понижать тарифы можно и в целях стимулирования нововведений.

Практическая сторона интеграционных соглашений анализируется, в частности, начальником отдела тарифов Белорусской железной дороги Линой



Кулик. Она показала динамику изменений в последние годы, взаимосвязь тарифной политики и объемных показателей по транзитным перевозкам, использование понижающих коэффициентов и фиксированных ставок на отдельных маршрутах. Главным критерием при снижении действующих тарифов остается на дороге естественное для рынка условие: получаемые доходы после снижения тарифов должны быть больше, чем доходы до их коррекции.

Собственно, выступление белорусского специалиста характерно как раз своей привязкой к конкретике. В подавляющем своем большинстве участники международной конференции основной целью ставили обмен опытом в тарифном регулировании. В этом ключе построены сообщения представителей железных дорог Франции, Китая, Турции, Чехии, стран Балтии, Финляндии, Германии, Бразилии, Армении, Украины.

В итоговом документе конференции значение обмена опытом и всестороннего сотрудничества регуляторов транспорта особо подчеркивается и выделяется. Общение профессионалов показывает, насколько схожи их задачи независимо от страны пребывания, и хотя различаются применяемые ими инструменты, отличаются сами полномочия, есть основание стремиться к созданию

новых форматов международного сотрудничества и кооперации органов тарифного регулирования, а вместе с тем и к сближению методологических принципов и подходов в регуляторике на транспорте.

Сегодняшние тенденции к глобализации отраслевых рынков и экономики позволяют экспертам утверждать, что ни одна страна в одиночку не в состоянии ответить на вызовы уже ближайшего времени. А значит, нужна широкая кооперация, способная сохранить за транспортной инфраструктурой роль своего рода драйвера экономического развития, не дать сделать дорожную сеть барьером на его пути из-за инвестиционной недостаточности.

Разумеется, с долей аналогии тут можно сказать и другое. Тарифы – все-таки не рифы, о которые в штормовую погоду нетрудно разбиться кораблю отраслевой экономики. Скорее они именно регуляторы, чье назначение обеспечивать сторонам процесса взаимовыгодное движение товара. С этой точки зрения включенные в сборник материалы – своеобразная коллективная мечта о безбарьерной среде для перевозки грузов. И напоминание транспортной науке об определенных ее долгах и нереализованных идеях.

Александр НИКОЛАЕВ •

THE TARIFFS AND STORM REEFS

THE REVIEW OF THE BOOK: *Effective Tariff Regulation and Stimulation of Investment in Railway Infrastructure. Collective monograph. Sc.ed. Rezer, S. M. Moscow, VINITI RAN publ., 2014, 368 p.*

ABSTRACT OF THE BOOK (English text which follows is reproduced with slight corrections from the original book). *The book considers problems of effective tariff regulation of the railroads and investment questions in infrastructure of railway transport during an era of globalization of world economy when questions of pricing and tariffs are put in the forefront. Methods of regulation of transport tariffs become the most important factor of development of the competition in Russia and in the world. The book considers questions concerning optimization of investment methods of regulation of tariffs taking into account saved up domestic and international experience, especially in Europe and in Central Asia, experience of reforming of transport and tariffs. The problems presented in the book and ways to solve them were discussed at the 1st International Scientific and practical conference «Effective Tariff Regulation and Stimulation of Investments into Infrastructure of Railway Transport» held in October, 2013 in Moscow with participation of representatives of regulators of transport of the countries of Europe, Latin America and Asia. The*

materials of the Conference formed a basis for preparation of the present monograph. The book is addressed to a wide range of experts, scientists and rail managers from various countries who work in the sphere of regulation of transport. In preparation of materials of the monograph participated: Kirillova A. G., D. Sc.Tech., Federal Tariff Service (FST) of Russia, Rezer A. V., Ph. D. (Econ.), associate professor of MIIT, Ababilova A. V., NP «Guild of Forwarding Agents». Executive Editor was Penyaz I. M., Scientific Employee. The monograph is compiled on the basis of full texts and theses of reports, and presentations of participants of Conference. Reports are published according to the originals received by organizing committee of the Conference. Headings of reports are given in Russian or English languages. Reports are located in the same order as speeches of their order were presented during the Conference.

ABSTRACT OF THE REVIEW. *The works of prominent researchers and high-ranked managers of transport compiled in that book regard optimization of investment methods of regulation of transportation tariffs, analyze*

national and foreign expertise of pricing, tariff politics, and structural transformations. The opinions of the authors reflect globalization of world economics, processes of modernization, and features of integration policy of states and companies who interact within transportation market. The book is valuable for the wide range of expert opinions on different subjects but it worth more system approach to compilation.

ENGLISH SUMMARY OF THE REVIEW. The compilers of collective monograph, as it is called so in references of the book, might have admitted that reports and contributions of participants in the international conference, collected under the unique title, by their contents (or scientific weight) respond to the criteria of monograph. We shall omit the discussion on the correctness of such approach, and will proceed from the *fait accompli*. And the fact is that the reader has got an opportunity to determine value of each paper contained in the collection, its conformity to demands of railway practices. The criterion here can not be based on absolutization of facts either on attempt to find the only one possible response to a vital challenge, but should rather assess the positioning of the authors and directions of prepared innovative acts.

So being a reader shall we select our proper subject priorities following the order of reports as they are placed in the book (and were presented at the conference).

First of all it worth to mention the interpretation by S. Novikov, head of Federal Tariff Service, of the tasks of modernization of the sphere of regulation where powers belong to the above service. The departure point of his discourse is that transportation product is intended for sale and a customer would like to understand which aspect of his quality he is going to pay for. This understanding results in a whole set of changes which have already been adopted by regulating authorities or which will be adopted in nearest future, comprising by decisions on tariffs. The changes include main provisions of modernization of regulatory model, principles of long-term pricing, advanced learning and professional development of the staff of regulatory authorities, international cooperation, and cooperation of transport regulation authorities. Five principles of long-term pricing are emphasized. And it is important for any further scientific discussions: a) adhesion to the basic method of public regulation of tariffs which is method of profitability of invested capital; b) the term of long-term regulation should not be less than 5 years; c) cost basis of tariffs (necessary gross receipt) is programed considering separate accounting of revenue and expenditures; d) while calculating capital repayment and yield on capital one accounts separately core and vested capital (separately from taxation and accountancy); e) indexes of changes of freight tariffs are fixed with consideration to decisions of the government of Russian Federation regarding admissible level of indexation for relevant period of regulation.

President of JSC Russian Railways Vladimir Yakunin underlines that nothing but balanced model of tariff regulation predetermines possibility of large scaled investment in railway infrastructure. But state administration decisions in that sphere are executed very slowly and private investors are therefore also slow to take active initiatives. The opinion of some experts arguing that inflation rates will considerably grow following growth of investment in railway infrastructure in Russia is groundless.

Speaking about close cooperation of academic science with JSC Russian Railways president of Russian

academy of sciences academician V. Fortov called to extend joint researches that together with foreign experience will permit developing of optimal approaches of tariff regulation in transport field.

This topic is consequently developed by academician V. Kolesnikov (Rostov-on-Don state university of railway engineering). Regarding public tariff police he outlines methodological features of tariff establishment, related problems of investment and infrastructure. Key moment underlined is to attract more attention to definition (study) of consequences of freezing of the tariffs of railway monopolies. Foreign experience shows that such measures don't give chances to save funds but on the opposite deteriorate situation in rail sector and in the economics on the whole, as they reduce management capacity, quality services to customers, and increases terms of goods delivery, slows capital turnover. V. Kolesnikov suggests to organize special commission on transport problems within Russian academy of sciences.

One can appreciate the comments of D. Sc. (Tech), advisor to the head of Federal Tariff Service Alevtina Kirillova who enlightened some methodological issues relating to integration processes. Her comments dealt with legal instruments within the framework of agreements on Eurasian economic space for Russia, Kazakhstan and Belorussia. Railways can achieve more efficiency by attracting new freight flows to underloaded routes. They have right to attract investments in development of innovative technology, as the rules of tariff corridor stipulate that it is possible to reduce tariffs in order to stimulate innovations.

Head of tariff department of Belorussian railway Lina Kulik showed dynamics of recent changes, interrelation between tariff policy and volumes of transit freightage. Main criteria of efficiency of reducing tariffs for a railway is always the same, and that is natural for market. Profits after tariff reduction should be higher than before tariff correction.

Overwhelming majority of participants followed the core goal to exchange experience of tariff regulation. That were the cases of representatives of railways of France, China, Turkey, Czech Republic, Finland, Baltic states, Germany, Brazil, Armenia, and Ukraine.

The final document of the conference underlines the importance of exchange of experience. Discussion between professionals shows the similarity of their tasks irrespective of the countries. While instruments of regulation are different, the powers differ as well; there are all reasons to develop new formats of international cooperation, to promote rapprochement of methodological principles and approaches to regulation of transportation processes.

Modern trends towards globalization of sectorial markets confirm experts' opinion that no sole country can meet challenges of nearest future. We need wider cooperation that will maintain the status of transport infrastructure as of a driver of economic growth, will prevent railway network from becoming obstacle to economic growth because of investment insufficiency.

Of course with a certain part of analogy we can it in another manner. Tariffs are not the reefs which the ship of transport economics can hit during the storm weather and consequently sink. Tariffs are regulating instruments whose destiny is providing necessary conditions to participants of goods multi beneficial exchange. From that point of view the materials of the monograph are a sort of collective dream about obstacle-free environment for goods haulage. And at the same time the book reminds to transport science about its debts and unaccomplished ideas.

Alexander NIKOLAEV

Keywords: railways, infrastructure, transport market, tariff regulation, pricing, investment, modernization





АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Научные работы защищены
в Московском государственном
университете путей сообщения*

Май Дык Минь. Расчет тоннелей на сейсмические воздействия /Автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 2014. — 24 с.

Предложен упрощенный метод определения усилий в тоннельных обделках, вызванных сейсмическими воздействиями, характерными для инженерно-геологических условий вьетнамской столицы Ханоя. При этом разработаны способы расчета эквивалентной жесткости сборных обделок при наличии волн, направленных вдоль оси тоннелей, а также оценки внутренних усилий в обделках на пересечении зон разлома. Представлены методики решения задач, учитывающие взаимозависимости тоннельных обделок и массива грунта с билинейными характеристиками. Обоснованы пути уменьшения уровня сейсмического воздействия на конструкции в местах повышенного риска. Результаты работы предполагается использовать в ходе проектирования и строительства городской линии метрополитена.

Долгачёва И. Н. Управление экономическими рисками в сфере контейнерных перевозок /Автореф. дис... канд. экон. наук. — М., 2014. — 24 с.

В диссертационном исследовании выявлены проблемные элементы системы обеспечения экономической безопасности транспортной контейнерной компании, уточнены причины проблем и механизмы их решения при смене парадигмы управления транспортной отраслью. Обосновано единство понятий экономической безопасности и управления рисками применительно к холдингу «РЖД» и входящим в его структуру бизнес-единицам, проанализированы рискообразующие факторы макро- и микросреды, влияющие на деятельность контейнерных операторов. Дана трактовка экономического риска как базового объекта управления в сфере контейнерных перевозок, предложены классификационная схема и регламент управления рисками транспортных контейнерных компаний, а также иерархия распре-

деления функций и ответственности между участниками процесса. На основе проведенного автором мониторинга обосновано ранжирование экономических рисков по степени их влияния на результаты деятельности контейнерных операторов, методические рекомендации по дифференциации групп платежеспособности их клиентов с учетом интегрального показателя риска.

Овчинникова Е. А. Разработка алгоритмов кластеризации и рекомендаций по модернизации железнодорожных вокзальных комплексов городских транспортных систем /Автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 2014. — 24 с.

Системный анализ динамики развития вокзального хозяйства, отечественного и зарубежного опыта позволил сформировать программные основы организационной, технической и технологической модернизации существующих вокзальных комплексов, алгоритмы их кластеризации. В частности, выделены «ядра» кластеров, обоснованы необходимость пересмотра классов железнодорожных вокзалов, потребность в органичном их интегрировании в городскую транспортную систему. Определены тенденции дальнейшего развития и приоритеты формирования современных вокзальных комплексов, касающиеся архитектуры зданий и планировки прилегающих территорий, сервиса и комфорта, безопасности пользования, экологии, объектов управления.

Хейдари А. Прямой упругопластический расчет стальных пространственных ферм на предельную нагрузку и приспособляемость с учетом больших перемещений /Автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 2014. — 24 с.

Автор исходит из утверждения, что теоремы приспособляемости конструкций основаны на принципе линейной суперпозиции, а следовательно, не могут быть использованы при наличии геометрической нелинейности. Обоснован переход с оптимизационного подхода к упругопластическому анализу на прямой метод расчета стальных ферм с большими перемещениями. Показаны эффективность такого метода и возможность его применения. Получено в общем виде безразмерное решение задачи предельного равновесия и приспособляемости двухпролетной балки, не подверженное влиянию численных погрешностей. Разработано объектно-ориентированное приложение на платформе Java, обнов-

ременно учитывающее геометрическую и физическую нелинейности, а также помогающее выявить потерю устойчивости как вследствие геометрической нелинейности, так и формирования пластического механизма. Примеры расчета пространственных ферм позволили установить, что максимальная нагрузка, при которой происходит приспособляемость, существенно выше нагрузки, когда конструкция теряет свои упругие свойства.

Черезов Г.А. Разработка и исследование тестового метода диагностирования аппаратуры тональных рельсовых цепей /Автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 2014. — 23 с.

Диссертация предлагает методику, позволяющую определить уровень диагностирования приемником тональных рельсовых цепей (ТРЦ) за счет вычисления коэффициента глубины поиска дефекта. Получены зависимости параметров откликов сигналов с выходов контрольных точек приемника от того или иного вида неисправности. Разработаны тестовый метод оценки состояния аппаратуры ТРЦ, алгоритм диагностирования и порядка его программно-аппаратной реализации. Стенд, созданный для такого рода задач, применяется в учебном процессе в Самарском государственном университете путей сообщения. ●

SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES SUBMITTED AT MOSCOW STATE UNIVERSITY OF RAILWAY ENGINEERING

Mai Doc Minh. Computation of tunnels regarding their resistance to seismic impact. Abstract of Ph.D. (Tech) thesis. Moscow, 2014, 24 p.

The researcher suggested simplified method of determining of forces in tunnel lining, caused by seismic impact typical for engineering and geological conditions of the city of Hanoi. The author developed technique to calculate equivalent rigidity of precast lining when there are the waves going along the axles of tunnels, as well as to calculate internal forces in lining at the crossings of zones of fracture. The researcher suggests techniques to solve problems, taking into account interrelations of tunnel lining and ground massif with bilinear features. He substantiates ways to reduce seismic impact on structures in the areas of high risk. The results of the research can be used for designing and construction of city metro in Hanoi.

Dolgacheva, I. N. Management of economic risks in the sphere of container transportation. Abstract of Ph.D. (Econ) thesis. Moscow, 2014, 24 p.

The thesis contains analysis of problems within the system of economic security of container transportation company. The researcher substantiates similarity of notions of economic security and of risk management regarding holding company of Russian Railways and its business entities. She analyzes risk factors of macro and micro environment influencing activities of container operating companies. The author suggests dealing with economic risk as with primary managed object, puts forward a variant of classification and chart of risk management for container operating companies, hierarchy of distribution of functions and responsibility between actors of the process. Monitoring held by the researcher permits to proceed with a ranking of economic risks for container operating companies, as well as to give recommendations concerning differentiation of the groups of customers by their paying capacity taking into account integral risk ratio.

Ovchinnikova, E. A. Development of algorithms of clusterization and recommendations regarding modernization of railway station complexes of city transport systems. Abstract of Ph.D. (Tech) thesis. Moscow, 2014, 24 p.

System analysis of dynamics of development of station facilities and of Russian and foreign prac-

tices permitted to engineer conceptual basics of organization, technical and technological modernization of existing station complexes, as well as algorithms of their clusterization. In particular, the researcher differentiated kernels of clusters, substantiated necessity to revise existing classes of rail stations and to integrate them into city environment.

Heidari, A. Direct elastic-plastic computation of steel spatial trusses: limit load and adaptation taking into account large displacement. Abstract of Ph.D. (Tech) thesis. Moscow, 2014, 24 p.

The author argues that theorems of adaptation of structures are based in the law of linear superposition and therefore can't be used in case of geometrical nonlinearity. The researcher substantiates transition from optimization approach to elastic-plastic analysis towards direct method of calculation of steel trusses with large displacement. The work demonstrates efficacy of the method and its applicability. The author received common dimensionless decision of the task of limit equilibrium and adaptation of two-aisle girder, which is not subject to the influence of numerical errors. The researcher has developed a Java application which focuses on objects, considers both physical and geometrical nonlinearity and helps to reveal stability loss, caused by geometrical nonlinearity either by formation of a plastic mechanism. Examples of calculation of spatial trusses allowed to determine that maximum load when adaptation is still possible is considerably higher than the load when structure loses its elastic features.

Cherezov, G. A. Development and study of test method of trouble-shooting of equipment of voice-frequency rail circuits. Abstract of Ph.D. (Tech) thesis. Moscow, 2014, 23 p.

The thesis suggests methods to determine level of correct diagnosing by receiver of VF-rail circuits by calculating coefficient of the depth of searching for a default. The researcher got dependencies of parameters of response of signals from exits of control points of receiver on a kind of a default. He developed test method of assessment of conditions of equipment, algorithm of troubleshooting, procedure of its hard- and software implementation. Test bench created to this end is used for educational courses in Samara state university of railway engineering.





НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

Гидротехнические сооружения морских портов: учебное пособие/ В. А. Погодин и др.; под ред. А. И. Альхименко. — СПб.: Лань, 2014. — 427 с.

Грязнов М. В., Ниценко В. С. Расчет надежности транспортных систем: учебное пособие. — Магнитогорск: Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова, 2014. — 87 с.

Гурина Т. А. Качественные методы дифференциальных уравнений в теории управления летательными аппаратами. — М.: Изд-во МАИ, 2014. — 159 с.

Графкина М. В. Охрана труда. Автомобильный транспорт: учебник. — М.: Академия, 2014. — 175 с.

Гренкевич О. О., Карасев С. В. Основы эксплуатации железных дорог: учебное пособие. — Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2014. — 129 с.

Злобина Н. И., Белокуров В. П. Сертификация и лицензирование в сфере производства и на автомобильном транспорте: учебное пособие. — Воронеж: ВГЛТА, 2014. — 148 с.

Кузнецов В. И., Кочегаров А. В. Рабочий процесс двухконтурных турбореактивных двигателей: монография. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. — 208 с.

Кузьмин Н. А. Теоретические основы обеспечения работоспособности автомобилей: учебное пособие. — М.: Форум, 2014. — 271 с.

Мигаль В. Д., Мигаль В. П. Методы технической диагностики автомобилей: учебное пособие. — М.: Форум, 2014. — 416 с.

Михайлов Н. В., Чистяков В. В. Приемники спутниковой навигации космического базирования: архитектура и первичная обработка сигналов: монография. — Воронеж: Научная книга, 2014. — 124 с.

Нарский А. Р. Развитие отечественного авиационного неметаллического материаловедения в 1922–1932 гг.: неизвестные страницы истории в архивных документах. — М.: Полиграф сервис, 2014. — 253 с.

Пикалев О. Н., Смирнов П. И., Соко-

лов С. А. Определение и расчет основных параметров деталей автомобиля: учебное пособие. — Вологда: ВоГУ, 2014. — 75 с.

Пикалев О. Н. Оценка конкурентоспособности автобусов для городских и междугородных перевозок: монография. — Вологда: ВоГУ, 2014. — 119 с.

Салмин В. В., Долгова Л. В. Транспортная энергетика: учебное пособие для студентов. — Пенза: Изд-во ПГУАС, 2014. — 126 с.

Сапцин В. П. Технология исследований водохозяйственных комплексов. Приборы и техника эксперимента: учебное пособие. — Йошкар-Ола: Поволжский гос. технологический ун-т, 2014. — 140 с.

Селифонов В. В., Бирюков М. К. Устройство и техническое обслуживание грузовых автомобилей: учебник. — 8-е изд., стер. — М.: Академия, 2014. — 398 с.

Солынина В. Е. Краткий курс авиационной метеорологии: учебное пособие. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Авиашкола Аэрофлота, 2014. — 132 с.

Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник. — 8-е изд., стер. — М.: Академия, 2014. — 397 с.

Степанов С. Н., Видинеева Н. Ю. Технология сборки автомобилей: учебное пособие. — СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2014. — 221 с.

Тимухина Е. Н. Повышение безопасности функционирования и надежности транспортных объектов при технологических сбоях. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2014. — 112 с.

Толпегин О. А. Методы адаптивного управления летательными аппаратами: тексты лекций. СПб.: БГТУ, 2014. — 82 с.

Туревский И. С., Соков В. Б., Калинин Ю. Н. Электрооборудование автомобилей: учебное пособие. — М.: Форум; Инфра-М, 2014. — 367 с.

Удалова Н. В. Методы и алгоритмы обработки цифровых изображений в комплексных системах наблюдения летательных аппаратов: учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ, 2014. — 142 с.

Усов В. Д., Воротынцева М. Г. Основы маневрирования судов при расхождении в ограниченную видимость. — Астрахань: Волга, 2014. — 39 с.

Филькин Н. М., Умняшкин В. А., Музафаров Р. С. Гибридный автомобиль: основы проектирования, конструирования и расчета: учебное пособие. — М.: Форум, 2014. — 239 с.

Фролов А. В., Элиасштам М. К. Силовые установки локомотивов: учебное пособие. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2014. — 42 с.

Хлебников В. С. Аэротермодинамика элементов летательных аппаратов при стационарном и нестационарном сверхзвуковом отрывном обтекании: монография. — М.: Физматлит, 2014. — 165 с.

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Churkov, N.A., Sokolov, M.M., Morchiladze, I. G. History of car building [*Istoriya vagonostroeniya*]. St.Peterburg, PGUPS publ., 2014, 190 p.

Electronic systems of cars. Educational guide [*Elektronnyye sistemy avtomobiley: uchebnoe posobie*]. Shirshikov, A.S. et. al. Penza, PGUAS publ., 2014, 231 p.

Filkin, N.M., Umnyashkin, V.A., Muzafarov, R. S. Hybrid car: fundamentals of design, construction and calculation. Educational guide [*Gibridnyy avtomobil': osnovy proektirovaniya, konstruirovaniya i rascheta: uchebnoe posobie*]. Moscow, Forum publ., 2014, 239 p.

Frolov, A.V., Eliasshtam, M. K. Propulsion systems of locomotives. Educational guide [*Silovyye ustanovki lokomotivov: uchebnoe posobie*]. St.Peterburg, PGUPS publ., 2014, 42 p.

Grafkina, M. V. Labor protection. Road transport. Textbook [*Ohrana truda. Avtomobil'nyy transport: uchebnyk*]. Moscow, Akademiya publ., 2014, 175 p.

Grenkevich, O.O., Karasev, S. V. Basics of railway operation. Educational guide [*Osnovy ekspluatatsii zheleznih dorog: uchebnoe posobie*]. Novosibirsk, STU publ., 2014, 129 p.

Gryaznov, M.V., Nitsenko, V. S. Calculation of reliability of transport systems. Educational guide [*Raschet nadezhnosti transportnyh sistem: uchebnoe posobie*]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, 87 p.

Чурков Н. А., Соколов М. М., Морчиладзе И. Г. История вагоностроения. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2014. — 190 с.

Электронные системы автомобилей: учебное пособие/ Ширишиков А. С. и др. — Пенза: ПГУАС, 2014. — 231 с.

Шрамко А. П. Современные подходы к модернизации региональной транспортной системы: монография. — Новороссийск: Гос. морской ун-т им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2014. — 184 с.

Якубович Н. В. Великий Ильюшин. Авиаконструктор № 1. — М.: Яуза; Эксмо, 2014. — 478 с.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●

Gurina, T. A. Qualitative methods of differential equations in the theory of the aircraft control [*Kachestvennyye metody differentsial'nyh uravneniy v teorii upravleniya letatel'nyimi apparatami*]. Moscow, MAI publ., 2014, 159 p.

Hlebnikov, V. S. Aerothermodynamics of aircraft elements during steady and unsteady supersonic separation flow. Monograph [*Aerothermodinamika elementov letatel'nyh apparatov pri statsionarnom i nestatsionarnom sverkhzvukovom otryvnom obtekanii: monografiya*]. Moscow, Fizmatlit publ., 2014, 165 p.

Kuzmin, N. A. Theoretical foundations of performance assurance of cars. Educational guide [*Teoreticheskie osnovy obespecheniya rabotosposobnosti avtomobiley: uchebnoe posobie*]. Moscow, Forum publ., 2014, 271 p.

Kuznetsov, V.I., Kochegarov, A. V. Work process of double-flow turbojets. Monograph [*Rabochiy protsess dvukhkonturnykh turboreaktivnykh dvigateley: monografiya*]. Omsk, OmSTU publ., 2014, 208 p.

Migal, V.D., Migal, V. P. Methods of technical diagnostics of cars. Educational guide [*Metody tehnikeskoy diagnostiki avtomobiley: uchebnoe posobie*]. Moscow, Forum publ., 2014, 416 p.

Mihaylov, N.V., Chistyakov, V. V. Receivers of satellite space-based navigation: architecture and primary processing of signals. Monograph [*Priemniki sputnikovoy navigatsii kosmicheskogo bazirovaniya: arhitektura i pervichnaya obrabotka signalov: monografiya*]. Voronezh, Nauchnaya kniga publ., 2014, 124 p.

Narskiy, A. R. Development of domestic aviation nonmetallic materials science in



1922–1932: unknown pages of history in archival documents [*Razvitie otechestvennogo aviatsionnogo nemetallichesko materialovedeniya v 1922–1932 gg.: neizvestnye stranitsy istorii v arhivnykh dokumentakh*]. Moscow, Poligraf servis publ., 2014, 253 p.

Pikalev, O. N. Evaluation of the competitiveness of buses for city and intercity transportation. Monograph [*Otsenka konkurentosposobnosti avtobusov dlya gorodskih i mezhdugorodnykh perevozk: monografiya*]. Vologda, VoSU publ., 2014, 119 p.

Pikalev, O.N., Smirnov, P.I., Sokolov, S. A. Determination and calculation of main parameters of details of a car. Educational guide [*Opredelenie i raschet osnovnykh parametrov detaley avtomobilya: uchebnoe posobie*]. Vologda, VoSU publ., 2014, 75 p.

Pogodin, V.A. et al. Hydraulic structures of seaports. Educational guide [*Gidrotehnicheskie sooruzheniya morskikh portov: uchebnoe posobie*]. Ed. by Alhimenko, A. I. St.Petersburg, Lan» publ., 2014, 427 p.

Salmin, V.V., Dolgova, L. V. Transportation energy. Educational guide for students [*Transportnaya energetika: uchebnoe posobie dlya studentov*]. Penza, PGUAS publ., 2014, 126 p.

Saptsin, V. P. Technology of research of water complexes. Instruments and experimental techniques. Educational guide [*Tehnologiya issledovaniy vodohozyaystvennykh kompleksov. Pribory i tehnika eksperimenta: uchebnoe posobie*]. Yoshkar-Ola, Volga State University of Technology, 2014, 140 p.

Selifonov, V.V., Biryukov, M. K. Construction and maintenance of trucks: textbook. 8th ed., reprint. [*Ustroystvo i tehnikeskoe obsluzhivanie gruzovykh avtomobiley: uchebnik. 8-e izd., ster*]. Moscow, Akademiya publ., 2014, 398 p.

Solynina, V. E. Short course of aeronautical meteorology. Educational guide. 2nd ed., rev. and enl. [*Kratkiy kurs aviatsionnoy meteorologii: uchebnoe posobie. 2-e izd., ispr. i dop*]. Moscow, Aviashkola Aeroflota publ., 2014, 132 p.

Spirin, I. V. Organization and management of road passenger transportation. Textbook. 8th ed., reprint. [*Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobil'nyimi perevozkami: uchebnik. 8-e izd., ster*]. Moscow, Akademiya publ., 2014, 397 p.

Stepanov, S.N., Vidineeva, N. Yu. The technology of assembling cars. Educational guide [*Tehnologiya sborki avtomobiley: uchebnoe posobie*]. St.Petersburg, Polytechnic university publ., 2014, 221 p.

Timuhina, E. N. Improvement of operation safety and reliability of transport facilities in case of technological failures [*Povyshenie bezopasnosti funktsionirovaniya i nadezhnosti transportnykh obektov pri tehnologicheskikh sboyah*]. Ekaterinburg, USURT publ., 2014, 112 p.

Tolpegin, O. A. Methods of adaptive aircraft control: texts of lectures [*Metody adaptivnogo upravleniya letatel'nyimi apparatami: teksty lektsiy*]. St.Petersburg, BGTU publ., 2014, 82 p.

Turevskiy, I.S., Sokov, V.B., Kalinin, Yu.N. Electrical equipment of cars. Educational guide [*Elektrooborudovanie avtomobiley: uchebnoe posobie*]. Moscow, Forum publ.; Infra-M publ., 2014, 367 p.

Udalova, N. V. Methods and algorithms of digital image processing in complex systems of surveillance of aircraft. Educational guide [*Metody i algoritmy obrabotki tsifrovyykh izobrazheniy v kompleksnykh sistemah nablyudeniya letatel'nykh apparatov: uchebnoe posobie*]. Moscow, MAI publ., 2014, 142 p.

Usov, V. D., Vorotyntseva, M. G. Fundamentals of maneuvering ships at passing in limited visibility [*Osnovy manevrirovaniya sudov pri rashozhdenii v ogranichennuyu vidimost'*]. Astrakhan, Volga publ., 2014, 39 p.

Zlobina, N.I., Belokurov, V. P. Certification and Licensing in the production and road transport. Educational guide [*Sertifikatsiya i litsenzirovanie v sfere proizvodstva i na avtomobil'nom transporte: uchebnoe posobie*]. Voronezh, VSFEA publ., 2014, 148 p.

Shramko, A. P. Modern approaches to modernization of regional transport system. Monograph [*Sovremennye podhody k modernizatsii regional'noy transportnoy sistemy: monografiya*]. Novorossiysk, Gos. morskoy un-t im. adm. F. F. Ushakova, 2014, 184 p.

Yakubovich, N. V. Great Ilyushin. Aircraft designer № 1 [*Velikiy Ilyushin. Aviakonstruktor № 1*]. Moscow, Yauza publ.; Eksmo publ., 2014, 478 p.

List compiled by Natalia OLEYNIK

Содержание журнала в 2014 году

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

<i>Александров И. К.</i> Движение поезда на кривой: дополнительные энергопотери	№ 1	С.18–23
<i>Анисимов П. С.</i> Метод оценки воздействия грузовых вагонов на путь	№ 1	С.24–32
<i>Анисимов П. С., Петров Г. И.</i> Пространственные колебания вагона-платформы	№ 2	С.20–29
<i>Батурин А. П.</i> Расчет среднего веса грузового поезда	№ 3	С.6–13
<i>Вакуленко С. П., Ларин О. Н., Лёвин С. Б.</i> Теоретические аспекты механизмов взаимодействия в транспортных системах	№ 6	С.14–27
<i>Воронин Н. Н., Воронин Н. Н. (мл.), Зин Эй Мин</i> Приработка цилиндрических поверхностей пятниковых узлов вагонов	№ 3	С.14–21
<i>Демьянов А. А., Павлицкий Б. И.</i> Взаимосвязи внешнего воздействия с адаптивной системой шкворневого узла	№ 5	С.52–58
<i>Зотова М. А.</i> О законе распределения вероятностей случайной величины	№ 4	С.24–31
<i>Зотова М. А.</i> ЦОД в неустановившемся режиме работы	№ 6	С.28–32
<i>Коган А. Я., Полещук И. В.</i> Оценка вибрации пути при высоких скоростях движения	№ 4	С.6–15
<i>Козлов П. А.</i> Поток и бункер-канал в транспортной системе	№ 2	С.30–37
<i>Курганов В. М., Грязнов М. В.</i> Структурное резервирование на автомобильном транспорте	№ 5	С.6–21
<i>Лёвин С. Б.</i> Модель управления контейнерной компанией в логистической цепи	№ 2	С.46–59
<i>Мачерет Д. А.</i> Будущее транспорта в контексте мегаэкономических изменений	№ 6	С.6–13
<i>Полянский А. В.</i> ВСМ: интеллектуальный подход	№ 2	С.38–44
<i>Попов А. П.</i> Структурная оптимизация интегрированных АСУ	№ 3	С.34–40
<i>Рубичев Н. А., Сейдахметов Н. Б.</i> Доверительные границы результатов измерений	№ 5	С.38–51
<i>Саврухин А. В., Неклюдов А. Н., Ефимов Р. А.</i> Моделирование тепловых нагрузений цельнокатаных колёс	№ 5	С.22–37
<i>Саркисян Р. Е., Кобец Е. В.</i> Зависимость используемых ресурсов от нелинейности производственной функции	№ 2	С.6–18
<i>Сафонова И. Е., Голдовский Я. М., Желенков Б. В.</i> Моделирование СУБД с ограниченной циркуляцией сегментов	№ 4	С.32–44
<i>Тарарычкин И. А.</i> Структурные уровни межрегиональных транспортных систем	№ 3	С.22–33
<i>Устич П. А., Иванов А. И., Чернышова Л. М.</i> Модель решения оптимизационных задач	№ 1	С.6–16
<i>Чернов Ю. А., Гаврилов М. С.</i> Многопроводные тяговые сети переменного тока	№ 4	С.16–23

НАУКА И ТЕХНИКА

<i>Воробьёв А. А., Карпов В. А., Соколов С. А.</i> Неразрушающий контроль: анализ надёжности ПС	№ 6	С.58–67
<i>Воронин Н. Н., Воронин Н. Н. (мл.), Зин Эй Мин</i> Контактные давления на цилиндрических поверхностях пятникового узла	№ 1	С.58–65
<i>Герман Л. А., Кишкурно К. В.</i> Регулирование мощности установки поперечной компенсации на посту секционирования	№ 6	С.48–54
<i>Горелов Г. В., Клепцов Г. И., Попов И. Л.</i> Пакетная передача речи в сетях подвижной связи	№ 3	С.50–55
<i>Григорьев Н. Д.</i> Измерение сопротивлений обмоток трансформаторов	№ 3	С.46–49
<i>Замуховский А. В., Квашнин Н. М., Жангабылова А. М.</i> Контроль динамического воздействия экипажа на путь	№ 5	С.72–81





<i>Зенкович Ю.И.</i> Порог контрольного срабатывания в ПКУ-М	№ 1	С.74–78
<i>Золкин А.Л., Галиуллин А. Р.</i> Преимущества электропневматического тормоза в грузовых поездах	№ 5	С.66–71
<i>Золкин А.Л., Фисюренко Р. В.</i> Конструкция электровоза с поворотной рамой	№ 4	С.66–74
<i>Иньков Ю.М., Литовченко В. В., Назаров Д. В., Феоктистов В. П.,</i> Выбор параметров двухсистемного грузового электровоза	№ 6	С.34–46
<i>Иньков Ю.М., Феоктистов В. П., Шабалин Н. Г.</i> Развитие тяговых электроприводов электропоездов постоянного тока	№ 2	С.62–69
<i>Кашин Д.И.</i> Расчет спектров цифровых электросигналов	№ 2	С.90–96
<i>Квашнин М.Я., Квашнин Н. М., Бондарь И. С.</i> Вейвлет-анализ в виброакустическом методе контроля	№ 6	С.78–84
<i>Кос О.И.</i> Прогноз износа металлических мостовых пролетов	№ 5	С.82–89
<i>Костюков В.Н., Цурпаль А. Е.</i> Диагностирование электромашинного преобразователя электропоезда в условиях эксплуатации	№ 4	С.46–53
<i>Кругликов Е.П.</i> Анализ надежности буксы: построение дерева событий	№ 2	С.82–89
<i>Кубрак А.А.</i> Эксплуатационная надежность пассажирских станций	№ 4	С.60–65
<i>Логонова Е.Ю., Коваленко А. В.</i> Аккумуляторные накопители энергии на метropоездах	№ 1	С.50–57
<i>Мельников В.А.</i> Диагностирование тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем	№ 3	С.56–62
<i>Мордовин Е.А.</i> Пневматический воздухораспределитель для электропоезда	№ 2	С.70–75
<i>Мочалова Т.О.</i> Модель для расчетов тягового привода	№ 1	С.66–73
<i>Назаров В.В.</i> Работоспособность жестких покрытий зоны приземления самолетов	№ 4	С.54–59
<i>Сазонов К.Е., Добродеев А. А.</i> Средства прокладки судоходных каналов во льдах	№ 1	С.42–49
<i>Сарбаев В.И., Гармаш Ю. В.</i> Система зажигания с адаптируемым преобразователем	№ 3	С.42–45
<i>Сердобинцев Е.В., Званцев П. Н., Йе Вин Хан</i> Выбор параметров метровагона с пневморессорсами	№ 1	С.34–41
<i>Субханвердиев К. С.</i> Частично-неселективная система защит контактной сети	№ 5	С.90–96
<i>Феоктистов В.П., Чуверин Ю. Ю., Ко Ко Хтет</i> Импульсно-резисторное регулирование тяговых электродвигателей	№ 5	С.60–65
<i>Шевченко А.П.</i> Техническое обновление средств автоматики и телемеханики	№ 2	С.76–80
<i>Шульман Э.А.</i> Непрерывные измерения вертикальных сил взаимодействия пути и подвижного состава	№ 6	С.68–77

ЭКОНОМИКА

<i>Багинова В.В., Федоров Л. С., Лёвин С. Б.</i> Логистический бизнес: гармония затрат и результата	№ 5	С.112–115
<i>Беряков С.Н.</i> Модель выбора инвестиционных проектов	№ 3	С.116–122
<i>Быков А.И., Петилава Р. А., Савельев К. О.</i> Логистика ремонта грузовых вагонов	№ 6	С.116–122
<i>Волков Б.А., Гудков П. А.</i> Износ и ввод основных средств на железных дорогах	№ 3	С.76–83
<i>Галабурда В.Г.</i> Синергетический эффект транспорта	№ 1	С.96–100
<i>Ефимов С.М.</i> Применимость RAB-регулирования в пассажирских тарифах	№ 5	С.116–122
<i>Ефимова Л.В.</i> Точки опоры для дальневосточных преобразований	№ 6	С.100–106
<i>Журавлев А.Б.</i> Не только как шарики в подшипнике	№ 3	С.92–103

<i>Зубков С.А., Косолапов Г. Н.</i> Экономически глобализуемся – глобально организуемся	№ 2	C.114–119
<i>Карапетьянц И.В., Сазонов С. Л.</i> Приоритеты китайских скоростей	№ 4	C.76–87
<i>Кенжебаева Г.Ж., Бадамбаева С. Е.</i> Мультимодальная сеть Казахстана: проектирование этапного развития	№ 4	C.88–97
<i>Королькова Н.В., Иноземцева С. М.</i> Структурные особенности эксплуатационных расходов	№ 6	C.86–99
<i>Корытов А.Ю., Кульков А. А.</i> Как оценивать качество капитального ремонта	№ 2	C.110–113
<i>Лавров И.М.</i> Методика и результаты расчетов эластичности спроса относительно качества транспортного обслуживания	№ 1	C.86–95
<i>Ляшенко А.Н.</i> Выбор береговых терминалов для хранения жидкого топлива	№ 3	C.84–91
<i>Мачерет Д.А.</i> Экономика «пробки»	№ 3	C.64–75
<i>Михненко О. Е., Подкопаев М. Ю., Разумовский К. А.</i> Стратегическая конкурентоспособность транспортной компании	№ 5	C.98–105
<i>Петраков Г.П.</i> Мультимодальные логистические центры: ожидаемые эффекты	№ 1	C.80–85
<i>Письменная А. Б., Яркoвская Т. В.</i> Оценка интеллектуального капитала организации	№ 5	C.106–111
<i>Решетова Е.М.</i> Стоимость времени и плата за проезд по городским дорогам	№ 6	C.108–115
<i>Тегин В.А., Усманов Б. Ф.</i> Краудфандинг как стратегия инвестирования в инновации	№ 4	C.98–106
<i>Черный С., Логунова Н.</i> Разработка сегментов кластеров координации отраслевой направленности	№ 3	C.104–115
<i>Шмулевич М.И., Суворов В. К.</i> Дифференциация тарифов для ППЖТ	№ 2	C.98–109

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

<i>Аболмасов А.А.</i> Критерии надежности тепловозов	№ 2	C.158–166
<i>Андрейчиков А.В., Маслова К. А., Леянова С. В.</i> Сетевые модели управления рисками	№ 3	C.162–174
<i>Андрейчиков А.В., Марков Д. С., Асташкина Л. А.</i> Интеллектуальная система для стратегических решений	№ 5	C.130–145
<i>Балжир М.</i> Перспективы Улан-Баторской железной дороги	№ 3	C.148–155
<i>Булов А.А., Соколов С. С., Новоселов Р. Ю.</i> Информация в стратегии судоходной компании	№ 3	C.124–133
<i>Вакуленко С.П., Доенин В. В., Евреенова Н. Ю.</i> Моделирование пассажиропотоков в ТПУ	№ 4	C.124–131
<i>Евреенова Н.Ю.</i> Моделирование функционирования транспортно-пересадочного узла	№ 5	C.170–176
<i>Евсеев Д.Г., Щербаков К. Г.</i> Сервисное обслуживание ТПС с управлением жизненным циклом	№ 3	C.134–139
<i>Игнатов Н.А.</i> Оптимизация поддержки вычислительных ресурсов на железнодорожном транспорте	№ 2	C.148–156
<i>Исаков М.П.</i> Анализ эксплуатационных показателей полигонов	№ 5	C.162–169
<i>Коваленко А.Н.</i> Мультимодальные пассажирские перевозки в Казани	№ 1	C.134–138
<i>Колин А.В., Мулеев Е. Ю.</i> О диаметральном развитии пригородного сообщения	№ 3	C.140–147.
<i>Комаров К.Л., Зыкова В. Ю., Кузьмицкая М. А.</i> Планирование развития дорожной сети на основе кластерного анализа	№ 4	C.108–117
<i>Копылова А.В.</i> Интегрированная система управления рисками	№ 6	C. 134–141
<i>Левин Д.Ю.</i> Очереди на железной дороге	№ 2	C.132–141





258

Миротин Л.Б., Лебедев Е.А., Левицкий М.О. Интеграция транспортных коммуникаций региона Орлов В.А. Городская электричка. Пора поговорить? Попов А.П., Попова Т.А. Преимственность при проектировании комплекса технических средств Прохоренков А.М., Истратов Р.А. Сыпучие грузы в порту: обработка по ситуации Разговоров К.И. Аудит и аттестация дилерских станций автотехобслуживания Разговоров К.И., Баженов Ю.В. Развитие системы гарантийного обслуживания автомобилей Рябов И.М., Нгуен Тхи Тху Хыонг Анализ обслуживания пассажиров автобусами в России и за рубежом Сальников А.М. Маркетинговый подход к исследованию городских пассажиропотоков Седова Н.А. Расхождение судов в зоне чрезмерного сближения Тарарышкин И.А., Слободянюк М.Э., Нечаев Г.И. Сетевая структура межрегиональных транспортных систем Уманский В.И., Долганюк С.И. Цифровые модели путевого развития станции Цагаанбанди Ганчимэг Новые подходы к стратегии управления в АО УБЖД Чумляков К.С. Тенденции транзита: от морского к сухопутному?	№ 4 № 4 № 5 № 1 № 5 № 2 № 2 № 6 № 6 № 1 № 1 № 5 № 3	С.118–122 С.132–140 С.124–129 С.112–125 С.146–153 С.142–147 С.122–131 С.142–151 С.124–132 С.102–111 С.126–133 С.154–160 С.156–161
--	---	---

БЕЗОПАСНОСТЬ

Агапов А.Г., Дашкевич И.М. О трудовой среде мостовика Калиниченко А.Я., Ковалев А.А., Кардаполов А.А. Предотвращение гололедообразования при токосъеме Ковалев П.Д., Горбунов А.О., Плеханов Ф.А., Зарочинцев В.С. Результаты экспериментов в зоне размыва автомагистрали Кибовский В.Т., Рахманов Б.Н. О правовой ответственности за создание лазерных угроз Новосельский А.В. Система конфиденциальных сообщений для предотвращения авиационных происшествий Стручалин В.Г., Пономарев В.М., Навценя В.Ю. Анализ взрывоопасных зон при заполнении цистерн нефтегрузами	№ 1 № 3 № 1 № 1 № 1 № 3 № 3	С.156–160 С.176–183 С.140–145 С.146–155 С.192–196 С.184–191
--	---	--

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Белинский С.О. Экспериментальная оценка параметров электромагнитных полей Вестяк В.А. Пожаротушение с вертолета в городах Дворникова Т.В. Электровозный кластер в большом городе: проблемы экологической совместимости Журавлева М.А., Зубрев Н.И., Кокин С.М., Загрязнение придорожной зоны тяжелыми металлами Карпова Н.С., Голокос Д.А. Прогнозирование надежности герметичных электромеханических преобразователей Курбацкий Е.Н., Нгуен Ван Хунг Транспортные тоннели из опускаемых секций Палкин С.В., Козырев В.А. Презумпция соответствия техническим регламентам Пашинин В.А., Коваленко М.А. Блочно-модульная установка для очистки сточных вод Поляков В.Ю. Безопасность при высоких скоростях на мосту Чернева Г.П. Дугогасительные процессы в среде оксигидрогена	№ 5 № 6 № 5 № 6 № 2 № 6 № 5 № 2 № 6 № 2	С.178–191 С.154–159 С.192–201 С.174–181 С.186–192 С.160–173 С.202–208 С.168–179 С.182–188 С.180–185
---	--	--

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Алчебаев М.А., Гайдуков А. М. Геймификация или мистификация?	№ 3	C.220–228
Архангельская О.В., Глазков В. Н., Архангельская О. А. Компетенции руководителей при управлении персоналом	№ 4	C.148–153
Виноградов В.В., Кочнева Л. Ф., Платонова О. А. О повышении качества математических знаний	№ 4	C.142–147
Виноградов В.В., Никитенко В. А., Пауткина А. В. Сетевое взаимодействие школа – дом физики	№ 5	C.210–215
Воронцова Н.Н. Личностные стратегии в формировании сервисного типа поведения	№ 2	C.222–228
Воронцова Н.Н. Символика вуза в восприятии студентов	№ 4	C.154–158
Гиричева В.А., Канивец Р. Ф. Об оптимизации должностной структуры персонала	№ 1	C.176–184
Жирякова С.Н. Межпоколенческий анализ самооценки интеллектуального потенциала	№ 1	C.170–175
Иванов М.А., Демченков О. В. Учебный полигон навигационных тренажёров	№ 1	C.162–169
Ионов В.В., Курчавов В. В. Многопараметрическая оценка деятельности операторов интроскопов	№ 2	C.194–201
Карапетянц И.В., Силина Е. К., Фортыхина Е. А. Оценка компетенций специалистов работодателями	№ 3	C.198–209
Катцын Д.В., Кокурин И. М., Ковалев К. Е. Распределение зон управления и функций оперативного персонала	№ 3	C.210–219
Лепидус Л.В. Подготовка экономистов и менеджеров в условиях глобализации	№ 6	C.204–209
Лёвин Б.А. Университетский ресурс в инновационном цикле	№ 6	C. 190-200
Малишевский А. В., Бровкин П. Е., Власов Е. В. Оценка эффективности экипажей летательного аппарата	№ 5	C.216–229
Пономарёв В. М., Ульянов В. А. Обучение безопасности: координация и учет	№ 5	C.230–234
Селиверстова Ж.В. Влияние социального пакета на кадровое обеспечение	№ 2	C.214–221
Терешина Н.П., Подсорин В. А., Шаханов Д. А. Ресурсы производительности: опыт США	№ 2	C.202–213

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Белогурова Т.А. Войною прерванный путь	№ 5	C.254–264
Болотин М.М., Андриянов С. С. Методология исследования истории транспортной техники	№ 4	C.160–169
Гончар В.В. Зубовращение на транспорте: сто лет назад	№ 4	C.170–181
Григорьев Н.Д. Русское лыко в телевизионную строку	№ 1	C.186–191
Григорьев Н.Д. Спасенные звонят колокола	№ 2	C.244–256
Григорьев Н.Д. Умножение движущих сил	№ 3	C.238–245
Григорьев Н.Д. Яркий луч впереди паровоза	№ 5 № 6	C. 236–245 C. 224–237
Лёвин Б.А., Иньков Ю. М., Овчаров И. В. К истории тепловизионного мониторинга наземной обстановки	№ 3	C.230–237
Мачерет Д.А. Транспортный фактор в эпоху древних цивилизаций	№ 2	C.230–241
Михайлов В.В. Телевизионные установки на железных дорогах	№ 1	C.194–198
Пинская Н.П., Столбова И. Д. Три образа одного вокзала	№ 3	C.246–251
Раппопорт А. В. Туризм на реактивной тяге	№ 5	C.246–253
Сиротенко И.В., Гогричиани Г. В. Ресурс тепловозных дизелей: ретроспективный анализ (Часть 1)	№ 6	C.212–221
Тарасова В.Н., Ефимова Г. Н. Пассажирский вагон плавно прошел свой путь	№ 6	C.238–244





КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

План оптимизирует будущее	№ 1	C.200–202
<i>Владимиров Ю.В.</i>		
Музыка ракетных стартов	№ 5	C.266–269
<i>Горелик В.Ю.</i>		
Как защитить транспортное киберпространство	№ 2	C.258–261
<i>Николаев А.А.</i>		
Тарифы и штормовые рифы	№ 6	C.246–249
<i>Рахимьянова И.А.</i>		
Принципы сохраняются – средства меняются	№ 4	C.186–190
<i>Усманов Б.Ф.</i>		
Открытый смысл скрытых потребностей	№ 3	C.256–260

CONTENTS OF THE ISSUES (2014)

THEORY

<i>ALEXANDROV, I. C.</i>		
The Train in Curve: Additional Power Losses	Iss. 1 (50)	pp.18–23
<i>ANISIMOV, P. S.</i>		
Methods of Evaluation of the Impact of Freight Cars on the Track	Iss. 1 (50)	pp.24–32
<i>ANISIMOV, P. S., PETROV, G. I.</i>		
Spatial Oscillation of a Rail Flat-Car	Iss. 2 (51)	pp. 20–29
<i>BATURIN, A. P.</i>		
Average Weight Calculation of a Freight Train	Iss. 3 (52)	pp. 6–13
<i>CHERNOV, Yu. A., GAVRILOV, M. S.</i>		
Multiwire AC Electric Traction Networks	Iss. 4 (53)	pp. 16–23
<i>DEMIANOV, A. A., PAVLITSKY, B. I.</i>		
Interrelation between External Exposure AND Adaptive System of a Pivot Node	Iss. 5 (54)	pp. 52–58
<i>KOGAN, A. Ya., POLESHCHUK, I. V.</i>		
Evaluation of Track's Vibration at High Speed	Iss. 4 (53)	pp. 6–15
<i>KOZLOV, P. A.</i>		
Flow and Bunker-Channel in the Transport System	Iss. 2 (51)	pp. 30–37
<i>KURGANOV, V. M., GRYAZNOV, M. V.</i>		
Structural Redundancy in Automotive Transport	Iss. 5 (54)	pp. 6–21
<i>LIEVIN, S. B.</i>		
Management Model for Container Company within Logistics Chain	Iss. 2 (51)	pp. 46–59
<i>MACHERET, D. A.</i>		
The Future of Transport in the Context of Megaeconomic Changes	Iss. 6 (55)	pp. 6–13
<i>POLYANSKIY, A. V.</i>		
Possibilities of Applications of Artificial Intelligence in Design Technology and Organization of Construction of High-Speed Rail	Iss. 2 (51)	pp. 38–44
<i>POPOV, A. P.</i>		
Structural Optimization of Integrated Automatic Control Systems	Iss. 3 (52)	pp. 34–40
<i>RUBICHEV, N. A., SEYDAKHMETOV, N. B.</i>		
Confidence Limits of Measurement Results	Iss. 5 (54)	pp. 38–51
<i>SAFONOVA, I. E., GOLDOVSKIY, Ya. M., ZHELENKOV, B. V.</i>		
Simulation System of Network Database Management System with Limited Circulation of Segments	Iss. 4 (53)	pp. 32–44
<i>SARKISYAN, R. E., KOBETS, E. V.</i>		
Dependence of the Used Resources on the Nonlinearity of the Production Function	Iss. 2 (51)	pp. 6–18
<i>SAVRUKHIN, A. V., NEKLYUDOV, A. N., EFIMOV, R. A.</i>		
Simulation of Thermal Loadings of Wrought Wheels	Iss. 5 (54)	pp. 22–37
<i>TARARYCHKIN, I. A.</i>		
Structural Levels of Interregional Transport Systems	Iss. 3 (52)	pp. 22–33
<i>USTICH, P. A., IVANOV, A. A., CHERNYSHOVA, L. M.</i>		
Model of Solution of Optimization Problems	Iss. 1 (50)	pp.6–16

<i>VAKULENKO, S. P., LARIN, O. N., LIEVIN, S. B.</i> Theoretical Aspects of Interaction Mechanisms in Transport Systems	Iss. 6 (55)	pp. 14–27
<i>VORONIN, N. N., VORONIN (Jr.), N. N., ZIN AYE MIN</i> Running in of Cylindrical Surface of Centre Plate Units of Cars	Iss. 3 (52)	pp. 14–21
<i>ZOTOVA, M. A.</i> On the Law of Probability Distribution of a Random Variable	Iss. 4 (53)	pp. 24–31
<i>ZOTOVA, M. A.</i> DPC in Transient Mode	Iss. 6 (55)	pp. 28–32

SCIENCE AND ENGINEERING

<i>FEOKTISTOV, V. P., CHUVERIN, Yu. Yu., HTET, Ko Ko</i> Pulse-resistor Control of Traction Motors	Iss. 5 (54)	pp. 60–65
<i>GERMAN, L. A. KISHKURNO, C. V.</i> Power Control of Shunt Compensation Installation at Section Pillar	Iss. 6 (55)	pp. 48–54
<i>GORELOV, G. V., KLEPTSOV, G. I., POPOV, I. L.</i> Packet Voice Transmission in Mobile Networks	Iss. 3 (52)	pp. 50–55
<i>GRIGORIEV, N. D.</i> Measurement of Transformer Windings Resistance	Iss. 3 (52)	pp. 46–49
<i>INKOV, Yu. M., FEOKTISOV, V. P., SHABALIN, N. G.</i> Development of Traction DC Electric Motors of Electric Trains	Iss. 2 (51)	pp. 62–69
<i>INKOV, Yu. M., LITOVCHENKO, V. V., NAZAROV, D. V., FEOKTISTOV, V. P.</i> Selection of Parameters for Dual-System Freight Electric Locomotive	Iss. 6 (55)	pp. 34–46
<i>KASHIN, D. I.</i> Calculation of Digital Electrical Signals Spectrum	Iss. 2 (51)	pp. 90–96
<i>KOS, O. I.</i> Forecast of Wear of Metal Bridge Spans	Iss. 5 (54)	pp. 82–89
<i>KOSTYUKOV, V. N., TSURPAL, A. E.</i> Troubleshooting of transverter of Electric Train under Operation Conditions	Iss. 4 (53)	pp. 46–53
<i>KRUGLIKOV, E. P.</i> Reliability Analysis of the Journal-Box: Event Tree Construction	Iss. 2 (51)	pp. 82–89
<i>KUBRAK, A. A.</i> Operational Reliability of Passenger Stations	Iss. 4 (53)	pp. 60–65
<i>KVASHNIN, M. Ya., KVASHNIN, N. M., BONDAR, I. S.</i> Wavelet Analysis in Vibro-Acoustic Control Method	Iss. 6 (55)	pp. 78–84
<i>LOGINOVA, E. Yu., KOVALENKO, A. V.</i> Accumulating Power Storage Devices for Metro Trains	Iss. 1 (50)	pp. 50–57
<i>MELNIKOV, V. A.</i> Diagnosing Locomotives according to Onboard Microprocessor System» Data	Iss. 3 (52)	pp. 56–62
<i>MOCHALOVA, T. O.</i> Computed Model for Traction Gear	Iss. 1 (50)	pp. 66–73
<i>MORDOVIN, E. A.</i> Pneumatic Air Distributor for Electric Train	Iss. 2 (51)	pp. 70–75
<i>NAZAROV, V. V.</i> Performance of Rigid Pavement in Planes' Landing Area	Iss. 4 (53)	pp. 54–59
<i>SARBAEV, V. I., GARMASH, Yu. V.</i> Ignition System with Adaptable Converter	Iss. 3 (52)	pp. 42–45
<i>SAZONOV, C. E., DOBRODEEV, A. A.</i> Crafts to Make Navigable Ice Lanes	Iss. 1 (50)	pp. 42–49
<i>SERDOBINTSEV, E. V., ZVANTSEV, P. N., YE WIN HAN</i> Choice of Parameters for a Metro Coach with Pneumatic Springs	Iss. 1 (50)	pp. 34–41
<i>SHEVCHENKOV, A. P.</i> Technical Update of Automation and Remote Control	Iss. 2 (51)	pp. 76–80
<i>SHULMAN, Z. A.</i> Continuous Measurements of Vertical Forces of Track and Rolling Stock Interaction	Iss. 6 (55)	pp. 68–77
<i>SUBKHANVERDIEV, C. S.</i> Partially Non-Selective Protection System of Catenary	Iss. 5 (54)	pp. 90–96
<i>VOROBIEV, A. A., KARPOV, V. A., SOKOLOV, S. A.</i> Non-Destructive Control: Analysis of Rolling Stock Reliability	Iss. 6 (55)	pp. 58–67
<i>VORONIN, N. N., VORONIN (Jr.), N. N., ZIN AYE MIN</i>		





Contact Pressure in Cylindrical Surfaces of Center Plate Arrangement	Iss. 1 (50)	pp. 58–65
ZAMUKHOVSKIY, A. V., KVASHNIN, N. M., ZHANGABYLOVA, A. M.		
Control of Vehicle's Dynamic Impact on a Track	Iss. 5 (54)	pp. 72–81
ZENKOVICH, Yu. I.		
Limit of Control Actuation in Switching And Control Units of Double-Filament Bulbs of Light Rail Signalling System (PKU-M).	Iss. 1 (50)	pp. 74–78
ZOLKIN, A. L., FISYURENKO, R. V.		
Design of an Electric Locomotive with a Rotating Frame	Iss. 4 (53)	pp. 66–74
ZOLKIN, A. L., GALIULLIN, A.		
Advantages of Electro-Pneumatic Brake of Freight Trains	Iss. 5 (54)	pp. 66–71
ECONOMICS		
BAGINOVA, V. V., FEDOROV, L. S., LIEVIN, S. B.		
Logistics Business: Harmony of Costs and Outcome	Iss. 5 (54)	pp. 112–115
BERYAKOV, S. N.		
Model for Selection of Investment Projects	Iss. 3 (52)	pp. 116–122
BYKOV, A. I., PETILAVA, R. A., SAVELIEV, C. O.		
Logistics of Freight Cars Repair	Iss. 6 (55)	pp. 116–122
CHERNIY, S. G., LOGUNOVA, N. A.		
Development of Clusters' Coordination Segments with Sectorial Focus	Iss. 3 (52)	pp. 104–115
EFIMOV, S. M.		
Applicability of RAB-Regulation in Passenger Tariffs	Iss. 5 (54)	pp. 116–122
EFIMOVA, L. V.		
Support Points for the Far Eastern Transformations	Iss. 6 (55)	pp. 100–106
GALABURDA, V. G.		
Synergetic Effect of Transport	Iss. 1 (50)	pp. 96–100
KARAPETYANTS, I. V., SAZONOV, S. L.		
Priorities of Chinese Speeds	Iss. 4 (53)	C. 76–87
KENZHEBAYEVA, G. Z., BADAMBAYEVA, S. E.		
Multimodal Network of Kazakhstan: Design of a Staged Development	Iss. 4 (53)	pp. 88–97
KOROLKOVA, N. V., INOZEMTSEVA, S. M.		
Structural Features of Operating Costs	Iss. 6 (55)	pp. 86–99
KORYTOV, A. Yu., KULKOV, A. A.		
How to Assess the Quality of Overhaul	Iss. 2 (51)	pp. 110–113
LAVROV, I. M.		
Applied Methods and Results of Computation of Elasticity of Demand Relative to Transportation Quality	Iss. 1 (50)	pp. 86–95
LYASHENKO, A. N.		
Selection of Coastal Terminals for Storage of Liquid Fuel	Iss. 3 (52)	pp. 84–91
MACHERET, D. A.		
Economy of Bottle Necks	Iss. 3 (52)	pp. 64–75
MIKHENKO, O. E., PODKOPAEV, M. Yu., RAZUMOVSKY, C. A.		
Strategic Competitiveness of a Transport Company	Iss. 5 (54)	pp. 98–105
PETRAKOV, G. P.		
Multimode Logistics Centers: Expected Effects	Iss. 1 (50)	pp. 80–85
PISMENNAYA, A. B., YARKOVSKAYA, T. V.		
Evaluation of Intellectual Capital of an Organization	Iss. 5 (54)	pp. 106–111
RESHETOVA, E. M.		
Time Cost and Fares for Travel on Urban Highways	Iss. 6 (55)	pp. 108–115
SHMULEVICH, M. I., SUVOROV, V. C.		
Differentiation of Tariffs for Industrial Railway Enterprises	Iss. 2 (51)	pp. 98–109
TEGIN, V. A., USMANOV, B. F.		
Crowd Funding as a Strategy of Investment in Innovation	Iss. 4 (53)	pp. 98–106
VOLKOV, B. A., GUDKOV, P. A.		
Depreciation and Input of Fixed Assets on the Railways	Iss. 3 (52)	pp. 76–83
ZHURAVLEV, A. B.		
Not only like Balls in the Bearing	Iss. 3 (52)	pp. 92–103
ZUBKOV, S. A., KOSOLAPOV, G. N.		
We are Globalizing Economically – We are Organizing Globally	Iss. 2 (51)	pp. 114–119

MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

<i>ABOLMASOV, A. A.</i> Reliability Criteria of Diesel-electric Locomotives	Iss. 2 (51)	pp. 158–166
<i>ANDREYCHIKOV, A. V., MARKOV, D. S., ASTASHKINA, L. A.</i> Intelligent System for Strategic Decisions	Iss. 5 (54)	pp. 130–145
<i>ANDREYCHIKOV, A. V., MASLOVA, K. A., LELYANOVA, S. V.</i> Network Models of Risk Management	Iss. 3 (52)	pp. 162–174
<i>BALJIR, M.</i> Prospects of Ulan Bator Railway	Iss. 3 (52)	pp. 148–155
<i>BULOVA, A. A., SOKOLOV, S. S., NOVOSELOV, R. Yu.</i> Information in the Strategy of Shipping Company	Iss. 3 (52)	pp. 124–133
<i>CHUMLYAKOV, C. S.</i> Trends in the Development of Transit: from Sea to Overland Routes?	Iss. 3 (52)	pp. 156–161
<i>EVREENOVA, N. Yu.</i> Simulation of Transport Interchange Hub Operation	Iss. 5 (54)	pp. 170–176
<i>EVSEEV, D. G., SCHERBAKOV, C. G.</i> Service Maintenance of Traction Rolling Stock with Life-cycle Management	Iss. 3 (52)	pp. 134–139
<i>IGNATOV, N. A.</i> Optimization of Support of IT-Resources of Railways	Iss. 2 (51)	pp. 148–156
<i>ISAKOV, M. P.</i> Analysis of Operational Factors of Operating Domains	Iss. 5 (54)	pp. 162–169
<i>KOLIN, A. V., MULEEV, E. Yu.</i> On the Prospects of Diametric Commuter Rail Routes <i>Development in Moscow Agglomeration</i>	Iss. 3 (52)	pp. 140–147
<i>KOMAROV, C. L., ZYKOVA, V. Yu., KUZMITSKAYA, M. A.</i> Planning of Development of Road Network based on Cluster Analysis	Iss. 4 (53)	pp. 108–117
<i>KOPYLOVA, A. V.</i> Integrated Risk Management System	Iss. 6 (55)	pp. 134–141
<i>KOVALENKO, A. N.</i> Multimode Passenger Traffic in Kazan	Iss. 1 (50)	pp. 134–138
<i>LEVIN, D. Yu.</i> Train Queuing at Railways	Iss. 2 (51)	pp. 132–141
<i>MIROTIN, L. B., LEBEDEV, E. A., LEVITSKY, M. O.</i> Integration of Regional Transport Communications	Iss. 4 (53)	pp. 118–122
<i>ORLOV, V. A.</i> «Urban Train»: is it Time to Talk?	Iss. 4 (53)	pp. 132–140
<i>POPOV, A. P., POPOVA, T. A.</i> Continuity in the Design of a Complex of Technical Means	Iss. 5 (54)	pp. 124–129
<i>PROHORENKOV, A. M., ISTRATOV, R. A.</i> Bulk Freight at the Port: Situational Handling	Iss. 1 (50)	pp. 112–125
<i>RAZGOVOROV, C. I., BAZHENOV, Yu. V.</i> The Issue of Centralization and Development of Car Warranty Service	Iss. 2 (51)	pp. 142–147
<i>RAZGOVOROV, C. I.</i> Audit and Certification of Dealer Auto Service Stations	Iss. 5 (54)	pp. 146–153
<i>RYABOV, I. M., HUONG, Nguyen Thi Thu</i> Analysis of Bus Passenger Services in Russia and Abroad	Iss. 2 (51)	pp. 122–131
<i>SALNIKOV, A. M.</i> Marketing Approach to the Study of Urban Passenger Flows	Iss. 6 (55)	pp. 142–151
<i>SEDOVA, N. A.</i> Collision Avoidance Actions in the Area of Excessive Approach	Iss. 6 (55)	pp. 124–132
<i>TARARYCHKIN, I. A., SLOBODIANUK, M. E., NECHAEV, G. I.</i> Network Structure of Interregional Transport Systems	Iss. 1 (50)	pp. 102–111
<i>TSAGANBANDI, G.</i> New Approaches to Management Strategy of JSC «UBZhD»	Iss. 5 (54)	pp. 154–160
<i>UMANSKY, V. I., DOLGANUK, S. I.</i> Digital Models of Station Track Development	Iss. 1 (50)	pp. 126–133
<i>VAKULENKO, S. P., DOENIN, V. V., EVREENOVA, N. Yu.</i> Simulation of Passenger Flows in Transport Interchange Hubs	Iss. 4 (53)	pp. 124–131





SAFETY AND SECURITY

- AGAPOV, A. G., DASHKEVICH, I. M.
On the Labor Environment of Bridge Builders Iss. 1 (50) pp. 156–160
- KALINICHENKO, A. Ya., KOVALEV, A. A., KARDAPOLOV, A. A.
Methods to Prevent Icing on Systems of Current Collection of Urban Electric Transport Iss. 3 (52) pp. 176–183
- KOVALEV, P. D., GORBUNOV, A. O., PLEKHANOV, Ph. A., ZAROCHINTSEV, V. S.
The Results of Experiments in the Area of Highway Erosion Iss. 1 (50) pp. 140–145
- NOVOSELSKIY, A. V.
Confidential Reporting System for Air Accidents' Prevention Iss. 3 (52) pp. 192–196
- RAHMANOV, B. N., KIBOVSKY, V. T.
On the Legal Responsibility for Laser Endangering Iss. 1 (50) pp. 146–155
- STRUCHALIN, V. G., PONOMAREV, V. M., NAVTSENYA, V. Yu.
Analysis of Explosion Hazardous Areas while Filling Tank-wagons with Oil Cargoes Iss. 3 (52) pp. 184–191

EDUCATION, TRAINING AND PERSONNEL

- ALCHEBAEV, M. A., GAYDUKOV, A. M.
Gamification or Mystification? Iss. 3 (52) pp. 220–228
- ARKHANGELSKAYA, O. V., GLAZKOV, V. N., ARKHANGELSKAYA, O. A.
Competence of Corporate Managers in the Sphere of HRM Iss. 4 (53) pp. 148–153
- GIRICHEVA, V. A., KANIVETS, R. F.
About the Optimization of the Structure of Job Positions Iss. 1 (50) pp. 176–184
- IONOV, V. V., KURCHAVOV, V. V.
Multiparameter Assessment of Introscope's Operators Activity Iss. 2 (51) pp. 194–201
- IVANOV, M. A., DEMCHENKOV, O. V.
Training Ground of Navigation Simulators Iss. 1 (50) pp. 162–169
- KARAPETYANTS, I. V., SILINA, E. C., FORTYGINA, E. A.
Competency Assessment of Specialists by Employers Iss. 3 (52) pp. 198–209
- KATTSYN, D. V., KOKURIN, I. M., KOVALEV, C. E.
Distribution of Management Areas and Functions of Operating Personnel Iss. 3 (52) pp. 210–219
- LAPIDUS, L. V.
Training of Economists and Managers in Globalized Environment Iss. 6 (55) pp. 204–209
- LIEVIN, B. A.
University Resources in Innovation Cycle Iss. 6 (55) pp. 190–200
- MALISHEVSKY, A. V., BROVKIN, P. E., VLASOV, E. V.
Evaluating the Effectiveness of Crews of an Aircraft Iss. 5 (54) pp. 216–229
- PONOMAREV, V. M., ULYANOV, V. A.
Safety Training: Coordination and Accounting Iss. 5 (54) pp. 230–234
- SELIVERSTOVA, Zh. V.
Influence of the Social Package on Staffing Iss. 2 (51) pp. 214–221
- TERESHINA, N. P., PODSORIN, V. A., SHAKHANOV, D. A.
Productivity Resources: the U. S. Experience Iss. 2 (51) pp. 202–213
- VINOGRADOV, V. V., KOCHNEVA, L. F., PLATONOVA, O. A.
On Improving the Quality of Mathematical Knowledge Iss. 4 (53) pp. 142–147
- VINOGRADOV, V. V., NIKITENKO, V. A., PAUTKINA, A. V.
Networking «School – Home of Physics» Iss. 5 (54) pp. 210–215
- VORONTSOVA, N. N.
Personal Strategy in Shaping the Service-Focused Type of Behavior Iss. 2 (51) pp. 222–228
- VORONTSOVA, N. N.
Symbols of a University in the Perception of Students Iss. 4 (53) pp. 154–158
- ZHIRIAKOVA, S. N.
Intergenerational Analysis of Self-Assessment of Intellectual Potential Iss. 1 (50) pp. 170–175

ENGINEERING ECOLOGY

- BELINSKY, S. O.
Experimental Evaluation of Parameters of Electromagnetic Fields Iss. 5 (54) pp. 178–191

<i>CHERNEVA, G. P.</i> Investigation of Arc-Stilling Processes in Oxyhydrogen Environment	Iss. 2 (51)	pp. 180–185
<i>DVORNIKOVA, T. V.</i> Electric Locomotive Cluster in a Big City: Problems of Environmental Compatibility pp. 192–201	Iss. 5 (54)	
<i>KARPOVA, N. S., GOLOKOLOS, D. A.</i> Forecasting of Reliability of Sealed Electromechanical Convertors	Iss. 2 (51)	pp. 186–192
<i>KURBATSKIY, E. N., NGUYEN, VAN HUNG</i> Transport Immersed Tube Tunnels	Iss. 6 (55)	pp. 160–173
<i>PALKIN, S. V., KOZYREV, V. A.</i> Presumption of Conformity with Technical Regulations	Iss. 5 (54)	pp. 202–208
<i>PASHININ, V. A., KOVALENKO, M. A.</i> Block-Modular Wastewaters Treatment Plant	Iss. 2 (51)	pp. 168–179
<i>POLYAKOV, V. Yu.</i> Safety on a Bridge at High Speeds	Iss. 6 (55)	pp. 182–188
<i>VESTYAK, V. A.</i> Fire Extinguishing from a Helicopter in the Cities	Iss. 6 (55)	pp. 154–159
<i>ZHURAVLEVA, M. A., ZUBREV, N. I., KOKIN, S. M.</i> Contamination Of Roadside Areas With Heavy Metals	Iss. 6 (55)	pp. 174–181

HISTORY'S WHEEL

<i>BELOGUROVA, T. A.</i> Way, which the War Interrupted	Iss. 5 (54)	pp. 254–264
<i>BOLOTIN, M. M., ANDRIYANOV, S. S.</i> Methodology of the Study of Transport Machinery History	Iss. 4 (53)	pp. 160–169
<i>GONCHAR, V. V.</i> Transport Dentistry: a Hundred Years Ago	Iss. 4 (53)	pp. 170–181
<i>GRIGORIEV, N. D.</i> Russian Bast in Television Line	Iss. 1 (50)	pp. 186–191
<i>GRIGORIEV, N. D.</i> Saved Bell-Ringing	Iss. 2 (51)	pp. 244–256
<i>GRIGORIEV, N. D.</i> Multiplication of Driving Forces	Iss. 3 (52)	pp. 238–245
<i>GRIGORIEV, N. D.</i> Bright Beam in front of a Locomotive (two parts)	Iss. 5 (54) Iss. 6 (55)	pp. 236–245 pp. 224–237
<i>LIEVIN, B. A., INKOV, Yu. M., OVCHAROV, I. V.</i> On the History of Thermovision Monitoring of Ground Environment	Iss. 3 (52)	pp. 230–237
<i>MACHERET, D. A.</i> Transport Factor in the Era of Ancient Civilizations	Iss. 2 (51)	pp. 230–241
<i>MIKHAILOV, V. V.</i> Television Sets on Railways	Iss. 1 (50)	pp. 194–198
<i>PINSKAYA, N. P., STOLBOVA, I. D.</i> Three Images of One Railway Station	Iss. 3 (52)	pp. 246–251
<i>RAPPOPORT, A. V.</i> Tourism on Jet Thrust	Iss. 5 (54)	pp. 246–253
<i>SIROTENKO, I. V., GOGRICHIANI, G. V.</i> Working Life of Diesel Engines: a Retrospective Analysis (part 1)	Iss. 6 (55)	pp. 212–221
<i>TARASOVA, V. N., EFIMOVA, G. N.</i> Passenger Car Passed its Way Smoothly	Iss. 6 (55)	pp. 238–244

BIBLIO-DIRECTIONS

The Planning Optimizes the Future (book review).	Iss. 1 (50)	pp. 200–202
<i>GORELIK, V. Yu.</i> How to Protect Transport Cyberspace	Iss. 2 (51)	pp. 258–261





RAKHIMYANOVA, I. A.

The Tools are changing, while Fundamentals are Unchangeable

Iss. 4 (53) pp. 186–190

USMANOV, B. F.

Open Meaning of Hidden Needs

Iss. 3 (52) pp. 256–260

VLADIMIROV, Yu. V.

Music of Rocket Launches

Iss. 5 (54) pp. 266–269

NIKOLAEV, A. A.

Tariffs and storm reefs

Iss. 6 (55) pp. 246–249

ARCHIVE PUBLICATIONS (NEWS FROM... THE ARCHIVES)

Mr.Lodian's Stories

Iss. 1 (50) pp. 192–193

115th Anniversary of Moscow Tram

Iss. 2 (51) pp. 242–243

Surplus Tarification at Russian Railways

Iss. 3 (52) pp. 252–254

Hochstetter, Ferdinand von Railway Issue of Central Asia and Minor Asia

Iss. 4 (53) pp. 182–184

Results of the congress on coal crisis and second Ekaterinian railway.

Iss. 6 (55) pp. 230–231

EXPRESS INFORMATION

New publications of OSJD Bulletin

Iss. 2 (51) p. 19

Iss. 4 (53) p.123

Iss. 5 (54) p.161

Iss. 6 (55) p.152

ANTONENKO, I.

«Atomflot» extends information management system

Iss. 2 (51) p. 81

Double-deck trains for Aeroexpress

Iss. 2 (51) p.19

Rapid trams with GLONASS systems

Iss. 2 (51) p. 60

ULYANOVA, O.

Kuehne + Nagel: outlook for LCL operations

Iss. 2 (51) p. 120

Not only the speeds grow...

Iss. 2 (51) p. 157

Most populous metro in the world

Iss. 5 (54) p.161

MITROFANOV, A.

Augur decorated with Golden Chariot

Iss. 6 (55) p.55, 57

The Golden Chariot international transport Award

Iss. 6 (55) p.56, 57

KUZNETSOVA, E.

Work-Rest Schedule of Drivers

Iss. 6 (55) p.200

TIKHONOVA, Yu.

Start of operation of the world's first 100% catenary-free tramway line

Iss. 6 (55) p. 46

ULYANOVA, O.

Kuehne + Nagel introduces Global Seafreight Carbon Calculator

Iss. 6 (55) p.107

Outlook of the Project of a Railway Ring around the Caspian Sea

Iss. 6 (55) p. 133

DUMBROVSKY, E.

Railway Term

Iss. 6 (55) p.210

Mir Transporta (World of Transport and Transportation) Journal is among

the winners of Russian competition of scientific journals

Iss. 6 (55) p. 268

SELECTED ABSTRACTS OF D. SC. AND PH.D. THESES

Iss. 1 (50) pp. 202–204

Iss. 2 (51) p. 262

Iss. 3 (52) pp. 260–262

Iss. 4 (53) pp. 191–192

Iss. 5 (54) pp. 270–271

Iss. 6 (55) pp.250–251

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Iss.1 (50) p.204

Iss.2 (51) pp.263–264

Iss.3 (52) pp.262–264

Iss.4 (53) pp.193–196

Iss.5 (54) pp.271–272

Iss.6 (55) pp.252–254

SECOND FORUM OF TRANSPORT EDUCATION (INSIDE FRONT COVER)



On the 4th of December 2014 the second Forum of transport education took place within the framework of traditional Transport Week. The Forum was attended by assistant to the President of Russian Federation Igor Levitin, minister of transport Maxim Sokolov, deputy ministers of transport Sergey Aristov and Alexey Tsydenov, deputy minister of science and education Alexander Klimov, member of expert board of the Government of Russian Federation Sergey Gradirovsky, professor of Skolkovo management school Andrey Volkov, director general of Nanotechnology center Technopark Denis Kovalevich, rector of Northern (Arctic) federal university Elena Kudriashova, vice-president of Alstom Transport for Russia and CIS Jan Harder, president of association of transport universities – rector of MIIT University Boris Lievin, numerous representatives of transport public administrations, business, educational and training organizations.

In his welcome speech the minister of transport Maxim Sokolov emphasized that only countries, capable to develop breakthrough technology and technology-based own powerful industries, are becoming leaders of global development. Minister underlined that corporate-academic partnership is a key to the success of innovative development of transport industry and education.

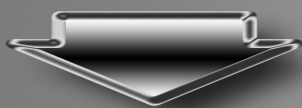
Sergey Aristov noted growing importance of human capital as of fundamental factor determining successful implementation of Transport strategy 2030. He underlined that this role provides for anticipatory development of research and technological fields, human capacity of the transportation sector, as well as of enhancement of transport system of education, training and advanced learning of transport employees, and attracted attention of the audience to the importance of new academic specialties, of transport and logistics courses, of training of new researchers and lecturers capable to move technology to a new level.

The speakers focused on integration of efforts of educational organizations, research and development centers, technoparks. Boris Lievin outlined key tasks of transport education while arguing in favor of its great capacity and further quality enhancement.

All the participants praised excellent cooperation between Ministry of Transport and Ministry of education in the sphere of training that will continue to be an instrument of further development of transport education, transport sector, and economics.

Press service of the Russian Ministry of Transport http://www.mintrans.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=24467
and own information.
Photo Alexey Troshkin





«Мир транспорта» в числе победителей российского конкурса

Журнал вошел в число победителей открытого конкурса по государственной поддержке программ развития и продвижению российских научных журналов в международное научно-информационное пространство.

Организатором конкурса является Некоммерческое партнёрство «Национальный электронно-информационный консорциум» (НП «НЭИКОН») совместно с министерством образования и науки Российской Федерации.

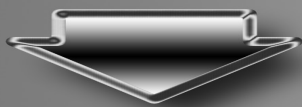
Российский экспертный совет по отбору и продвижению журналов в международные информационные системы в ноябре 2014 года подвел итоги конкурса среди ведущих российских научных журналов. Из числа прошедших экспертизу 536 заявок, 245 получили положительную оценку, 80 рассматривались в числе приоритетных. В итоге было определено 30 журналов, получивших государственную

поддержку. В соответствии с рубрикацией классификатора FOS/OECD эти издания распределились по следующим тематическим областям: точные и естественные науки — 9, технические науки — 7, медицина и здравоохранение — 5, сельское хозяйство — 2, социальные и гуманитарные науки — 7.

Журнал «Мир транспорта» включен в число победителей конкурса в области технических наук наряду с изданиями «Теплоэнергетика» (Thermal Engineering), «Автоматика и телемеханика» (Automation and Remote Control), «Гироскопия и навигация», «Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем (АПА-АС)» (Actual problems of aviation and aerospace systems), «Письма о материалах», «Известия вузов. Приборостроение».

Программы развития журналов должны быть реализованы в 2014–2016 годах.

Редакция



EXPRESS INFORMATION

Mir Transporta (World of Transport and Transportation) Journal is among the winners of Russian competition of scientific journals

Our journal has recently been included into the list of winners of the open competition for public support of the programs of development and promotion of the leading Russian scientific journals into international scientific area.

The competition was co-organized by Russian ministry of science and education and non-profit partnership National electronic and information consortium (NPP Neicon). Russian panel of experts published the results in November, 2014. 536 applications were considered, 245 received positive assessment, and priority was given to 80 applications. Finally 30 journals merited public support. According to OECD field of science and technology (FOS) classification the journals' dis-

tribution was as follows: 9 journals in natural sciences, 7 in engineering and technology, 5 in medical and health sciences, 2 in agricultural sciences, and 7 in social sciences and humanities. Mir Transporta (World of Transport and Transportation) Journal was merited in the field of engineering and technology along with the following titles: Thermal Engineering, Automation and Remote Control, Gyroscopie and navigation, Actual Problems of aviation and aerospace systems, Letters on materials, Proceedings of higher education institutions: Instrument engineering. The programs of development of journals should be implemented in 2014–2016.

Editorial board