# ТРАНСПОРТА МИР

•ТЕОРИЯ •ИСТОРИЯ
•КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

3 2017 (70)



**Учрежден Московским государственным университетом путей сообщения (МИИТ) в 2003 году**

**Редакционный совет:**

**Б. А. Лёвин** – доктор технических наук, профессор МИИТ – председатель совета
**Б. В. Гусев** – член-корреспондент РАН – заместитель председателя совета
**И. С. Беседин** – кандидат технических наук
**Г. В. Бубнова** – доктор экономических наук, профессор МИИТ
**А. К. Головнич** – доктор технических наук, доцент Белорусского государственного университета транспорта
**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. Куанышев** – доктор технических наук, профессор Казахской академии транспорта и коммуникаций
**Б. М. Лапидус** – доктор экономических наук, профессор
**В. П. Мальцев** – доктор технических наук, профессор МИИТ
**Д. А. Мачерет** – доктор экономических наук, профессор МИИТ, первый заместитель председателя Объединенного ученого совета ОАО «РЖД»
**Л. Б. Миротин** – доктор технических наук, профессор Московского автодорожного 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


*Наталья ГАВРИЛЕНКО*
Особенности циклического развития автомобилестроения . . . . 6

*Анатолий ГУСЕВ*
Абсолютный первый центральный момент случайных величин . . 16

*Юрий КРАКОВСКИЙ, Батбаатар ДАВААДОРЖ*
Нечёткий численный вероятностный анализ надёжности рельсовых скреплений . . . . . 30

*Дмитрий МАЧЕРЕТ*
Социальное значение скорости транспортного сообщения . . . 40

*Леонид МИРОТИН, Вера БАГИНОВА, Лев ФЕДОРОВ*
Эволюционные закономерности логистики . . . . . 56


### НАУКА И ТЕХНИКА


*Андрей СМИРНОВ, Сергей ЕГОШИН*
Hyperloop: технические риски и перспективы . . . . . 64

*Николай ГРИГОРЕНКО, Евгений ЯНЧУК*
Диагностика состояния автодороги с помощью беспилотного летательного аппарата . . . . . 86

*Артур ДМИТРЕНКО, Максим ГАЙТРОВ*
Модернизация тепловой системы железнодорожных станций . . . 94

*Пётр НОВОСЕЛЬЦЕВ, Анна ГОРДЕЕВА, Юрий КУПЦОВ*
Эксперимент с проскальзыванием колёсных пар локомотива . . . . . 104


### ЭКОНОМИКА


*Сергей НЕСТЕРОВ, Иван ВОРОБЬЁВ, Рим КОНДРАТЕНКО*
Вакуумный поезд: поиск ниши на рынке перевозок пассажиров . . . . . 112

*Алексей ТАРАСОВ*
Финансирование компаний синдицированными кредитами. . . . 122

*Павел ЦЫПИН, Алексей РАЗУВАЕВ*
Выгоды безбалластной конструкции пути для крупных транспортных объектов . . . . . 132

*Ким САМАРОВ, Юрий СТРЕНАЛЮК*
Анализ технико-экономических показателей источников собственной генерации энергии на железных дорогах . . . . . 142

РЕДКОЛЛЕГИЯ

**Б. А. ЛЁВИН** –
главный редактор

**Е. Ю. ЗАРЕЧКИН** –
заместитель
главного редактора

**Л. А. БАРАНОВ**
**В. Н. КОТУРАНОВ**

Над номером
работали:
**А. К. ШЕЛИХОВА** –
руководитель редакции
**И. А. ГЛАЗОВ** –
технический 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.**

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

Отпечатано с оригинал-макета:
ИП Мочалов С. В.
162614, Вологодская область,
г. Череповец,
ул. Сергея Перца, 3.
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.miit.ru.

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

При перепечатке ссылка
на журнал «Мир транспорта»
обязательна.
© «Мир транспорта», 2017

## ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*Пётр ДЫДЫШКО, Эмма КУЗАХМЕТОВА*
Проектирование высокоскоростных совмещённых автомобильных и железных дорог . . . . . 152

*Олег ПОКУСАЕВ, Максим ОВСЯННИКОВ, Артём ШАКЛЕИН*
Оценка удовлетворённости пассажиров услугами общественного транспорта . . . . . 160

*Сергей ВАКУЛЕНКО, Алексей КОЛИН, Надежда ЕВРЕЕНОВА*
Малодеятельные линии: состояние и варианты оптимизации . . . . . 174

## БЕЗОПАСНОСТЬ

*Софья НАЙМАН, Владимир МЕДВЕДЕВ, Наиль МИНГАЛЕЕВ*
Автодорожная сеть и проблема отходов . . . . . 182

*Николай КРАСИКОВ*
Технология бережливого производства и минимизация потерь от аварий . . . . . 188

*Никита МАНУИЛОВ*
Влияние человеческого фактора на надёжность тормозного оборудования поезда . . . . . 196

*Любовь ЖУРАВЛЁВА, Александр БОГАЧЕВ, Никита ЯЦКИВСКИЙ*
Снижение аварийных рисков с помощью систем интеллектуального видеонаблюдения . . . . . 206

## ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

*Сергей МАЗУР*
К вопросу о качестве подготовки и аттестации научных кадров, аспирантов и магистрантов . . . . . 214

*Алексей МАЛИШЕВСКИЙ*
Интертипные отношения в экипаже . . . . . 222

*Корнелия ФРАЙТАГ*
Интернационализация обучения и преподавания: инновационные направления . . . . . 234

## КОЛЕСО ИСТОРИИ

*Николай ГРИГОРЬЕВ*
«Упрощённо тчк Замечательно тчк Чувствительна тчк» . . . . . 240

Пресс-архив . . . . . 247

## КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

*Евгений СОТНИКОВ*
В дождик, жару и стужу график движения нужен . . . . . 252

Авторефераты диссертаций . . . . . 257

Новые книги о транспорте . . . . . 259

Экспресс-информация . . . . . 53, 83, 93, 103, 139, 147, 187, 205, 221

World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 15 2017 Iss. 3

**Founded in 2003 by Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)**

**Editorial council:**

**Boris A. Lyovin**, D.Sc. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering, chairman

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

**Galina V. Bubnova**, D.Sc. (Econ), professor of Moscow State University of Railway Engineering

**Ivan S. Besedin**, Ph.D. (Eng)

**Alexander C. Golovnich,** D.Sc. (Eng), associate professor of Belarusian State Transport University

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

**Leonid A. Karpov**, Ph.D. (Eng), 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. (Eng), professor of Siberian State University of Railway Engineering

**Bakytzhan M. Kuanyshev,** D.Sc. (Eng), professor of Kazakh Academy of Transport and Communications

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

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

**Dmitry A. Macheret**, D.Sc. (Econ), professor of Moscow State University of Railway Engineering, first deputy chairman of the United scientific council of JSC Russian Railways

**Leonid B. Mirotin**, D.Sc. (Eng), 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. (Eng), professor of the University of Transport and Commmunications (Hanoi, Vietnam).

## THEORY

*Natalia G. GAVRILENKO*
Features of Cyclical Development of Automotive Industry . . . . . 6

*Anatoly I. GUSEV*
The Absolute First Central Moment of Random Variables . . . . . 16

*Yuri M. KRAKOVSKY, Batbaatar DAVAADORZH*
Fuzzy Numerical Probability Analysis of Rail Fastenings Reliability . . . . . 30

*Dmitry A. MACHERET*
Social Significance of Transportation Speed. . . . . 40

*Leonid B. MIROTIN, Vera V. BAGINOVA, Lev S. FEDOROV*
Evolutionary Patterns of Logistics . . . . . 56

## SCIENCE AND ENGINEERING

*Nikolai I. GRIGORENKO, Evgeny E. YANCHUK*
Diagnostics of the Road Condition Using an Unmanned Aerial Vehicle . . . . . 86

*Andrey V. SMIRNOV, Sergey F. EGOSHIN*
Hyperloop: Technical Risks and Prospects . . . . . 64

*Artur V. DMITRENKO, Maxim Yu. GAITROV*
Modernization of Heat Supply System of Railway Stations. . . . . 94

*Petr V. NOVOSELTSEV, Anna A. GORDEEVA, Yuri A. KUPTSOV*
Experiment with Sliding of Locomotive Wheel Sets. . . . . 104

## ECONOMICS

*Sergey B. NESTEROV, Ivan A. VOROBIEV, Rim O. KONDRATENKO*
Vacuu m Train: Finding a Niche in the Passenger Transportation Market . . . . . 112

*Aleksey A. TARASOV*
Financing of Companies with Syndicated Loans . . . . . 122

*Pavel E. TSYPIN, Aleksey D. RAZUVAEV*
Advantages of Ballastless Track Design for Large Transport Objects . . . . . 132

*Kim L. SAMAROV, Yuri V. STRENALYUK*
Analysis of Technical and Economic Indicators of Sources of Own Generation of Energy on Railways. . . . . 142

**Editorial board**
**Boris A. Lyovin**, editor-in-chief
**Evgeny Yu. Zarechkin**, deputy editor-in-chief
**Leonid A. Baranov**
**Vladimir N. Koturanov**

**Editorial staff**
**Alla K. Shelikhova,** head of editorial office
**Ivan A. Glazov,** technical editor
**Natalia C. Oleynik**, editorial secretary
**Maria V. Maslova**, translator

Published quarterly since 2003.
Bimonthly since 2013.
70 issues have been published since 2003.

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 media page of the Web site of MIIT University at http://miit.ru/ portal/page/ portal/en/about/media/world_of_transport.

The open accessed full texts of the articles 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
© World of Transport and Transportation
© English translation
© 2017. 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 World of Transport and Transportation.

## ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

*Petr I. DYDYSHKO, Emma K. KUZAKHMETOVA*
Design of High-Speed Combined Motor Roads and Railways . . . . 152

*Oleg N. POKUSAEV, Maxim L. OVSYANNIKOV, Artem G. SHAKLEIN*
Evaluation of Passenger Satisfaction with Public Transport Services. . . . . 160

*Sergey P. VAKULENKO, Alexey V. KOLIN, Nadezhda Yu. EVREENOVA*
Low-Density Lines: State and Optimization Options . . . . . 174

## SAFETY AND SECURITY

*Sofia M. NAIMAN, Vladimir B. MEDVEDEV, Nail Z. MINGALEEV*
Road Network and Waste Problem . . . . . 182

*Nickolay Y. KRASIKOV*
Lean Manufacturing Technology and Minimization of Losses from Accidents . . . . . 188

*Nikita I. MANUILOV*
Human Factor Influence on Train Brake Equipment Reliability . . 196

*Lyubov M. ZHURAVLEVA, Alexander P. BOGACHEV, Nikita V. YATSKIVSKY*
Reduction of Emergency Risks with the Help of Intelligent Video Surveillance Systems . . . . . 206

## HRM, EDUCATION & TRAINING

*Sergey F. MAZUR*
On the Issue of Training and Certification of Scientific Personnel, Ph.D. Students and Master's Students . . . 214

*Alexey V. MALISHEVSKY*
Intertype Relationship within the Crew . . . . . 222

*Kornelia FREITAG*
Internationalization of Study and Teaching: Innovative Trends . . . 234

## HISTORY WHEEL

*Nikolai D. GRIGORIEV*
«Simplifiedly Stop Remarkably Stop Sensitive Stop». . . . . 240
Press Archives . . . . . 247

## BIBLIO-DIRECTIONS

*Evgeny A. SOTNIKOV*
In Rain, Heat And Cold the Traffic Schedule is Needed . . . . . 252
Abstracts of Ph.D. theses . . . . . 257
Newly Published Books on Transport and Transportation . . . . . 259
Express Information . . . . . 53, 83, 93, 103, 139, 147, 187, 205, 221

**Each article in the journal consists of a Russian text and of an English text, fully identical in contents, both accompanied by abstracts, keywords, references and information about the authors, English text been additionally edited and structured.**

# Т

## ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY


**ДЛИННЫЕ ВОЛНЫ** 6

*Эволюция автомобильного транспорта в контексте теории экономических циклов.*

**ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ** 16

*Случайные величины и их «моментальность». Версии строгих формул.*

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ** 30

*Алгоритм моделирования, треугольное распределение, математические ожидания.*

**ИЗОХРОННАЯ ДОСТУПНОСТЬ** 40

*Скорость перемещений – категория социальная.*

**МЕТОДОЛОГИЯ** 56

*Логистический подход и общественное развитие.*

**LONG WAVES** 6

*Evolution of motor road transport within the context of the theory of economic cycles.*

**DISTRIBUTION LAWS** 16

*Random values and their momentousness. Versions of strict formulae.*

**PROBABILITY ANALYSIS** 30

*Algorithm of simulation, triangle distribution, mathematical expectations.*

**ISOCHRONOUS ACCESSIBILITY** 40

*Velocity of displacement as a social category.*

**METHODOLOGY** 56

*Logistics approach and social developments.*

УДК 656.1

# Особенности циклического развития автомобилестроения

Наталья ГАВРИЛЕНКО

Natalia G. GAVRILENKO

*Гавриленко Наталья Геннадьевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления на предприятии Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии, Омск, Россия.*

**Features of Cyclical Development of Automotive Industry**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 12)*

***Транспортный комплекс страны создает условия для роста экономики, доставляет грузы и специалистов в места производства товаров и услуг, выступает мощным катализатором и служит эффективным средством решения геополитических задач. В статье содержатся теоретические основы циклического развития экономических объектов отрасли. Показана закономерная связь динамики периодических спадов и подъёма экономики и показателей жизнедеятельности автомобильного транспорта, подробно представлены полный жизненный цикл существования системы и так называемый длинный цикл продолжительностью 40–60 лет. Инновационный фактор определён при этом как ключевой в развитии автомобильного транспорта. Соответственно ему оценивается интенсивность эволюционного процесса повышательной и понижательной волн длинного цикла.***

*Ключевые слова: автомобильный транспорт, экономика, циклическое развитие, эволюция, инновации.*

Автомобильный транспорт как составляющая транспортного комплекса играет ключевую роль в повседневной жизни большей части населения, с ним человек сталкивается чаще всего. В отличие от других видов транспорта автомобили в значительном количестве находятся в собственности частных лиц и частные же лица управляют ими. Именно изменения, касающиеся автомобильного транспорта, наиболее заметны для экономики. Подчиняясь её законам, он в свою очередь переживает периоды подъёма, пика развития, рецессии и кризиса. Эта закономерность вполне обосновывается теоретически.

## ЦИКЛЫ И ПЕРИОДЫ

Представленные в динамике показатели грузооборота и пассажирооборота автомобильного транспорта РФ за последние 24 года (рис. 1, 2) [1] иллюстрируют достаточно определенную цикличность. При этом динамика грузооборота отражает экономические кризисы 1998, 2008 и 2014 годов. Пассажирооборот же показывает нисходящую волну в своем развитии, основной спад наблюдается в 2006–2007 годах. Значимой особенностью является то,

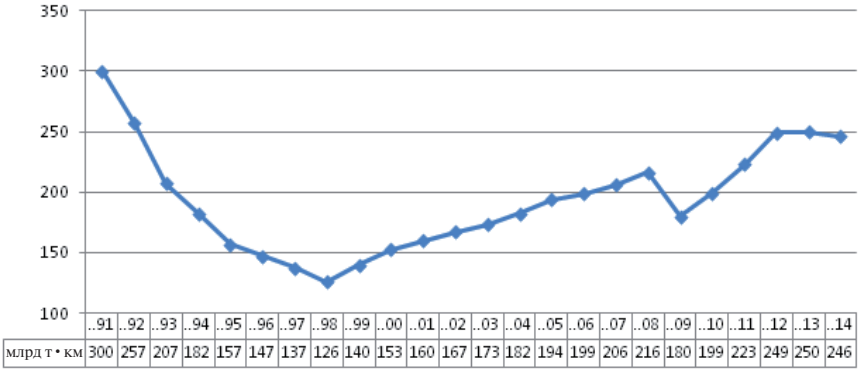



***Рис. 1. Показатель грузооборота автомобильного транспорта РФ за период 1991–2014 гг., млрд т•км.***

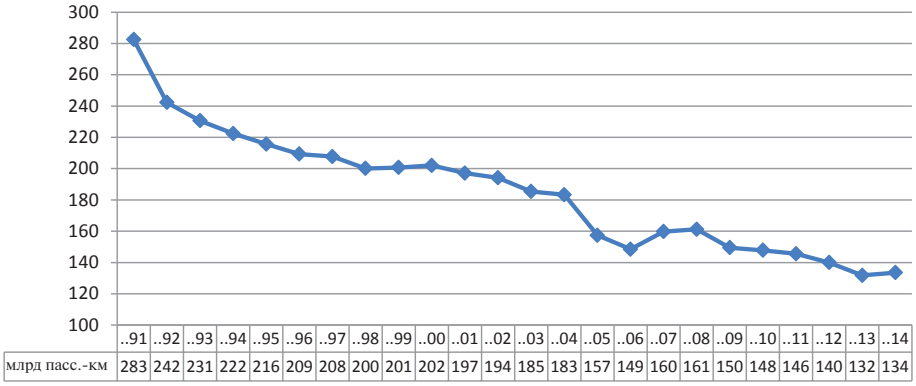



***Рис. 2. Показатель пассажирооборота автомобильного транспорта общего пользования РФ за период 1991–2014 гг., млрд пасс.-км.***

что темп прироста парка легковых автомобилей в собственности в этот период как раз наибольший (9,8 %) за последние 24 года (рис. 3). Следовательно, можно предположить, что одна из основных причин уменьшения пассажирооборота – это прирост парка личных автомобилей, отчего и вопрос о возможности смены направления волны остается открытым.

Рассмотрим фактор цикличности более подробно. Фактор повторяемости одних и тех же процессов через сравнительно равные промежутки времени присутствует практически во всех сферах нашей жизни. Цикл – это жизненный период той или иной формации от момента зарождения до момента разрушения или перерождения [2]. Каждому этапу присущи свои особенности, откуда основная цель в изучении циклов – выработка мер воздействия на процесс для получения максимального результата на том или ином этапе цикла.

В экономику понятие циклов пришло в XVIII веке. Распространение же циклические схемы получили ближе ко второй его половине, при этом изначально выде-

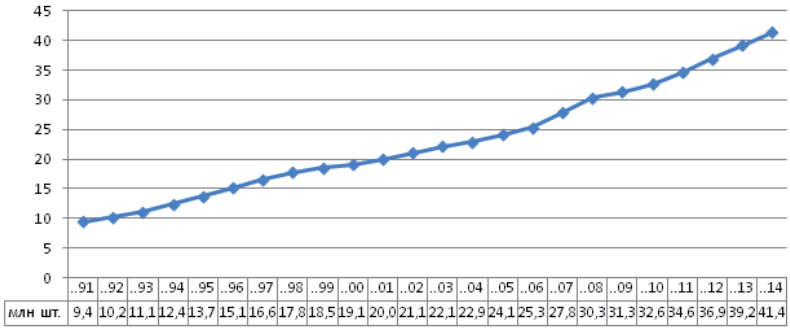



***Рис. 3. Число легковых автомобилей (на конец года) в собственности граждан, млн шт.***

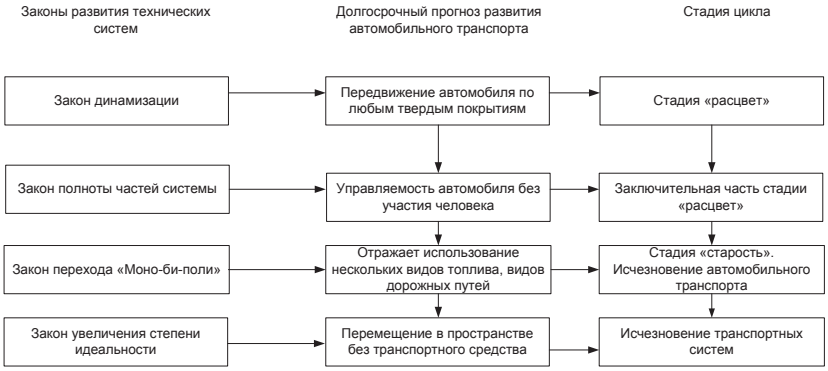



***Рис. 4. Этапы развития автомобильного транспорта.***

лялся один вид цикла – среднесрочный. Данный цикл ещё называли «промышленный» или «деловой» (К. Жюглар, К. Маркс). В начале XX века появились упоминания о различных видах циклов (Й. Шумпетер), наличии экономических колебаний продолжительностью 3,5 года (Дж. Китчин), 20 лет (С. Кузнец) и 50 лет (Н. Кондратьев). После Второй мировой войны анализировались сверхдолгосрочные циклические процессы до 300 лет, их ещё называли циклы гегемонии и генеральных войн (А. Тойнби, И. Уоллерстайн, Дж. Голдстайн и др.), «логистические циклы» (Р. Камерон), «вековые тренды» (Ф. Бродель) и т.д.

Экономические циклы интересовали умы большого числа известнейших ученых XIX и XX веков. Британский историк экономической мысли Марк Блауг в своих произведениях «100 великих экономистов до Кейнса» и «100 великих экономистов после Кейнса» сформировал список наиболее значимых для экономики имен [3, 4]. Проанализировав основные работы обозначенных Блаугом ученых, можно с высокой долей уверенности утверждать, что с середины XIX века около 35 % из них в той или иной мере посвятили свои труды проблеме циклов.

Большинство авторов в качестве факторов, вызывающих циклическое развитие экономики, называет денежно-кредитное манипулирование со стороны государства в более ранние сроки и все чаще в последнее время – научно-технический прогресс.

Интересен тот факт, что развитие теории циклов получило свое начало одновременно с появлением автомобильного транспорта. Именно в XVIII веке была изобретена англичанином Джеймсом Уаттом паровая машина (1769 г.) и французским инженером Николя Кюньо трёхколесная паровая повозка (1770 г.), а до указанного периода в 1672 году Фердинанд Вербист, член иезуитской общины в Китае, построил первый автомобиль на паровом ходу, но в качестве всего лишь игрушки для китайского императора. Факт одновременности происходящих событий можно связать как раз с состоянием экономики, поскольку при определенном уровне развития производства автотранспортных средств, интенсификации деловых и торговых процессов, требующих быстрого преодоления расстояний, она зависела от прогресса транспорта и вместе с ним была подвержена периодическим этапам спада и роста.

Схожую мысль впервые отразил в своих работах и Маркс. Он справедливо заметил, что до начала (приблизительно в конце XVIII века) промышленной революции не существовало никаких регулярно повторяющихся бумов и депрессий: «Этот своеобразный жизненный путь современной промышленности (имеющий форму десятилетнего цикла периодов среднего оживления, производства под высоким давлением, кризиса и застоя, цикла, прерываемого более мелкими колебаниями, которого мы не наблюдаем ни в одну из прежних эпох человечества) был невозможен и в период детства капиталистического производства...» [5].

## ИННОВАЦИОННО-ЦИКЛИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

Рассматривая автомобиль как техническую систему, можно предположить, что его жизненный цикл подчинен закону

S-образного развития (по Г. С. Альтшуллеру) [6]. Согласно этому закону, автомобильный транспорт должен пройти три стадии – «детство», «расцвет» и «старость», причем последний этап заканчивается видоизменением транспортного средства или вообще перерождением в иной вид.

Полный жизненный цикл автомобильного транспорта как результат научно-технического прогресса состоит из более коротких циклов. Особую значимость при изучении его особенностей имеет инновационно-циклическая теория экономического развития Шумпетера–Кондратьева. На основе этой теории, в частности, построены концепции академика С. Ю. Глазьева, который рассматривает циклические процессы, акцентируя внимание на совокупностях технологически сопряженных производств, сохраняющих целостность в процессе своего развития, в условиях так называемых технологических укладов (ТУ).

Учёный утверждает, что жизненный цикл ТУ охватывает около столетия, при этом период его доминирования в развитии экономики составляет от 40 до 60 лет (по мере ускорения НТП и сокращения длительности научно-производственных циклов он постепенно сокращается). На поверхности экономических явлений этот период проявляется в форме длинных волн экономической конъюнктуры, периодичность которых была впервые установлена Н. Д. Кондратьевым.

По мнению С. Ю. Глазьева, мы переходим к шестому технологическому укладу (циклу), особенностью которого являются системы искусственного интеллекта, глобальные информационные сети, интегрированные высокоскоростные транспортные системы, формирование непрерывного инновационного процесса и т.д. В качестве ключевых факторов шестого технологического уклада (2010–2050 гг.) автор называет нанотехнологии и клеточные технологии, в качестве преимуществ – резкое снижение энерго- и материалоёмкости производства, конструирование материалов и организмов с заранее заданными свойствами [7].

Снижение энергоёмкости касаемо автомобильного транспорта вероятнее всего приведет к смене источника энергии. При этом необходимо отметить, что преимуществами пятого технологического уклада (1970–2010) были признаны индивидуализация производства и потребления. А значит, есть основания предположить, что индивидуализация потребления как раз и привела к падению пассажирооборота на рынке автомобильных перевозок в условиях роста числа автомобилей личного пользования.

Исходя из сложившихся тенденций, инновационная составляющая играет первоочередную роль в развитии транспорта, и, следовательно, формирование системы автомобильного транспорта как инновационной позволит ей наиболее эффективно прогрессировать в границах циклически развивающегося экономического пространства.

## ПОВЫШАЮЩИЕ И ПОНИЖАЮЩИЕ ВОЛНЫ

Характеризуя понятие инновационной системы, С. Меткалф определяет инновационную систему как совокупность различных институтов, которые совместно и каждый в отдельности вносят свой вклад в создание и распространение новых технологий, образуя основу, служащую правительствам для формирования и реализации политики, влияющей на инновационный процесс. Как таковая, эта система предназначена для того, чтобы создавать, хранить и передавать знания, навыки и артефакты, определяющие новые технологии [8].

К. Фримен видит инновационную систему сложной системой экономических субъектов и общественных институтов (таких, как ценности, нормы, право), участвующих в создании новых знаний, их хранении, распространении, превращении в новые технологии, продукты и услуги, потребляемые обществом [9].

Н. И. Иванова под инновационной системой понимает совокупность взаимосвязанных организаций (структур), занятых производством и коммерческой реализацией научных знаний и технологий в пределах национальных границ – мелкие и крупные компании, университеты, гослаборатории, технопарки и инкубаторы [10].

Суть инновационной системы – совокупность институтов и организаций, осу-

**Таблица 1**

**Эволюция автомобильного транспорта [12]**

| Ориентировочные периоды | Особенности развития автомобильного транспорта | Соизмеримость интенсивности развития и направления волны длинного цикла |
|---|---|---|
| Повышательная волна 1770–1810 гг. | Появление (1769) и начало работ по совершенствованию автомобиля (в Англии, Франции, России, США созданы трёхколесные паровые повозки, в США паровая землечерпалка-амфибия и колесный пароход). | Интенсивность конструкторских разработок скорее невысокая при достаточно высоком показателе внедрения в производство. |
| Понижательная волна 1810–1840 гг. | Проводятся исследования по разработке ДВС (Франция, Швейцария), вводятся в жизнь паровые омнибусы (Англия). 1834 год – создание электромобиля. | Интенсивность конструкторских разработок достаточно высокая, показатель внедрения – ниже среднего. |
| Повышательная волна 1840–1870 гг. | 1860 год – создан двухтактный двигатель внутреннего сгорания (Бельгия), через три года налажено его массовое производство, появился четырёхтактный двигатель (Франция). | Интенсивность конструкторских разработок скорее невысокая при достаточно высоком показателе внедрения в производство. |
| Понижательная волна 1870–1885 гг. | Поиск возможности использования бензина, изобретены динамометр, трёхколесный электрический автомобиль, работающий от аккумулятора (Англия). | Интенсивность разработок достаточно высокая, внедрение в производство – невысокое. |
| Повышательная волна 1885–1914 | В Германии и Франции налажено первое производство автомобилей, к 1900 году можно говорить о национальной автомобильной промышленности в десяти странах трёх континентов. Появились пневматические шины, запатентованы дисковый тормоз и электрический стартер, в 1885 году создан карбюраторный двигатель. | Интенсивность конструирования высокая, уровень внедрения – высокий. |
| Понижательная волна 1914–1930 гг. | Изобретены автоматическая трансмиссия, гидравлический тормоз, усилитель руля, большинство из технологий механики, используемых и сегодня. | |
| Повышательная волна 1930–1950 гг. | К 1930 году количество производителей автомобилей резко сократилось в результате консолидации и взросления автомобильной промышленности, отчасти благодаря влиянию Великой депрессии. | |
| Понижательная волна 1950–1970 гг. | Изобретен принцип движения на воздушной подушке. Повышалась мощность двигателя, росла скорость транспорта. | |
| Повышательная волна 1970–1990 гг. | Началось интенсивное развитие автопроизводств в новых странах, прежде всего азиатского региона. Повысилось внимание к безопасности автомобиля. | |
| Понижательная волна 1990–2010 гг. | Тенденции к улучшению экологических и экономических показателей ДВС, созданию гибридных систем, улучшению ходовых качеств, «интеллектуализации» автомобиля. | |

ществляющих превращение научных знаний в новые виды конкурентоспособной продукции и услуг в целях обеспечения социально-экономического роста, утверждает А. Ф. Суховей и И. М. Голова [11].

По ассоциации с этими определениями можно заключить, что инновационная автотранспортная система – это совокупность институтов, поддерживающих процесс создания и распространения новых знаний и технологий, связанных с оказанием автотранспортных услуг.

Правомерно вместе с тем выдвинуть и гипотезу, что и сам процесс возникновения инноваций подчинен законам длинных циклов. Развитие автомобильного транспорта с момента зарождения проходит как бы своеобразными толчками, предположительно усиливаясь на этапах длинного цикла периодичностью 40–60 лет и замедляясь на этапах спада. Достигнув точки бифуркации, дальнейшее развитие продолжается лавинообразно и независимо от фазы длинного цикла. Соответствие интенсивности эволюционного процесса повышательной и понижательной волн длинного цикла иллюстрирует таблица 1.

На основании представленной таблицы эволюционную активность можно разделить на три стадии.

*Первая стадия* – изобретение автомобиля и основных его частей (1770–1930 гг.),

период технологических открытий. На этапе понижательной волны интенсивность конструкторских разработок достаточно велика при невысоких показателях внедрения в производство, на этапе повышательной волны наблюдается обратная тенденция.

*Вторая стадия* – интенсивное внедрение автомобиля в жизнь (1930–1970 гг.), можно говорить о национальной автомобильной промышленности во многих странах и возникновении перевозочного процесса как такового. Больше автомобилей стало продаваться не энтузиастам, а обычному потребителю. 1930 год можно обозначить как точку бифуркации, изменение направления длинной волны вниз не коснулось автомобильного транспорта. Внешние факторы, сдерживающие развитие экономики, включая мировые войны, не явились сдерживающими для автомобилестроения, развитие продолжалось лавинообразно даже в период Великой депрессии.

*Третья стадия* – широкое распространение автомобилестроения (1970–2010 гг.), а с ним и рост показателей грузооборота и пассажирооборота практически во всех странах. Назревает потребность в новых видах транспорта.

## ВЫВОДЫ

Итак, есть все основания заключить, что автомобильный транспорт, существуя в экономическом пространстве и выполняя в нем связующую функцию, подвержен, как и весь экономический организм, воздействию циклических изменений.

Можно выделить полный цикл развития автомобильного транспорта от момента его появления до момента исчезновения или перерождения в новый вид, откуда особое значение приобретают процессы модернизации подвижного состава. Имеют место быть и промежуточные этапы кризиса и роста, связанные с падением и подъёмом экономики государства, а в связи с этим и с увеличением или уменьшением потребности в перевозках.

Интенсивность процесса возникновения инноваций также вероятнее всего зависит от направления волны длинного цикла. Понимание прохождения таких процессов позволяет выстраивать более точные прогнозы для стратегии развития системы автомобильного транспорта, а вместе с тем и выбирать более эффективные направления её реализации.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Российский статистический ежегодник. [Электронный ресурс]: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078. Доступ 20.05.16.
2. Гавриленко Н. Г. Стратегические приоритеты развития транспортного комплекса России и механизмы их реализации: Монография.– Омск: Изд-во СибАДИ, 2012.– 239 с.
3. Блауг М. 100 великих экономистов до Кейнса: Пер. с англ.– СПб.: Экономическая школа, 2005.– 352 с.
4. Блауг М. 100 великих экономистов после Кейнса: Пер с англ.– СПб.: Экономическая школа, 2005.– 352 с.
5. Маркс К., Энгельс Ф. Полн. собр. соч.– 2-е изд.– Т. 24.– М.: Гос. изд-во полит. литературы, 1961.– С. 65.
6. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука.– М.: Советское радио, 1979.– 174 с.
7. Глазьев С. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса. [Электронный ресурс]: http://www.glazev.ru/upload/iblock/e1a/e1a2d6989eece928b95efe9a49c22a05.pdf. Доступ 20.05.2016.
8. Metcalfe, S. The Economic Foundation of Technology Policy: Ecvilibrium and Evolutionary Perspective // Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change/ P. Stoneman (ed.).– L.: Blackwell, 1995.– P. 409–511.
9. Freeman, C. The National System of Innovation in Historical Perspective // Cambridge Journal of Economics.–1995.– V. 19.–№ 1.– Pp. 5–24.
10. Иванова Н. И. Формирование и эволюция национальных инновационных систем / Дис... док. экон. наук.– М., 2001.– 328 с.
11. Суховей А. Ф., Голова И. М. Проблемы активизации инновационной деятельности в контексте формирования региональных инновационных систем // Экономика региона.– 2007.– № 3.– С. 111–121.
12. Гавриленко Н. Г. Инновационные изменения на автомобильном транспорте в контексте циклического развития экономической системы // Вестник СибАДИ.– 2014.– № 1. – С. 134–135.
13. Гавриленко Н. Г. Формирование модели диагностики транспортного комплекса // Вестник СибАДИ.– 2012.– № 3.– С. 101.
14. Маркс К., Энгельс Ф. Полн. собр. соч.– 2-е изд.– Т. 23.– М.: Гос. изд-во полит. литературы, 1961.– С. 647–648.
15. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008. Доступ 02.03.2015.


Координаты автора: **Гавриленко Н. Г.** – gng@pirsoilgas.ru.

Статья поступила в редакцию 27.05.2016, актуализирована 20.01.2017, принята к публикации 25.01.2017.

# FEATURES OF CYCLICAL DEVELOPMENT OF AUTOMOTIVE INDUSTRY

***Gavrilenko, Natalia G.,*** *Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia.*

## ABSTRACT

The transport complex of the country creates conditions for economic growth, delivers cargo and employees to the places of production of goods and services, acts as a powerful catalyst and serves as an effective means for solving geopolitical tasks. The article contains the theoretical foundations of cyclical development of the economic objects of the industry. The regular connection between the dynamics of periodic recessions and the rise of the economy and indicators of vital activity of motor transport is shown, the complete life cycle of the system's existence and the so-called long cycle with duration of 40–60 years are presented in detail. The innovation factor is determined at the same time as a key factor in development of road transport. Accordingly, the intensity of the evolutionary process of upward and downward waves of the long cycle is estimated.

*Keywords: road transport, economy, cyclic development, evolution, innovations.*

**Background.** *Road transport as a component of the transport complex plays a key role in the everyday life of a large part of the population, the person most often meets with it. Unlike other modes of transport, cars in a significant amount are owned by private individuals and private individuals manage them. It is the changes concerning road transport that are most noticeable for the economy. Obeying its laws, it in its turn is experiencing periods of recovery, peaks of development, recession and crisis. This pattern is fully justified theoretically.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider cyclical development of automotive industry, essentially at the example of its developments in Russia.*

**Methods.** *The author uses general scientific and engineering methods, comparative analysis, economic assessment.*

**Results.**

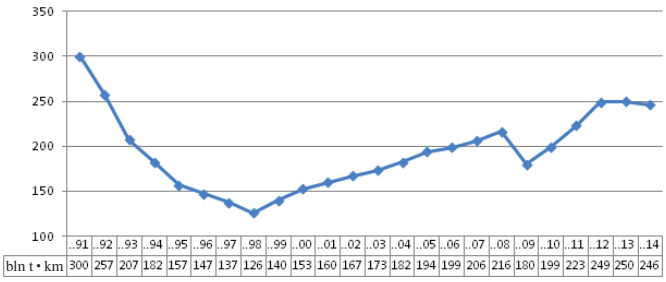
**Cycles and periods**

*Dynamic indicators of freight turnover and passenger turnover of road transport in Russia during the last 24 years (Pic. 1, 2) [1] illustrate a rather definite cyclicality. At the same time, the dynamics of freight turnover reflects the economic crises of 1998, 2008 and 2014. Passenger turnover also shows a downward wave in its development, the main decline is observed in 2006–2007. A significant feature is that the rate of growth in the fleet of cars in ownership during this period is the largest (9,8 %) in the last 24 years (Pic. 3). Therefore, it can be assumed that one of the main reasons for decrease in passenger turnover is the increase in fleet of private cars, and therefore the question of possibility of changing the direction of the wave remains open.*

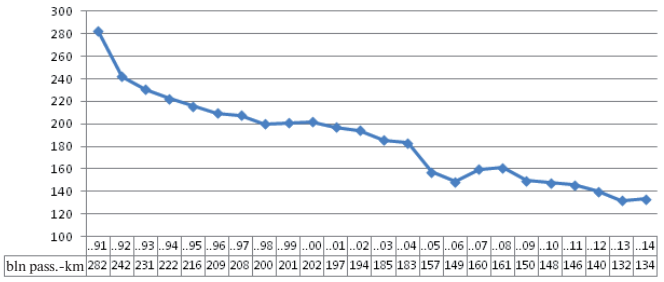
*Let's consider the cyclicity factor in more detail. The factor of recurrence of the same processes through relatively equal intervals of time is present practically in all spheres of our life. A cycle is a life span of a particular formation from the moment of initiation to the moment of destruction or degeneration [2]. Each stage has its own peculiarities, from which the main goal in the study of cycles is development of measures of influence on the process for obtaining the maximum result at this or that stage of the cycle.*

*In the economy, the concept of cycles emerged in 18th century. The cyclic schemes became more widespread closer to its second half, while initially one type of cycle was identified – the medium-term one. This cycle was also called «industrial» or «business» (C. Juglar, K. Marx). At the beginning of 20th century, various types of cycles were mentioned (J. Schumpeter), the existence of economic fluctuations lasting 3,5 years (J. Kitchin), 20 years (S. Kuznets) and 50 years (N. Kondratiev). After the Second World War, ultra-long-term cyclic processes were analyzed for up to 300 years, they were also called cycles of hegemony and general wars (A. Toynbee, I. Wallerstein, J. Goldstein, etc.), «logistics cycles» (R. Cameron), «age-old trends» (F. Braudel), and so on.*

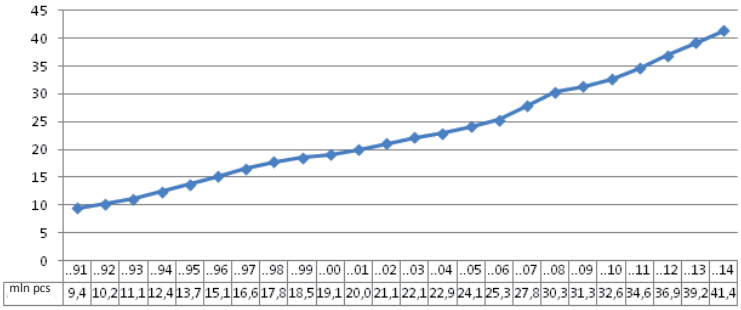
*Economic cycles interested the minds of a large number of famous scientists of XIX and XX centuries. The British historian of economic thought Mark Blaug in his works «Great economists before Keynes...» and «Great economists since Keynes...» formed a list of the*



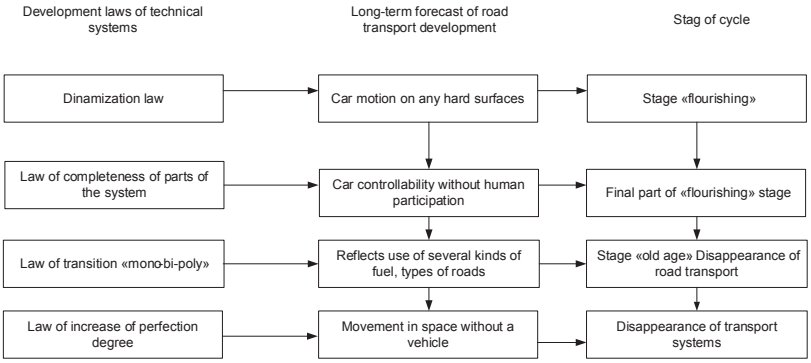

***Pic. 1. Indicator of freight turnover of road transport of the Russian Federation for the period 1991–2014, billion t•km.***




***Pic. 2. Indicator of passenger turnover of road transport of general use of the Russian Federation for the period 1991–2014, billion pass.-km.***




***Pic. 3. Number of passenger cars (at the end of the year) owned by citizens in Russia, mln pieces.***




***Pic. 4. Stages of development of road transport.***

*most significant names for the economy [3, 4]. Analyzing the main work of scientists designated by Blaug, one can state with a high degree of certainty that from the middle of 19th century about 35 % of them devoted to some extent their work to the problem of cycles.*

*Most authors, as factors that cause cyclical development of the economy, mention monetary manipulation on the part of the state at an earlier time and, increasingly, recently, scientific and technological progress.*

*An interesting fact is that development of the theory of cycles finds its origin simultaneously with the advent of road transport. It was in 18th century that a steam engine (1769) was invented by an Englishman James Watt and a three-wheeled steam wagon by the French engineer Nicolas Cunho (1770), and until that time in 1672, Ferdinand Verbiest, a member of the Jesuit community in China, manufactured the first steam engine car, but as a mere toy for the Chinese emperor. The fact of simultaneity of the events can be linked precisely to the state of the economy, because at a certain level of development of the production of vehicles, intensification of business and trade processes that required rapid overcoming of distances, it depended on the progress of transport and along with it was subjected to periodic stages of decline and growth.*

*A similar idea was first reflected in the works by Marx. He rightly remarked that before the beginning of the industrial revolution (around the end of 18th century) there were no regularly recurring booms and depressions: «This peculiar life path of modern industry (in the form of a ten-year cycle of periods of medium revitalization, high pressure production, crisis and stagnation, cycle interrupted by smaller fluctuations, which we do not observe in any of the earlier epochs of mankind) was impossible even in the period of childhood of capitalist production» [5].*

**Innovative-cyclical development**

*Considering a car as a technical system, we can assume that its life cycle is subject to the law of S-shaped development (according to G. S. Altshuller) [6]. According to this law, road transport must go through three stages – «childhood», «flourishing» and «old age», with the last stage ending with modification of the vehicle or in general degeneration into another kind.*

*The full life cycle of road transport as a result of scientific and technological progress (STP) consists of shorter cycles. Of particular importance in the study of its features is the innovation-cyclical theory of economic development of Shumpeter–Kondratiev. On the basis of this theory, in particular, the concepts of academician S. Yu. Glazyev are built. He considers cyclic processes, focusing on the aggregates of technologically coupled industries that preserve integrity in the process of their development, under the conditions of so-called technological modes (TM).*

*The scientist claims that the life cycle of the TM covers about a century, while the period of its dominance in development of the economy ranges from 40 to 60 years (as STP accelerates its advancement, and the duration of scientific and production cycles decreases, the mentioned period gradually decreases). On the surface of economic phenomena, this period manifests itself in the form of long waves of economic conjuncture, the periodicity of which was first established by N. D. Kondratyev.*

*According to S. Yu. Glazyev, we are moving to the sixth technological mode (cycle), the features of which comprise artificial intelligence systems, global information networks, integrated high-speed transport systems, formation of a continuous innovation process, etc. As the key factors of the sixth technological mode (2010–2050), the author identifies nanotechnologies and cellular technologies, as advantages – a sharp decrease in the energy and material consumption of production, the design of materials and organisms with pre-determined properties [7].*

*Reducing energy intensity with regard to road transport is likely to lead to a change in the source of energy. It should be noted that the advantages of the fifth technological mode (1970–2010) were recognized*

Table 1

**Road transport evolution [12]**

| Reference periods | Features of road transport development | Commensurability of development intensity and direction of the long cycle wave |
|---|---|---|
| Upward wave 1770–1810 | Appearance (1769) and beginning of work on improving the car (in England, France, Russia, the United States three-wheeled steam wagons were created, in the United States a steam dredger-amphibian and a wheel steamer appeared). | Intensity of design development is rather low, implementation rate is high. |
| Downward wave 1810–1840 | Research is being carried out on development of ICE (France, Switzerland), steam omnibuses (England) are being introduced. 1834 – creation of an electric car | Intensity of design development is rather high, implementation rate is below average. |
| Upward wave 1840–1870 | In 1860, a two-stroke internal combustion engine was created (Belgium), three years later its mass production was set up, and a four-cycle engine appeared (France). | Intensity of design development is rather low, implementation rate is quite high. |
| Downward wave 1870–1885 | Search for possibility of using gasoline, a dynamometer, a three-wheeled electric car, powered by a battery (England) were invented. | Intensity of design development is quite high, implementation rate is low. |
| Upward wave 1885–1914 | In Germany and France, the first production of cars was set up, by 1900 it was possible to talk about the national automobile industry in ten countries on three continents. There were pneumatic tires, patented disc brake and electric starter, in 1885 a carburetor engine was created. | Intensity of design development is high, implementation rate is high. |
| Downward wave 1914–1930 | Automatic transmission, hydraulic brake, power steering, most of the mechanics technologies used today, were invented. | |
| Upward wave 1930–1950 | By 1930, the number of car manufacturers had fallen dramatically as a result of consolidation and growth of the automotive industry, in part due to the impact of the Great Depression. | |
| Downward wave 1950–1970 | The principle of motion on an air cushion was invented. The power of the engine increased, the speed of transport increased. | |
| Upward wave 1970–1990 | The intensive development of automotive production began in new countries, primarily in the Asian region. Attention to the safety of the car increased. | |
| Downward wave 1990–2010 | Tendencies to improvement of the environmental and economic performance of ICE, creation of hybrid systems, improvement of driving performance, «intellectualization» of the car develop. | |

*as individualization of production and consumption. So, there is reason to assume that individualization of consumption just led to a drop in passenger turnover in the market of road transportation in the face of an increase in the number of cars for personal use.*

*Based on the prevailing trends, the innovative component plays a primary role in development of transport, and consequently, formation of road transport system as innovative will allow it to achieve most effectively progress within the boundaries of a cyclically developing economic space.*

**Upward and downward waves**

*Describing the concept of an innovation system, S. Metcalfe defines the innovation system as a set of different institutions that jointly and individually contribute to creation and expansion of new technologies, forming the basis that serves governments to formulate and implement policies that affect the innovation process. As such, this system is designed to create, store and transmit knowledge, skills and artifacts that determine new technologies [8].*

*C. Freeman sees the innovation system as a complex system of economic actors and public institutions (such as values, norms, law) involved in creating new knowledge, storing, disseminating, transforming into new technologies, products and services consumed by society [9].*

*According to N. I. Ivanova the innovation system is understood as a set of interrelated organizations (structures) engaged in production and commercialization of scientific knowledge and technologies within national borders – small and large companies, universities, state laboratories, technology parks and incubators [10].*

*The essence of the innovation system is a set of institutions and organizations that are transforming scientific knowledge into new types of competitive products and services in order to ensure socio-economic growth as stated by A. F. Sukhovei and I. M. Golova [11].*

*By association with these definitions it can be concluded that an innovative transport system is a set of institutions supporting the process of creating and disseminating new knowledge and technologies related to the provision of road transport services.*

*It is legitimate, however, to put forward a hypothesis that the very process of emergence of*

*innovations is subject to the laws of long cycles. The development of road transport from the moment of origin passes like a kind of jerks, presumably increasing at the stages of a long cycle with a periodicity of 40–60 years and slowing down during the recession stages. Having reached the point of bifurcation, further development continues avalanche-like and regardless of the phase of the long cycle. The correspondence of intensity of the evolutionary process of upward and downward waves of the long cycle is illustrated in Table 1.*

*Based on the presented table, evolutionary activity can be divided into three stages.*

*The first stage is invention of the car and its main parts (1770–1930), the period of technological discoveries. At the stage of the downward wave, the intensity of the design developments is quite high at low rates of implementation, at the stage of the upward wave there is a reverse trend.*

*The second stage is intensive introduction of the car into life (1930–1970), we can talk about the national automobile industry in many countries and emergence of transportation process as such. More cars were sold not to enthusiasts, but to the ordinary consumer. 1930 can be designated as a bifurcation point, a change in the direction of the long wave downward did not affect road transport. External factors restraining the development of the economy, including world wars, were not a deterrent to the automotive industry, development continued to be avalanche, even during the Great Depression.*

*The third stage is widespread use of automotive industry (1970–2010), and it is followed by the growth in turnover and passenger turnover in almost all countries. There is a growing need for new modes of transport.*

**Conclusions.** *So, there is every reason to conclude that road transport, existing in the economic space and carrying out a binding function in it, is subject, like the entire economic organism, to the effects of cyclical changes.*

*It is possible to single out a full cycle of development of motor transport from the moment of its appearance to the moment of disappearance or degeneration into a new species, from which the processes of modernization of vehicles acquire special significance. There are also intermediate stages of crisis and growth associated with fall and rise of the national economy, and in connection with this, with the increase or decrease in the demand for transportation.*

*The intensity of the process of origin of innovations is also most likely dependent on the direction of the wave of the long cycle. Understanding the passage of such processes allows to build more accurate forecasts for the strategy for development of the road transport system, and at the same time to choose more effective directions for its implementation.*

## REFERENCES


1. Russian Statistical Yearbook [*Rossijskij statisticheskij ezhegodnik*]. [Electronic resource]: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078. Last accessed 20.05.16.

2. Gavrilenko, N. G. Strategic priorities of development of the Russian transport complex and mechanisms for their implementation: Monograph [*Strategicheskie prioritety razvitija transportnogo kompleksa Rossii i mehanizmy ih realizacii: monografija*]. Omsk, Publishing house of SibADI, 2012, 239 p.

3. Blaug, M. Great economists before Keynes: an introduction to the lives & works of one hundred great economists of the past [*Title of Russian edition: 100 velikih ekonomistov do Kejnsa: Transl. from English*]. St. Petersburg, Ekonomicheskaja shkola publ., 2005, 352 p.

4. Blaug, M. Great Economists Since Keynes: An Introduction to the Lives and Works of One Hundred Modern Economists [*Title of Russian edition: 100 velikih ekonomistov posle Kejnsa: Transl. from English*]. St. Petersburg, Ekonomicheskaja shkola publ., 2005, 352 p.

5. Marx, K., Engels, F. Complete set of works [Poln. sobr. soch.]. 2nd ed. Vol. 24. Moscow, State Publishing House of Political literature, 1961, p. 65.

6. Altshuller, G. S. Creativity as an exact science [*Tvorchestvo kak tochnaja nauka*].Moscow, Sovetskoe radio publ., 1979, 174 p.

7. Glazyev, S. Strategy of advanced development of Russia in the conditions of global crisis [*Strategija operezhajushhego razvitija Rossii v uslovijah global'nogo krizisa*]. [Electronic resource]: http://www.glazev.ru/upload/iblock/e1a/e1a2d6989eece928b95efe9a49c22a05.pdf. Last accessed on 20.05.2016.

8. Metcalfe, S. The Economic Foundation of Technology Policy: Ecvilibrium and Evolutionary Perspective // Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change / P. Stoneman (ed.).– London, Blackwell, 1995, pp. 409–511.

9. Freeman, C. The National System of Innovation in Historical Perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 1995, Vol. 19, Iss. 1, pp. 5–24.

10. Ivanova, N. I. Formation and evolution of national innovation systems [*Formirovanie i evoljucija nacional'nyh innovacionnyh system*]. Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2001, 328 p.

11. Sukhovey, A. F., Golova, I. M. Problems of activation of innovative activity in the context of formation of regional innovation systems [*Problemy aktivizacii innovacionnoj dejatel'nosti v kontekste formirovanija regional'nyh innovacionnyh system*]. *Ekonomika regiona*, 2007, Iss. 3, pp. 111–121.

12. Gavrilenko, N. G. Innovative changes in road transport in the context of cyclical development of the economic system [*Innovacionnye izmenenija na avtomobil'nom transporte v kontekste ciklicheskogo razvitija ekonomicheskoj sistemy*]. *Vestnik SibADI*, 2014, Iss. 1, pp. 134–135.

13. Gavrilenko, N. G. Formation of a diagnostic model for the transport complex [*Formirovanie modeli diagnostiki transportnogo kompleksa*]. *Vestnik SibADI*, 2012, Iss. 3, p. 101.

14. Marx, K., Engels, F. Complete set of works [*Poln. sobr. soch.*]. 2nd ed. Vol. 23. Moscow, State Publishing House of Political Literature, 1961, pp. 647–648.

15. Transport strategy of the Russian Federation for the period until 2030 [*Transportnaja strategija Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda*]. [Electronic resource]: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php? ELEMENT_ID=13008. Last accessed 02.03.2015.



Information about the author:
**Gavrilenko, Natalia G.** – Ph.D. (Economics), associate professor at the Department of Economics and Enterprise Management of Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia, gng@pirsoilgas.ru.



Article received 27.05.2016, revised 20.01.2017, accepted 25.01.2017.

УДК 519.21

# Абсолютный первый центральный момент случайных величин

Анатолий ГУСЕВ

Anatoly I. GUSEV

*Гусев Анатолий Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**The Absolute First Central Moment of Random Variables**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 24)*

***В статье рассмотрены геометрический, пуассоновский и биномиальный законы распределения. Для каждого из них выводится аналитическая формула абсолютных первых центральных моментов, что позволяет найти среднюю зону распределения. Работа носит фундаментальный характер и может быть использована в исследованиях по теории вероятностей, в прикладных задачах, где присутствуют указанные законы распределения.***

*Ключевые слова: случайная величина, законы распределения, математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, моменты случайных величин.*

Пусть взята некоторая случайная величина X (неважно какая, непрерывная или дискретная), например, зарплата рабочего. Математическое ожидание MX (берём только величины с конечным значением MX) характеризует среднее значение случайной величины. При оценке отклонения случайной величины от среднего значения в обширной литературе по теории вероятностей [см., в част., 1–3] рассматривают дисперсию случайной величины $Д(X) = M(X-MX)^2$, затем вводят понятие среднеквадратичного отклонения $\sigma(X) = \sqrt{Д(X)}$ и говорят, что σ(X) и есть отклонение случайной величины от математического ожидания. Что именно характеризует полученное отклонение, не очень понятно, попробуем разобраться.

## ТРИ ЗОНЫ ЗНАЧЕНИЯ

Пусть заработная плата имеет закон распределения, показанный в таблице 1.

Средняя заработанная плата

$$MX = 10\bullet\frac{1}{5} + 30\bullet\frac{1}{5} + 90\bullet\frac{1}{5} +$$

$$+150\bullet\frac{1}{5} + 170\bullet\frac{1}{5} = 90.$$

***Рис. 1. Зоны значений произвольной случайной величины.***

**Таблица 1**

| X (тысяч руб.) | 10 | 30 | 90 | 150 | 170 |
|---|---|---|---|---|---|
| P | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |

**Таблица 2**

| X(тысяч руб.) | 10 | 22 | 34 |
|---|---|---|---|
| P | 4/6 | 1/6 | 1/6 |

**Таблица 3**

| X (тысяч руб.) | 12 | 24 | 36 |
|---|---|---|---|
| P | 1/6 | 1/6 | 4/6 |

**Таблица 4**

| X | 1 | 2 | 3 | … | n | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | p | pq | $pq^2$ | ... | $pq^{n-1}$ | ... |

Дисперсия

$$Д(X) = 80^2 \bullet \frac{1}{5} + 60^2 \bullet \frac{1}{5} + 60^2 \bullet \frac{1}{5} + 80^2 \bullet \frac{1}{5} = 4000,$$

а $\sigma(X) = \sqrt{3560} = 63{,}25$.

Теперь вычислим истинное среднее отклонение случайной величины от математического ожидания, т.е. найдем абсолютный первый центральный момент для X (обозначать его будем Δ(X)):

$$\Delta(X) = M|X - MX| =$$

$$= 80 \bullet \frac{1}{5} + 60 \bullet \frac{1}{5} + 60 \bullet \frac{1}{5} + 80 \bullet \frac{1}{5} = 56.$$

Как видно,расхождение между σ(X) и Δ(X) большое – 7,25 (тыс. руб.). Возьмем случайные величины, у которых Δ(X) – конечное число (если Δ(X) = 0, тогда случайная величина X – константа), при этом σ(X) может равняться ∞ (например, X принимает значения $\pm\frac{2^n}{n^{1.5}}$ с вероятностью $\frac{1}{2^{n+1}}$, $n = 1; 2;...; ...n$).

Рассмотрим для произвольной случайной величины три зоны её значений (рис. 1).

Низшая зона H: x < MX–Δ(X).

Средняя зона C: [MX–Δ(X); MX+Δ(X)].

Высшая зона B: x > MX+Δ(X).

Соответственно имеем зону низких заработков при уровне меньше 34, зону среднего заработка с 34 до 146 и зону высших заработков при уровне выше 146. Заработок в размере 30 попадает в низшую зону, однако если ориентироваться по среднеквадратичному отклонению σ(X), то заработок попадает в среднюю зону. Возможно, что случайная величина принимает только два значения MX–Δ(X) и MX+Δ(X), тогда легко допустить, что вероятности принятия этих значений = 1/2.

В то же время, когда случайная величина принимает более двух значений, внутренность средней зоны всегда не пуста. Зона H может быть пуста, тогда зона B не пуста (и это означает, что в наличии только средние и высшие заработки, то есть, хорошие, которые благоприятны для общества). И здесь MX = 16; Δ(X) = 8. Пример такого распределения дает таблица 2.

Если, наоборот, зона B – пуста, тогда зона H – не пуста (это означает, что есть только средние и низкие заработки, и речь уже о плохом состоянии общества). В таблице 3 представлен пример такого распределения, где MX = 30; Δ(X) = 8.

Из общей теории следует, что и для дискретных, и для непрерывных случайных величин σ(X) ≥ Δ(X), однако для распро-

**Таблица 5**

| $\left\lvert X-\frac{1}{p}\right\rvert$ | $\frac{1}{p}-1$ | $2-\frac{1}{p}$ | $3-\frac{1}{p}$ | … | $n-\frac{1}{p}$ | … |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | p | pq | $pq^2$ | … | $pq^{n-1}$ | … |

**Таблица 6**

| $\left\lvert X-\frac{1}{p}\right\rvert$ | $\frac{1}{p}-1$ | $\frac{1}{p}-2$ | ... | $\frac{1}{p}-n$ | $\frac{1}{p}-(n+1)$ | $(n+2)-\frac{1}{p}$ | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | p | pq | ... | $pq^{n-1}$ | $pq^n$ | $pq^{n+1}$ | ... |

**Таблица 7**

**Значения σ(X), Δ(X) и σ(X) – Δ(X) для геометрического закона распределения**

| p | б | | Δ | | б-Δ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | | 0 | | 0 |
| 0,9 | 0,351364 | | 0,2 | | 0,151364 |
| 0,8 | 0,559017 | | 0,4 | | 0,159017 |
| 0,7 | 0,782461 | | 0,6 | | 0,182461 |
| 0,6 | 1,054093 | | 0,8 | | 0,254093 |
| 0,5 | 1,414214 | | 1 | | 0,414214 |
| 1/3 | 2,44949 | | 1,777778 | | 0,671712 |
| 1/4 | 3,464102 | | 2,53125 | | 0,932852 |
| 1/5 | 4,472136 | | 3,2768 | | 1,195336 |
| 1/6 | 5,477226 | | 4,018776 | | 1,45845 |
| 1/7 | 6,480741 | | 4,758833 | | 1,721907 |
| 1/8 | 7,483315 | | 5,497743 | | 1,985572 |
| 1/9 | 8,485281 | | 6,235909 | | 2,249372 |
| 1/10 | 9,486833 | | 6,973569 | | 2,513264 |
| 1/20 | 19,49359 | | 14,33944 | | 5,154152 |
| 1/30 | 29,49576 | | 21,69969 | | 7,796072 |
| 1/40 | 39,49684 | | 29,0586 | | 10,43824 |
| 1/50 | 49,49747 | | 36,41697 | | 13,08051 |
| 1/60 | 59,4979 | | 43,77508 | | 15,72282 |
| 1/70 | 69,4982 | | 51,13304 | | 18,36516 |
| 1/80 | 79,49843 | | 58,4909 | | 21,00752 |
| 1/90 | 89,4986 | | 65,84871 | | 23,6499 |
| 1/100 | 99,49874 | | 73,20647 | | 26,29228 |

**Таблица 8**

| X | 0 | 1 | 2 | ... | n | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $e^{-\lambda}$ | $\lambda e^{-\lambda}$ | $\frac{\lambda^2 e^{-\lambda}}{2!}$ | ... | $\frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$ | ... |

**Таблица 9**

| $\lvert X-\lambda\rvert$ | $\lambda$ | $1-\lambda$ | $2-\lambda$ | ... | $n-\lambda$ | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $e^{-\lambda}$ | $\lambda e^{-\lambda}$ | $\frac{\lambda^2 e^{-\lambda}}{2!}$ | ... | $\frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$ | ... |

**Таблица 10**

| $\lvert X-\lambda\rvert$ | $\lambda$ | $\lambda-1$ | ... | $\lambda-n$ | $\lambda-(n+1)$ | $(n+2)-\lambda$ | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $e^{-\lambda}$ | $\lambda e^{-\lambda}$ | | $\frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$ | $\frac{\lambda^{n+1} e^{-\lambda}}{(n+1)!}$ | $\frac{\lambda^{n+2} e^{-\lambda}}{(n+2)!}$ | ... |

страненных случайных величин желательно знать зависимость их в виде σ(X) = KΔ(X) (т.е. явное значение коэффициента K). Биномиальный, пуассоновский и геометрический законы распределения широко используются в различных областях, поэтому целесообразно найти для них абсолютный первый центральный момент Δ(X).

## ВАРИАНТ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЗАКОНА

Геометрический закон распределения (таблица 4) имеет числовые характеристики: $MX=\frac{1}{p}$; $Д(X)=\frac{q}{p^2}$; $\sigma(X)=\frac{\sqrt{q}}{p}$.

Теорема 1. Пусть $n\le\frac{1}{p}<n+1$, тогда $\Delta(X) = 2nq^n$, n = 1; 2;... Доказательство проведем по индукции по n. При $1\le\frac{1}{p}<2$ имеем вариант таблицы 5.

$\frac{1}{p}-1$ представим в виде

$$\frac{1}{p}-1=1-\frac{1}{p}+2\left(\frac{1}{p}-1\right),\text{ тогда}$$

$$M\left|X-\frac{1}{p}\right|=\frac{1}{p}-\frac{1}{p}+2\left(\frac{1}{p}-1\right)p=2-2p=2q$$

удовлетворяет доказываемой формуле.

Пусть при $n\le\frac{1}{p}<n+1$ имеем $\Delta(X) = 2nq^n$ (см. таблицу 6), докажем, что при $n+1\le\frac{1}{p}<n+2\Delta(X)=2(n+1)q^{n+1}$.

$\frac{1}{p}-(n+1)$ представим в виде

$$(n+1)-\frac{1}{p}+2\left(\frac{1}{p}-(n+1)\right),\text{ тогда}$$

$$M\left|X-\frac{1}{p}\right|=2nq^n+2\left(\frac{1}{p}-(n+1)\right)pq^n=$$
$$=2nq^n+2q^n-2(n+1)pq^n=$$
$$=2(n+1)q^n-2(n+1)pq^n=$$
$$=2(n+1)q^n(1-p)=2(n+1)q^{n+1},$$

что и требовалось доказать.

Замечание. Легко проверить, что в теореме можно заменить $n\le\frac{1}{p}<n+1$ на $n\le\frac{1}{p}\le n+1$, т. е. Δ(X) – непрерывная функция от p.

Для сравнения σ(X) и Δ(X) в варианте геометрического закона распределения составлена таблица 7.

## ВАРИАНТ ДЛЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА

Рассмотрим закон распределения Пуассона (таблица 8).

Случайная величина, распределенная по закону Пуассона, имеет числовые характеристики: MX = λ; Д(X) = λ; $\sigma(X)=\sqrt{\lambda}$.

Теорема 2. Пусть n ≤ λ < n + 1, тогда $\Delta(X)=\frac{2\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{n!}$, n = 0; 1; 2;.... Доказательство проведем по индукции по n. При 0 ≤ λ < 1 имеем вариант таблицы 9.

λ представим в виде λ = (0–λ)+2λ, тогда $M|X-\lambda| = \lambda-\lambda+2\lambda e^{-\lambda} = 2\lambda e^{-\lambda} = \lambda-\lambda+2\lambda e^{-\lambda}$ – что удовлетворяет доказываемой формуле.

Пусть при n ≤ λ < n +1 имеем

$$\Delta(X)=\frac{2\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{n!}$$

**Таблица 11**

**Значения σ(X), Δ(X) и σ(X) −Δ(X) для закона распределения Пуассона**

| λ | | б | | Δ | | б-Δ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 1 | | 0,735759 | | 0,264241 |
| 2 | | 1,414214 | | 1,082682 | | 0,331531 |
| 3 | | 1,732051 | | 1,344251 | | 0,3878 |
| 4 | | 2 | | 1,562935 | | 0,437065 |
| 5 | | 2,236068 | | 1,754674 | | 0,481394 |
| 6 | | 2,44949 | | 1,927478 | | 0,522012 |
| 7 | | 2,645751 | | 2,086039 | | 0,559712 |
| 8 | | 2,828427 | | 2,233385 | | 0,595043 |
| 9 | | 3 | | 2,371602 | | 0,628398 |
| 10 | | 3,162278 | | 2,502201 | | 0,660077 |
| 20 | | 4,472136 | | 3,553413 | | 0,918723 |
| 30 | | 5,477226 | | 4,358072 | | 1,119154 |
| 40 | | 6,324555 | | 5,035763 | | 1,288792 |
| 50 | | 7,071068 | | 5,632501 | | 1,438567 |
| 60 | | 7,745967 | | 6,171809 | | 1,574157 |
| 70 | | 8,3666 | | 6,667639 | | 1,698961 |
| 80 | | 8,944272 | | 7,129067 | | 1,815205 |
| 90 | | 9,486833 | | 7,562392 | | 1,924441 |
| 100 | | 10 | | 7,972199 | | 2,027801 |

**Таблица 12**

| X | 0 | 1 | ... | k | ... | n |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $q^n$ | $npq^{n-1}$ | ... | $C_n^k p^k q^{n-k}$ | ... | $p^n$ |

**Таблица 13**

| $\lvert X-np\rvert$ | np | 1-np | ... | k-np | ... | n-np |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $q^n$ | $npq^{n-1}$ | ... | $C_n^k p^k q^{n-k}$ | ... | $p^n$ |

**Таблица 14**

| $\lvert X-np\rvert$ | np | np-1 | ... | np-k | k+1-np | ... | n-np |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $q^n$ | $npq^{n-1}$ | ... | $C_n^k p^k q^{n-k}$ | $C_n^{k+1} p^{k+1} q^{n-k-1}$ | ... | $p^n$ |

Таблица 15

**Значения σ(X), Δ(X) и σ(X) – Δ(X) для биномиального закона распределения при n = 100**

| p | б | Δ | б-Δ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,01 | 0,994987 | 0,732064683 | 0,262923 |
| 0,02 | 1,4 | 1,071782533 | 0,328217 |
| 0,03 | 1,705872 | 1,323899422 | 0,381973 |
| 0,04 | 1,959592 | 1,531303658 | 0,428288 |
| 0,05 | 2,179449 | 1,710169359 | 0,46928 |
| 0,06 | 2,374868 | 1,868659559 | 0,506209 |
| 0,07 | 2,55147 | 2,011576901 | 0,539893 |
| 0,08 | 2,712932 | 2,142031945 | 0,5709 |
| 0,09 | 2,861818 | 2,262177211 | 0,59964 |
| 0,1 | 3 | 2,373576243 | 0,626424 |
| 0.2 | 4 | 3.177606874 | 0.822393 |
| 0,3 | 4,582576 | 3,64492232 | 0,937653 |
| 0,4 | 4,898979 | 3,89851896 | 1,000461 |
| 0,5 | 5 | 3,979461869 | 1,020538 |
| 0,6 | 4,898979 | 3,89851896 | 1,000461 |
| 0,7 | 4,582576 | 3,64492232 | 0,937653 |
| 0,8 | 4 | 3,177606874 | 0,822393 |
| 0,9 | 3 | 2,373576243 | 0,626424 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |

(см. таблицу 10), докажем, что при $n+1 \le \lambda < n+2\Delta(X) = \frac{2\lambda^{n+2}e^{-\lambda}}{(n+1)!}$.

λ–(n+1) представим в виде (n+1)–λ+2(λ–(n+1)), тогда

$$M|X-\lambda| = \frac{2\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{n!} + 2\left(\lambda - (n+1)\right) \cdot$$

$$\cdot \frac{\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{(n+1)!} = \frac{2\lambda^{n+2}e^{-\lambda}}{(n+1)!},$$

что и требовалось доказать.

Замечание. Легко проверить, что в теореме можно заменить $n \le \lambda < n+1$ на $n \le \lambda \le n+1$, т.е. Δ(X) – непрерывная функция от λ.

Для сравнения σ(X) и Δ(X) в варианте распределения Пуассона составлена таблица 11.

## ВАРИАНТ ДЛЯ БИНОМИАЛЬНОГО ЗАКОНА

Рассмотрим биномиальный закон распределения (таблица 12).

Случайная величина, распределённая по биномиальный закону, имеет числовые характеристики: MX = np; Д(X) = npq; $\sigma(X) = \sqrt{npq}$.

Теорема 3. Пусть $k-1 \le np \le k$, k = 1; 2; ...n, тогда $\Delta(X) = 2kC_n^k p^k q^{n-k+1}$. Доказательство проведем по индукции по k. При k = 1, т.е. $0 \le np \le 1$, имеем вариант таблицы 13.

Здесь np представим в виде 0–np+2np, тогда $M|X-np| = np-np + 2npq^n = 2npq^n$ – что удовлетворяет доказываемой формуле.

Пусть при $k-1 \le np \le k$ имеем $\Delta(X) = 2kC_n^k p^k q^{n-k+1}$ (см. таблицу 14).

Таблица 16

**Значения σ(X), Δ(X) и σ(X) – Δ(X) для биномиального закона распределения при n = 1000**

| p | б | Δ | б-Δ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,001 | 0,9995 | 0,735391 | 0,264109 |
| 0,002 | 1,412799 | 1,081599 | 0,3312 |
| 0,003 | 1,729451 | 1,342233 | 0,387218 |
| 0,004 | 1,995996 | 1,559805 | 0,436191 |
| 0,005 | 2,230471 | 1,750281 | 0,48019 |
| 0,006 | 2,44213 | 1,921686 | 0,520445 |
| 0,007 | 2,636475 | 2,078724 | 0,557751 |
| 0,008 | 2,817091 | 2,224432 | 0,592659 |
| 0,009 | 2,986469 | 2,360903 | 0,625566 |
| 0,01 | 3,146427 | 2,489656 | 0,65677 |
| 0,05 | 6,892024 | 5,489858 | 1,402166 |
| 0,1 | 9,486833 | 7,563022 | 1,923811 |
| 0,15 | 11,29159 | 9,004249 | 2,287341 |
| 0,2 | 12,64911 | 10,08812 | 2,560995 |
| 0,25 | 13,69306 | 10,92154 | 2,771524 |
| 0,3 | 14,49138 | 11,55882 | 2,932555 |
| 0,35 | 15,0831 | 12,03117 | 3,051933 |
| 0,4 | 15,49193 | 12,35751 | 3,13442 |
| 0,45 | 15,73213 | 12,54925 | 3,182887 |
| 0,5 | 15,81139 | 12,61251 | 3,198879 |

Докажем, что при $k \le np \le k+1$

$$\Delta(X) = 2(k+1)C_n^{k+1}p^{k+1}q^{n-k}.$$

np–k представим в виде np–k = k–np+2(np–k), тогда имеем

$$M\left|X-np\right| = 2kC_n^k p^k q^{n-k+1} +$$

$$2(np-k)C_n^k p^k q^{n-k} =$$

$$= 2npC_n^k p^k q^{n-k} + 2kC_n^k p^k q^{n-k}(q-1)) =$$

$$= 2nC_n^k p^{k+1} q^{n-k} - 2kC_n^k p^{k+1} q^{n-k} =$$

$$= 2(n-k)C_n^k p^{k+1} q^{n-k} =$$

$$= 2(k+1)\frac{C_n^k(n-k)}{(k+1)}p^{k+1}q^{n-k} =$$

$$= 2(k+1)C_n^{k+1}p^{k+1}q^{n-k},$$

что и требовалось доказать.

Для сравнения σ(X) и Δ(X) в варианте биномиального закона распределения составлены две таблицы: при n = 100 и при n = 1000.

Ввиду симметрии ясно, что при симметричных значениях p результаты будут одинаковы, например при p = 0,6 и p = 0,4 (см. таблицу 15). Поэтому таблица 16 составлена до p = 0,5.

## ВАРИАНТ ДЛЯ КЛАССИЧЕСКИХ НЕПРЕРЫВНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

В этом разделе находятся абсолютные первые центральные моменты для равномерного, показательного и нормального законов распределения.

### *Равномерный закон распределения*

Случайная величина X, равномерно распределенная на отрезке [*a, b*], имеет плотность p(x), равную $\frac{1}{в-a}$, на отрезке [*a, b*], вне – 0. При этом

$$MX = \frac{a+в}{2},\ D(X) = \frac{(в-a)^2}{12},\ \sigma(X) = \frac{в-a}{2\sqrt{3}}.$$

Вычислим Δ(X) (результат, конечно, очевиден и равен $\frac{в-a}{4}$):

$$\Delta(X)=\int_{a}^{\frac{a+в}{2}}\left(\frac{a+в}{2}-x\right)\frac{1}{в-a}dx+$$

$$+\int_{\frac{a+в}{2}}^{в}\left(x-\frac{a+в}{2}\right)\frac{1}{в-a}dx=$$

$$=\frac{1}{в-a}\left(\frac{a+в}{2}x-\frac{x^2}{2}\right)\Bigg|_{a}^{\frac{a+в}{2}}+$$

$$+\frac{1}{в-a}\left(\frac{x^2}{2}-\frac{a+в}{2}x\right)\Bigg|_{\frac{a+в}{2}}^{в}=$$

$$=\frac{1}{в-a}\left(\begin{array}{l}\frac{(a+в)^2}{4}-\frac{(a+в)^2}{8}-\\ -\frac{a+в}{2}a+\frac{a^2}{2}\end{array}\right)-$$

$$-\frac{1}{в-a}\left(\begin{array}{l}\frac{в^2}{2}-\frac{a+в}{2}в-\\ -\frac{(a+в)^2}{8}+\frac{(a+в)^2}{4}\end{array}\right)=$$

$$=\frac{1}{в-a}\left(\frac{(a+в)^2}{4}-aв\right)=\frac{в-a}{4}\approx$$

$\approx 0{,}866\ \sigma(X)$.

***Показательный закон распределения***

Случайная величина X, распределенная по показательному закону, имеет плотность p(x), равную $\lambda e^{-\lambda x}$, при $x \geq 0$ и нулевую плотность при $x<0$.

$$MX=\frac{1}{\lambda};\ D(X)=\frac{1}{\lambda^2};\ \sigma(X)=\frac{1}{\lambda}.$$

Вычислим Δ(X) (результат здесь, конечно, не очевиден):

$$\Delta(X)=\int_{0}^{\frac{1}{\lambda}}\left(\frac{1}{\lambda}-x\right)e^{-\lambda x}\,dx+\int_{\frac{1}{\lambda}}^{\infty}\left(x-\frac{1}{\lambda}\right)e^{-\lambda x}\,dx=$$

$$=\int_{0}^{\frac{1}{\lambda}}e^{-\lambda x}dx-\int_{0}^{\frac{1}{\lambda}}x\lambda e^{-\lambda x}dx+\int_{\frac{1}{\lambda}}^{\infty}x\lambda e^{-\lambda x}dx-\int_{\frac{1}{\lambda}}^{\infty}e^{-\lambda x}dx=$$

$$=2\int_{0}^{\frac{1}{\lambda}}e^{-\lambda x}dx-2\int_{0}^{\frac{1}{\lambda}}x\lambda e^{-\lambda x}\,dx+\frac{1}{\lambda}-\frac{e^{-\lambda x}}{-\lambda}\Bigg|_{0}^{\infty}=$$

$$=2\int_{0}^{\frac{1}{\lambda}}e^{-\lambda x}dx+2\left(xe^{-\lambda x}\Big|_{0}^{\frac{1}{\lambda}}-\int_{0}^{\frac{1}{\lambda}}e^{-\lambda x}\,dx\right)=$$

$$=\frac{2}{e\lambda}\approx 0{,}736\sigma(X).$$

***Нормальный закон распределения***

Случайная величина X, распределенная по нормальному закону, имеет плотность

$$p(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},\ MX=a,$$

$$D(X)=\sigma^2,\ \sigma(X)=\sigma.$$

Можно считать, что a = 0 (иначе возьмем случайную величину X–a, которая имеет такой же Δ(X)).

Вычислим Δ(X):

$$\Delta(X)=2\int_{0}^{\infty}x\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\,dx=$$

$$=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{0}^{\infty}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\,d(x^2)=$$

$$=\frac{-2\sigma^2}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\Bigg|_{0}^{\infty}=\sqrt{\frac{2}{\pi}}\sigma\approx 0.798\sigma.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье выведены аналитические формулы абсолютных первых центральных моментов для геометрического, биномиального и пуассоновского законов распределения. Это позволяет найти среднюю зону распределений, важную для расчетов в прикладных задачах. Работа может быть использована и в исследованиях по теории вероятностей.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей.– Изд. 6-е, перераб. и доп.– М.: Наука, 1988. [Электронный ресурс]: http://www.booksshare.net/books/physics/gnedenko-bv/1988/files/kursteoriiveroyatnostey1988.pdf. Доступ 15.11.2016.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика.– М.: Высшая школа, 2003.– 479 с.
3. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Юнити, 2012.– 552 с.



Координаты автора: **Гусев А. И.**– +7 (495) 684–24–82.



Статья поступила в редакцию 09.11.2016, принята к публикации 20.01.2017.

# THE ABSOLUTE FIRST CENTRAL MOMENT OF RANDOM VARIABLES

***Gusev, Anatoly I.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The geometric, Poisson, and binomial distribution laws are considered in the article. For each of them an analytic formula of the absolute first central moments is derived, which allows us to find the average distribution zone. The work is of a fundamental nature and can be used in studies on probability theory, in applied problems where these distribution laws are present.

*Keywords: random variable, distribution laws, mathematical expectation, dispersion, root-mean-square deviation, moments of random variables.*

**Background.** *Let a random variable X be taken (no matter which, continuous or discrete), for example, the worker's salary. The mathematical expectation MX (we take only quantities with a finite value MX) characterizes the average value of the random variable. When estimating the deviation of a random variable from the mean value in an extensive literature on probability theory (see, in part. [1–3]), the dispersion of the random variable D(X)=M(X–MX)$^2$ is considered, then the notion of the mean-square deviation* $\sigma(X)=\sqrt{D(X)}$ *is introduced and σ(X) is called the deviation of the random variable from the mathematical expectation. What exactly characterizes the obtained deviation is not very clear, let's try to figure it out.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider the absolute first central moment of random variables.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, mathematical apparatus, scientific description.*

**Results.**

**Three zones of value**

*Let the salary have the distribution law shown in Table 1.*

*The average salary*

$$\mathrm{MX}=10\bullet\frac{1}{5}+30\bullet\frac{1}{5}+90\bullet\frac{1}{5}+150\bullet\frac{1}{5}+170\bullet\frac{1}{5}=90.$$

*The dispersion*

$$D(X)=80^2\bullet\frac{1}{5}+60^2\bullet\frac{1}{5}+60^2\bullet\frac{1}{5}+80^2\bullet\frac{1}{5}=4000,$$

a $\sigma(\mathrm{X})=\sqrt{3560}=63,25.$

*Now we calculate the true mean deviation of the random variable from the mathematical expectation, that is, we find the absolute first central moment for X (we denote it by Δ (X)):*

$$\Delta(\mathrm{X})=\mathrm{M}\left|X-MX\right|=80\bullet\frac{1}{5}+60\bullet\frac{1}{5}+60\bullet\frac{1}{5}+80\bullet\frac{1}{5}=56.$$

*As can be seen, the discrepancy between σ (X) and Δ (X) is large – 7,25 (thousand rubles). We take random values for which Δ (X) is a finite number (if Δ (X) = 0, then the random variable X is a constant), while σ (X) can be equal to ∞ (for example, X takes values* $\pm\frac{2^n}{n^{1.5}}$ *with probability* $\frac{1}{2^{n+1}}$*, n = 1; 2; ...; ...n).*

*For an arbitrary random variable, we consider three zones of its values (Pic. 1).*

*The lower zone H: x < MX–Δ(X).*

*Middle zone C: [MX–Δ(X); MX+Δ(X)].*

*The higher zone B: x > MX+Δ(X).*

*Accordingly, we have a zone of low earnings at a level of < 34, a zone of average earnings from 34 to 146, and a zone of the highest earnings at a level above 146. Earnings of the amount of 30 fall into the lower zone, but if we judge by the standard deviation of σ (X), then earnings fall into middle zone. It is possible that a random variable takes only two values of MX–Δ(X) and MX+Δ(X), then it is easy to assume that the probabilities of accepting these values = 1/2.*

*At the same time, when a random variable takes more than two values, the interior of the middle zone is always not empty. Zone H can be empty, then zone B is not empty (that is, it means that only average and higher earnings are available, they can be called good, as it is favorable for society). And here MX = 16; Δ (X) = 8. An example of such a distribution is given in Table 2.*

*If, on the contrary, zone B is empty, then zone H is not empty (this means that there are only medium and*

**Table 1**

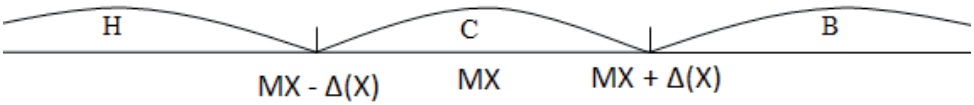
| X (thous. rubles) | 10 | 30 | 90 | 150 | 170 |
|---|---|---|---|---|---|
| P | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/5 |

**Table 2**

| X(thous. rubles) | 10 | 22 | 34 |
|---|---|---|---|
| P | 4/6 | 1/6 | 1/6 |

**Table 3**

| X (thous. rubles) | 12 | 24 | 36 |
|---|---|---|---|
| P | 1/6 | 1/6 | 4/6 |




***Pic. 1. Zones of values of an arbitrary random variable.***

**Table 4**

| X | 1 | 2 | 3 | ... | n | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | p | pq | $pq^2$ | ... | $pq^{n-1}$ | ... |

**Table 5**

| $\left\|X-\frac{1}{p}\right\|$ | $\frac{1}{p}-1$ | $2-\frac{1}{p}$ | $3-\frac{1}{p}$ | ... | $n-\frac{1}{p}$ | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | p | pq | $pq^2$ | ... | $pq^{n-1}$ | ... |

**Table 6**

| $\left\|X-\frac{1}{p}\right\|$ | $\frac{1}{p}-1$ | $\frac{1}{p}-2$ | ... | $\frac{1}{p}-n$ | $\frac{1}{p}-(n+1)$ | $(n+2)-\frac{1}{p}$ | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | p | pq | ... | $pq^{n-1}$ | $pq^n$ | $pq^{n+1}$ | ... |

**Table 7**

**The values of σ(X), Δ(X) and σ(X) – Δ(X) for the geometric distribution law**

| p | б | | Δ | | б-Δ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | | 0 | | 0 |
| 0,9 | 0,351364 | | 0,2 | | 0,151364 |
| 0,8 | 0,559017 | | 0,4 | | 0,159017 |
| 0,7 | 0,782461 | | 0,6 | | 0,182461 |
| 0,6 | 1,054093 | | 0,8 | | 0,254093 |
| 0,5 | 1,414214 | | 1 | | 0,414214 |
| 1/3 | 2,44949 | | 1,777778 | | 0,671712 |
| 1/4 | 3,464102 | | 2,53125 | | 0,932852 |
| 1/5 | 4,472136 | | 3,2768 | | 1,195336 |
| 1/6 | 5,477226 | | 4,018776 | | 1,45845 |
| 1/7 | 6,480741 | | 4,758833 | | 1,721907 |
| 1/8 | 7,483315 | | 5,497743 | | 1,985572 |
| 1/9 | 8,485281 | | 6,235909 | | 2,249372 |
| 1/10 | 9,486833 | | 6,973569 | | 2,513264 |
| 1/20 | 19,49359 | | 14,33944 | | 5,154152 |
| 1/30 | 29,49576 | | 21,69969 | | 7,796072 |
| 1/40 | 39,49684 | | 29,0586 | | 10,43824 |
| 1/50 | 49,49747 | | 36,41697 | | 13,08051 |
| 1/60 | 59,4979 | | 43,77508 | | 15,72282 |
| 1/70 | 69,4982 | | 51,13304 | | 18,36516 |
| 1/80 | 79,49843 | | 58,4909 | | 21,00752 |
| 1/90 | 89,4986 | | 65,84871 | | 23,6499 |
| 1/100 | 99,49874 | | 73,20647 | | 26,29228 |

**Table 8**

| X | 0 | 1 | 2 | ... | n | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $e^{-\lambda}$ | $\lambda e^{-\lambda}$ | $\frac{\lambda^2 e^{-\lambda}}{2!}$ | ... | $\frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$ | ... |

**Table 9**

| $\lvert X-\lambda \rvert$ | $\lambda$ | $1-\lambda$ | $2-\lambda$ | ... | $n-\lambda$ | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $e^{-\lambda}$ | $\lambda e^{-\lambda}$ | $\frac{\lambda^2 e^{-\lambda}}{2!}$ | ... | $\frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$ | ... |

**Table 10**

| $\lvert X-\lambda \rvert$ | $\lambda$ | | ... | $\lambda-n$ | $\lambda-(n+1)$ | $(n+2)-\lambda$ | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $e^{-\lambda}$ | $\lambda e^{-\lambda}$ | | $\frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$ | $\frac{\lambda^{n+1} e^{-\lambda}}{(n+1)!}$ | $\frac{\lambda^{n+2} e^{-\lambda}}{(n+2)!}$ | ... |

**Table 11**

**The values of σ(X), Δ(X) and σ(X) −Δ(X) for the Poisson distribution law**

| λ | | б | | Δ | | б-Δ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 1 | | 0,735759 | | 0,264241 |
| 2 | | 1,414214 | | 1,082682 | | 0,331531 |
| 3 | | 1,732051 | | 1,344251 | | 0,3878 |
| 4 | | 2 | | 1,562935 | | 0,437065 |
| 5 | | 2,236068 | | 1,754674 | | 0,481394 |
| 6 | | 2,44949 | | 1,927478 | | 0,522012 |
| 7 | | 2,645751 | | 2,086039 | | 0,559712 |
| 8 | | 2,828427 | | 2,233385 | | 0,595043 |
| 9 | | 3 | | 2,371602 | | 0,628398 |
| 10 | | 3,162278 | | 2,502201 | | 0,660077 |
| 20 | | 4,472136 | | 3,553413 | | 0,918723 |
| 30 | | 5,477226 | | 4,358072 | | 1,119154 |
| 40 | | 6,324555 | | 5,035763 | | 1,288792 |
| 50 | | 7,071068 | | 5,632501 | | 1,438567 |
| 60 | | 7,745967 | | 6,171809 | | 1,574157 |
| 70 | | 8,3666 | | 6,667639 | | 1,698961 |
| 80 | | 8,944272 | | 7,129067 | | 1,815205 |
| 90 | | 9,486833 | | 7,562392 | | 1,924441 |
| 100 | | 10 | | 7,972199 | | 2,027801 |

**Table 12**

| X | 0 | 1 | ... | k | ... | n |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $q^n$ | $npq^{n-1}$ | ... | $C_n^k p^k q^{n-k}$ | ... | $p^n$ |

**Table 13**

| $\lvert X-np \rvert$ | np | 1-np | ... | k-np | ... | n-np |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $q^n$ | $npq^{n-1}$ | ... | $C_n^k p^k q^{n-k}$ | ... | $p^n$ |

**Table 14**

| $\lvert X-np\rvert$ | np | np-1 | ... | np-k | k+1-np | ... | n-np |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | $q^n$ | $npq^{n-1}$ | ... | $C_n^k p^k q^{n-k}$ | $C_n^{k+1} p^{k+1} q^{n-k-1}$ | ... | $p^n$ |

*low earnings, and we are talking about unsatisfactory situation in society). Table 3 shows an example of such a distribution, where MX = 30; Δ (X) = 8.*

*From the general theory it follows that both for discrete and continuous random variables σ (X) ≥ Δ (X), however, for prevailing random variables it is desirable to know their dependence shown in the form σ(X) = KΔ(X) (i.e. the explicit value of the coefficient K). The binomial, Poisson, and geometric distribution laws are widely used in various fields, so it is expedient to find the absolute first central moment Δ(X) for them.*

**Variant for the geometric law**

*The geometric distribution law (Table 4) has numerical characteristics:* $\mathrm{MX}=\frac{1}{p}$; $D(\mathrm{X})=\frac{q}{p^2}$; $\sigma(\mathrm{X})=\frac{\sqrt{q}}{p}$.

*Theorem 1. Let* $n\le\frac{1}{p}<n+1$, *then Δ(X) = 2nq$^n$, n = 1; 2;... The proof is by induction on n. For* $1\le\frac{1}{p}<2$, *we have the variant of Table 5.*

$\frac{1}{p}-1$ *is represented in the form*

$\frac{1}{p}-1=1-\frac{1}{p}+2\left(\frac{1}{p}-1\right)$, *then*

$M\left|X-\frac{1}{p}\right|=\frac{1}{p}-\frac{1}{p}+2\left(\frac{1}{p}-1\right)\mathrm{p}=2-2\mathrm{p}=2\mathrm{q}$ *satisfies the formula to be proved.*

*Let at* $n\le\frac{1}{p}<n+1$ *we have Δ(X) = 2nq$^n$ (see Table 6), we prove that at* $n+1\le\frac{1}{p}<n+2\Delta(\mathrm{X})=2(\mathrm{n}+1)q^{\mathrm{n}+1}$.

$\frac{1}{p}-(\mathrm{n}+1)$ *is represented in the form*

$(\mathrm{n}+1)-\frac{1}{p}+2\left(\frac{1}{p}-(\mathrm{n}+1)\right)$, *then*

$$M\left|X-\frac{1}{p}\right|=2\mathrm{n}q^{\mathrm{n}}+2\left(\frac{1}{p}-(\mathrm{n}+1)\right)\mathrm{p}q^{\mathrm{n}}=$$
$$=2\mathrm{n}q^{\mathrm{n}}+2q^{\mathrm{n}}-2(\mathrm{n}+1)\mathrm{p}q^{\mathrm{n}}=$$
$$=2(\mathrm{n}+1)q^{\mathrm{n}}-2(\mathrm{n}+1)\mathrm{p}q^{\mathrm{n}}=$$
$$=2(\mathrm{n}+1)q^{\mathrm{n}}(1-\mathrm{p})=2(\mathrm{n}+1)q^{\mathrm{n}+1},$$

*which was to be proved.*

*Note. It is easy to verify that in the theorem we can replace* $n\le\frac{1}{p}<n+1$ *by* $n\le\frac{1}{p}\le n+1$, *i.e. Δ(X) – continuous function of p.*

*To compare σ(X) and Δ(X) Table 7 is compiled in the variant of the geometric distribution law.*

**Variant for the Poisson distribution law**

*Let's consider the Poisson distribution law (Table 8).*

*A random variable distributed according to the Poisson's law has numerical characteristics: MX = λ; D(X) = λ;* $\sigma(\mathrm{X})=\sqrt{\lambda}$.

*Theorem 2. Let n ≤ λ < n + 1, then* $\sigma(\mathrm{X})=\frac{2\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{n!}$, $\mathrm{n}=0;1;2;\ldots$. *We carry out the proof by induction on n. For 0 ≤ λ < 1 we have the variant of Table 9.*

*λ is represented in the form λ = (0–λ)+2λ, then M|X–λ| = λ–λ+2λe$^{-λ}$ = 2λe$^{-λ}$ = λ–λ+2λe$^{-λ}$ – which satisfies the formula to be proved.*

*Let for n ≤ λ < n +1 we have* $\Delta(\mathrm{X})=\frac{2\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{n!}$ *(see Table 10), we prove that for*

$\mathrm{n}+1\le\lambda<\mathrm{n}+2\ \Delta(\mathrm{X})=\frac{2\lambda^{n+2}e^{-\lambda}}{(n+1)!}$.

*λ–(n+1) is represented in the form (n+1)–λ+2(λ–(n+1)), then*

$$\mathrm{M}\left|X-\lambda\right|=\frac{2\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{n!}+2\left(\lambda-(\mathrm{n}+1)\right)\frac{\lambda^{n+1}e^{-\lambda}}{(n+1)!}=\frac{2\lambda^{n+2}e^{-\lambda}}{(n+1)!},$$

*which was to be proved.*

*Note. It is easy to verify that in the theorem we can replace n ≤ λ < n+1 by n ≤ λ ≤ n+1 i.e. Δ(X) is continious function of λ.*

*For comparison of σ(X) and Δ(X) in the Poisson distribution variant Table 11 is compiled.*

**Variant for the binominal distribution law**

*Let's consider the binominal distribution law (Table 12).*

*A random variable distributed according to the binomial law has numerical characteristics: MX = np; D(X) = npq;* $\sigma(\mathrm{X})=\sqrt{\mathrm{npq}}$.

*Theorem 3. Let k–1 ≤ np ≤ k, k = 1;2;...n, then* $\Delta(\mathrm{X})=2\mathrm{k}C_n^k p^k q^{n-k+}$. *We carry out the proof by induction on k. For k = 1, i.e. 0 ≤ np ≤1, we have the variant of Table 13.*

*Here np is represented in the form 0–np+2np, then M|X–np| = np–np + 2npq$^n$ = 2npq$^n$ – which satisfies the formula to be proved.*

*Let for k–1 ≤ np ≤ k we have* $\Delta(\mathrm{X})=2\mathrm{k}C_n^k p^k q^{n-k+1}$ *(see Table 14). Let us prove that for k ≤ np ≤ k+1* $\Delta(\mathrm{X})=2(\mathrm{k}+1)C_n^{k+1}p^{k+1}q^{n-k}$.

*np–k is represented in the form np–k = k–np+2(np–k), then we have*

$$M\left|X-np\right|=2\mathrm{k}C_n^k p^k q^{n-k+1}+2(\mathrm{np}-\mathrm{k})C_n^k p^k q^{n-k}=$$
$$=2\mathrm{np}C_n^k p^k q^{n-k}+2\mathrm{k}C_n^k p^k q^{n-k}(q-1))=$$
$$=2\mathrm{n}C_n^k p^{k+1}q^{n-k}-2\mathrm{k}C_n^k p^{k+1}q^{n-k}=2(\mathrm{n}-\mathrm{k})C_n^k p^{k+1}q^{n-k}=$$
$$=2(\mathrm{k}+1)\frac{C_n^k(n-k)}{(k+1)}p^{k+1}q^{n-k}=2(\mathrm{k}+1)C_n^{k+1}p^{k+1}q^{n-k},$$

*which was to be proved.*

*For comparison of σ(X) and Δ(X) in the variant of the binominal distribution law two tables are compiled for n = 100 and for n = 1000.*

Table 15

**Values of σ(X), Δ(X) and σ(X) – Δ(X) for the binominal distribution law for n = 100**

| p | б | Δ | б-Δ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,01 | 0,994987 | 0,732064683 | 0,262923 |
| 0,02 | 1,4 | 1,071782533 | 0,328217 |
| 0,03 | 1,705872 | 1,323899422 | 0,381973 |
| 0,04 | 1,959592 | 1,531303658 | 0,428288 |
| 0,05 | 2,179449 | 1,710169359 | 0,46928 |
| 0,06 | 2,374868 | 1,868659559 | 0,506209 |
| 0,07 | 2,55147 | 2,011576901 | 0,539893 |
| 0,08 | 2,712932 | 2,142031945 | 0,5709 |
| 0,09 | 2,861818 | 2,262177211 | 0,59964 |
| 0,1 | 3 | 2,373576243 | 0,626424 |
| 0.2 | 4 | 3.177606874 | 0.822393 |
| 0,3 | 4,582576 | 3,64492232 | 0,937653 |
| 0,4 | 4,898979 | 3,89851896 | 1,000461 |
| 0,5 | 5 | 3,979461869 | 1,020538 |
| 0,6 | 4,898979 | 3,89851896 | 1,000461 |
| 0,7 | 4,582576 | 3,64492232 | 0,937653 |
| 0,8 | 4 | 3,177606874 | 0,822393 |
| 0,9 | 3 | 2,373576243 | 0,626424 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |

*In view of the symmetry, it is clear that for symmetric values of p the results will be the same, for example, at p = 0,6 and p = 0,4 (see Table 15). Therefore, Table 16 is made up to p = 0,5.*

**Variant for classical continuous random variables**

*In this section we find absolute first central moments for uniform, exponential and normal distribution laws.*

*Uniform distribution law*

*A random variable X, uniformly distributed on the interval [a, b], has density p(x), equal to* $\frac{1}{в-a}$, *on the interval [a, b], and equal to 0 outside it. In this case* $MX=\frac{a+в}{2}$, $D(X)=\frac{(в-a)^2}{12}$, $\sigma(X)=\frac{в-a}{2\sqrt{3}}$.

*Let's calculate Δ(X) (the result is, of course, obvious and equal to* $\frac{в-a}{4}$ *):*

$$\Delta(X)=\int_a^{\frac{a+в}{2}}\left(\frac{a+в}{2}-x\right)\frac{1}{в-a}dx+\int_{\frac{a+в}{2}}^{в}\left(x-\frac{a+в}{2}\right)\frac{1}{в-a}dx=$$

$$=\frac{1}{в-a}\left(\frac{a+в}{2}x-\frac{x^2}{2}\right)\Bigg|_a^{\frac{a+в}{2}}+\frac{1}{в-a}\left(\frac{x^2}{2}-\frac{a+в}{2}x\right)\Bigg|_{\frac{a+в}{2}}^{в}=$$

$$=\frac{1}{в-a}\left(\frac{(a+в)^2}{4}-\frac{(a+в)^2}{8}-\frac{a+в}{2}a+\frac{a^2}{2}\right)-$$

$$-\frac{1}{в-a}\left(\frac{в^2}{2}-\frac{a+в}{2}в-\frac{(a+в)^2}{8}+\frac{(a+в)^2}{4}\right)=$$

$$=\frac{1}{в-a}\left(\frac{(a+в)^2}{4}-aв\right)=\frac{в-a}{4}\approx 0.866\ \sigma(X).$$

*Exponential distribution law*

*A random variable X, distributed in exponential order, has density p(x), equal to* $\lambda e^{-\lambda x}$, *at* $x\geq 0$ *and zero density at x < 0.* $MX=\frac{1}{\lambda}$; $D(X)=\frac{1}{\lambda^2}$; $\sigma(X)=\frac{1}{\lambda}$.

*Let's calculate Δ(X) (the result here is, of course, not obvious):*

$$\Delta(X)=\int_0^{\frac{1}{\lambda}}\left(\frac{1}{\lambda}-x\right)e^{-\lambda x}\,dx+\int_{\frac{1}{\lambda}}^{\infty}\left(x-\frac{1}{\lambda}\right)e^{-\lambda x}\,dx=$$

$$=\int_0^{\frac{1}{\lambda}}e^{-\lambda x}dx-\int_0^{\frac{1}{\lambda}}x\lambda e^{-\lambda x}dx+\int_{\frac{1}{\lambda}}^{\infty}x\lambda e^{-\lambda x}dx-\int_{\frac{1}{\lambda}}^{\infty}e^{-\lambda x}dx=$$

$$=2\int_0^{\frac{1}{\lambda}}e^{-\lambda x}dx-2\int_0^{\frac{1}{\lambda}}x\lambda e^{-\lambda x}\,dx+\frac{1}{\lambda}-\frac{e^{-\lambda x}}{-\lambda}\Bigg|_0^{\infty}=$$

Table 16

**The values of σ(X), Δ(X) and σ(X) – Δ(X) for the binominal distribution law for n = 1000**

| p | б | Δ | б-Δ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,001 | 0,9995 | 0,735391 | 0,264109 |
| 0,002 | 1,412799 | 1,081599 | 0,3312 |
| 0,003 | 1,729451 | 1,342233 | 0,387218 |
| 0,004 | 1,995996 | 1,559805 | 0,436191 |
| 0,005 | 2,230471 | 1,750281 | 0,48019 |
| 0,006 | 2,44213 | 1,921686 | 0,520445 |
| 0,007 | 2,636475 | 2,078724 | 0,557751 |
| 0,008 | 2,817091 | 2,224432 | 0,592659 |
| 0,009 | 2,986469 | 2,360903 | 0,625566 |
| 0,01 | 3,146427 | 2,489656 | 0,65677 |
| 0,05 | 6,892024 | 5,489858 | 1,402166 |
| 0,1 | 9,486833 | 7,563022 | 1,923811 |
| 0,15 | 11,29159 | 9,004249 | 2,287341 |
| 0,2 | 12,64911 | 10,08812 | 2,560995 |
| 0,25 | 13,69306 | 10,92154 | 2,771524 |
| 0,3 | 14,49138 | 11,55882 | 2,932555 |
| 0,35 | 15,0831 | 12,03117 | 3,051933 |
| 0,4 | 15,49193 | 12,35751 | 3,13442 |
| 0,45 | 15,73213 | 12,54925 | 3,182887 |
| 0,5 | 15,81139 | 12,61251 | 3,198879 |

$$= 2\int_0^{\frac{1}{\lambda}} e^{-\lambda x} dx + 2\left( xe^{-\lambda x}\Big|_0^{\frac{1}{\lambda}} - \int_0^{\frac{1}{\lambda}} e^{-\lambda x}\, \mathrm{dx} \right) =$$

$$= \frac{2}{e\lambda} \approx 0,736\sigma(\mathrm{X}).$$

*Normal distribution law*

*A random variable X, distributed according to the normal law, has density*

$$\mathrm{p}(\mathrm{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},\ \mathrm{MX} = \mathrm{a},$$

$$\mathrm{D(X)} = \sigma^2,\ \sigma(\mathrm{X}) = \sigma.$$

*We can assume that a = 0 (otherwise we take a random variable X–a, which has the same Δ(X)).*

*Let's calculate Δ(X):*

$$\Delta(\mathrm{X}) = 2\int_0^{\infty} x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\, \mathrm{dx} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\, \mathrm{d}\left(\mathrm{x}^2\right) =$$

$$= \frac{-2\sigma^2}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}\Bigg|_0^{\infty} = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\sigma \approx 0.798\sigma.$$

**Conclusion.** *The analytical formulas for the absolute first central moments for the geometric, binomial, and Poisson distribution laws are derived. This allows us to find the average distribution zone, which is important for calculations in applied problems. The work can also be used in studies on probability theory.*

## REFERENCES


1. Gnedenko, B. V. Course on probability theory [*Kurs teorii verojatnostej*]. 6th ed., rev. and enl. Moscow, Nauka publ., 1988. [Electronic resource]: http://www.booksshare.net/books/physics/gnedenko-bv/1988/files/kursteoriiveroyatnostey1988.pdf. Last accessed 15.11.2016.
2. Gmurman, V. E. Probability theory and mathematical statistics [*Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika*]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 2003, 479 p.
3. Kremer, N. Sh. Probability theory and mathematical statistics: textbook [*Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika: uchebnik*]. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Unity publ., 2012, 552 p.



Information about the author:
**Gusev, Anatoly I.** – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, +7 (495) 684–24–82.



Article received 09.11.2016, accepted 20.01.2017.

УДК 519.6:311

# Нечёткий численный вероятностный анализ надёжности рельсовых скреплений

Юрий КРАКОВСКИЙ
Yuri M. KRAKOVSKY

Батбаатар ДАВААДОРЖ
Batbaatar DAVAADORZH

***Краковский Юрий Мечеславович*** *– доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и защиты информации Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск, Россия.*
***Даваадорж Батбаатар*** *– сотрудник Улан-Баторской железной дороги, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, Улан-Батор, Монголия.*

**Fuzzy Numerical Probability Analysis of Rail Fastenings Reliability**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 36)*

***В качестве вероятностной модели вычисления показателей надёжности рельсовых скреплений используется треугольное распределение с двумя параметрами – максимальным и наиболее вероятным. Нечёткий численный вероятностный анализ с привлечением имитационного моделирования предполагает, что эксперты с помощью имеющейся у них статистической и экспертной информации могут численно оценить максимальное значение наработки, а для второго значения (моды) предложить лишь интервал его изменения. Это наиболее реальная ситуация в практических приложениях в условиях неопределенности исходных данных. Предложен алгоритм нечёткого анализа, который апробирован на основе экспертной информации.***

*Ключевые слова: рельсовые скрепления, показатели надёжности, численный вероятностный анализ, имитационное моделирование.*

При создании железнодорожного пути используются различные компоненты, включая рельсы, шпалы, подкладки, балласт и земляное полотно. Соединяющим элементом этой системы служат рельсовые скрепления. В последние годы при организации путевого хозяйства им уделяется большое внимание, что отражено в различных научных и нормативных работах [1–5].

Основная задача таких промежуточных конструкций – сохранение геометрических параметров рельсовой колеи при передаче и гашении сил от динамического воздействия подвижного состава. При этом свойства скрепления должны учитывать не только стандартные условия работы пути, но и негативные воздействия транспортной нагрузки при неравномерном распределении усилий на рельсовые нити во время вписывания подвижного состава в кривой участок [4]. Другая задача скрепления – электроизоляция рельсов от подрельсового основания, чтобы минимизировать потерю сигналов рельсовых электрических цепей.

Тип скрепления значительно влияет на стоимостные характеристики строитель-

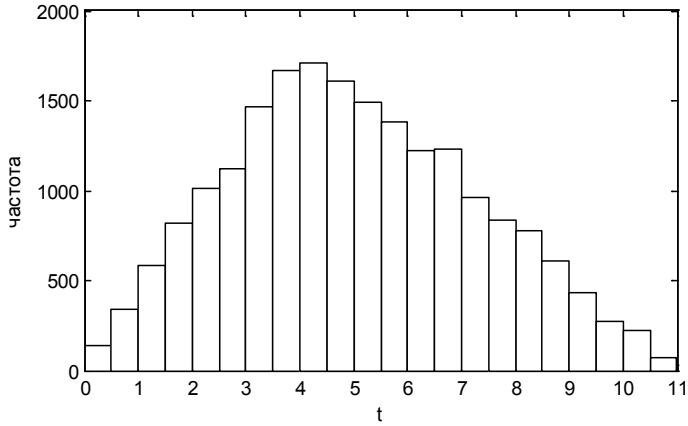



***Рис. 1. Гистограмма частот для треугольного распределения.***

ного и эксплуатационного комплексов железнодорожного пути. Одним из перспективных типов, используемых на Улан-Баторской железной дороге, является АРС – упругое бесподкладочное безрезьбовое скрепление с нераздельным анкером, замоноличенным в шпалу. Скрепления АРС поддерживаются и конструктивно развиваются специалистами МИИТ, которые проводят мониторинг на 26 участках восьми железных дорог в различных эксплуатационных условиях [1].

С точки зрения теории надёжности рельсовые скрепления можно отнести к невосстанавливаемым объектам, ибо в случае возникновения отказа они не подлежат восстановлению (могут заменяться лишь основные узлы соединения). А поскольку отказы происходят по самым разным причинам, возникает задача определения показателей надёжности для рельсовых скреплений в условиях неопределённости при малом объёме статистических данных.

## МОДЕЛИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

В работе [6] в качестве вероятностной модели наработки для скреплений типа АРС предложено треугольное распределение

$$f(t)=\begin{cases}\dfrac{2\bullet t}{t_m\bullet t_0}, & 0<t\le t_0\\[2ex] \dfrac{2(t_m-t)}{t_m\bullet(t_m-t_0)}, & t_0<t<t_m\end{cases}. \qquad (1)$$

Математическое ожидание для него

$$\overline{t}=\frac{1}{3}(t_m+t_0)\,. \qquad (2)$$

Эксперты, имея некоторую статистическую информацию, оценивают наибольшее значение ($t_m$) и наиболее вероятное значение ($t_o$), которое называют модой. Эти параметры определяются на основе статистической и экспертной информации, имеющейся в литературе и нормативных документах.

Так, в [3, 5] описаны опытные участки пути, которые расположены на самых сложных и грузонапряжённых направлениях. Замеры параметров состояния проводятся согласно методике сравнительных эксплуатационных испытаний конструкций промежуточных рельсовых скреплений. Подобные замеры делаются и на УБЖД на участках с малым радиусом и большой грузонапряжённостью.

В нашем исследовании максимальная наработка рельсового скрепления принята 550 млн т • км, а наиболее вероятное значение 200 млн т • км. В качестве единицы измерения принято 50 млн т • км, это и определило значения исходных данных:

$t_m = 11$ (550 млн т • км),

$t_o = 4$ (200 млн т • км). (3)

Для параметров (3) математическое ожидание (2) равно 5.

Следует подчеркнуть, что описываемое исследование носит методический характер и не претендует на точность оценки параметров для наработки рельсовых скреплений.

В работе [6] для этого распределения получены аналитические выражения для следующих показателей надёжности:

1) вероятность безотказной работы (вероятность того, что до времени $t$ отказ объекта не произойдет);

2) интенсивность отказов;

3) средняя наработка до отказа;

4) гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с вероятностью γ;

5) средний остаточный ресурс до отказа;

6) гамма-процентный остаточный ресурс для вероятности γ.

Перечисленные показатели рекомендованы в различных источниках, например [7, 8].

В работах [9, 10] для треугольного распределения наработки получены численные алгоритмы вычисления показателей надёжности, основанные на результатах имитационного моделирования и научных рекомендациях [11–13].

Для распределения (1) алгоритм моделирования времени наработки как случайной величины имеет вид [9]:

$$t = \begin{cases} \sqrt{t_m \bullet t_0 \bullet r}, \ 0 < r \le \dfrac{t_0}{t_m}; \ 0 < t \le t_0 \\ t_m - \sqrt{t_m (t_m - t_0)(1-r)}, \\ \dfrac{t_0}{t_m} < r < 1; \ t_0 < t < t_m. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь $r$ – значение псевдослучайной величины, равномерно распределенной на интервале (0, 1).

На рис. 1 приведена гистограмма частот, полученная имитационным моделированием по формуле (4) для параметров (3). Видна хорошая связь с треугольным распределением (1).

## АЛГОРИТМ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА

Нечёткий численный вероятностный анализ с привлечением имитационного моделирования предполагает, что эксперты на основании имеющейся у них статистической и экспертной информации могут численно оценить максимальное значение наработки ($t_m$), а для второго значения (моды) предложить лишь интервал его изменения ($a$, $b$). Это наиболее реальная ситуация в практических приложениях в условиях неопределенности исходных данных. И надо исходить из того, что мода наработки является случайной величиной с равномерным распределением и известными значениями математического ожидания ($\bar{t}_o$) и коэффициента вариации ($k_r$).

Выбор коэффициента вариации обусловлен тем, что это нормированная величина, которую можно менять при проведении исследования. Математическое ожидание моды определяется методом моментов из формулы (2) по выбранному экспертами ожиданию наработки, а коэффициент вариации назначается экспертным путем.

Математическое ожидание ($\bar{t}_o$) случайной величины, имеющей равномерное распределение, коэффициент её вариации ($k_r$) и интервалы изменения ($a$, $b$) связаны зависимостью

$$a = \bar{t}_o \bullet (1 - \sqrt{3} \bullet k_r); \ b = \bar{t}_o \bullet (1 + \sqrt{3} \bullet k_r). \quad (5)$$

Алгоритм моделирования значений случайной величины:

$$t_{qo} = a + (b - a) \bullet r. \quad (6)$$

Предложен следующий алгоритм (МД) для нечёткого численного вероятностного анализа с привлечением имитационного моделирования:

1. Зная математическое ожидание ($\bar{t}$) наработки методом моментов из формулы (2), получаем значение математического ожидания моды

$$\bar{t}_o = 3 \bullet \bar{t} - t_m. \quad (7)$$

2. Зная значение математического ожидания моды (7) как случайной величины и коэффициент её вариации ($k_r$), по формуле (5) определяем диапазон изменения моды ($a$, $b$).

3. По формуле (6) определяем выборочное значение моды наработки как случайной величины ($t_{qo}$).

4. По формуле (4) определяем выборочное значение наработки ($t_q$).

5. Пункты 3, 4 повторяем $n$ раз, в результате чего создается искомая выборка наработок объёма $n$

$$T_н = (t_1, \ldots, t_q, \ldots, t_n). \quad (8)$$

Выборка (8) обрабатывается специальными численными алгоритмами для получения показателей надёжности, описанными в [9, 10]. Дополнительно находятся точечная оценка математического ожидания наработки ($\tilde{t}$) и доверительный интервал для математического ожидания ($t_1$; $t_2$) [8]:

$$\tilde{t} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^{n} t_q; \ t_1 = \tilde{t} - \delta; \ t_2 = \tilde{t} + \delta; \quad (9)$$

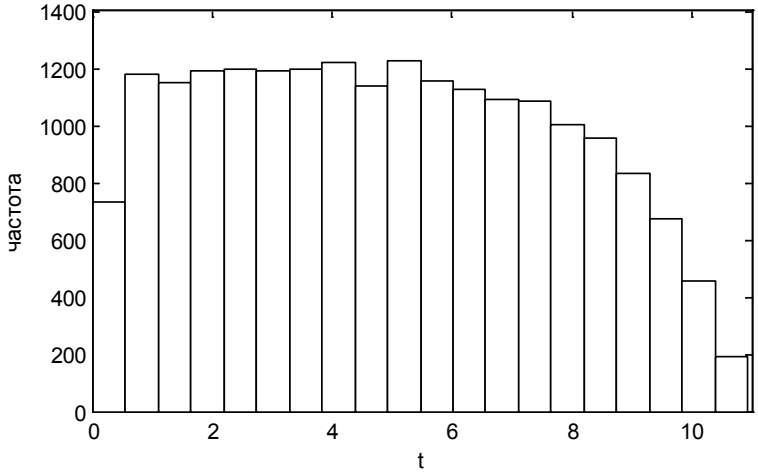



*Рис. 2. Гистограмма частот для наработки, нечёткий вероятностный анализ.*

$$\delta = \frac{z_\gamma \cdot s}{\sqrt{n}}; \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n} t_q^2 - n \cdot \tilde{t}^2}{n-1}}, \qquad (10)$$

здесь $t_q$ – выборочные значения наработки (8); $z_y$ – квантиль нормированного нормального распределения для доверительной вероятности γ; $s$ – оценка среднеквадратического отклонения.

На рис. 2 приведена гистограмма частот, полученная в результате имитационного моделирования по предложенному алгоритму МД (4–8): $\bar{t} = 5$, $t_m = 11$, объем выборки $n = 20000$, коэффициент вариации $k_r = 0{,}50$, диапазон изменения моды (5) – (0,536; 7,464).

Данная гистограмма существенно отличается от гистограммы на рис. 1, полученной для треугольного распределения, но для «чёткого» значения моды ($t_o = 4$).

Точечная (9) и интервальная (10) оценки наработки для выборки (8) равны

$$\tilde{t} = 4{,}922; \ (t_1; \ t_2) = (4{,}883; \ 4{,}961). \qquad (11)$$

Математическое ожидание $\bar{t} = 5$ не попало в доверительный интервал (11). Это позволяет сделать вывод о том, что нечёткость моды при увеличении значения её коэффициента вариации существенно влияет на математическое ожидание наработки. При этом нечёткость моды достаточно существенно влияет и на оценку коэффициента вариации наработки ($\tilde{k}_v$), она заметно увеличивается: например, при $k_r = 0{,}15$ $\tilde{k}_v = 0{,}485$, а при $k_r = 0{,}50$ $\tilde{k}_v = 0{,}568$; коэффициент вариации для распределения (1) при параметрах (3) равен 0,454.

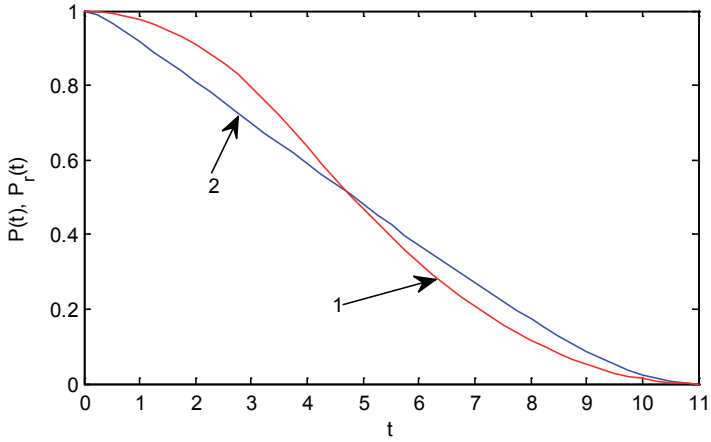



*Рис. 3. Вероятности безотказной работы.*

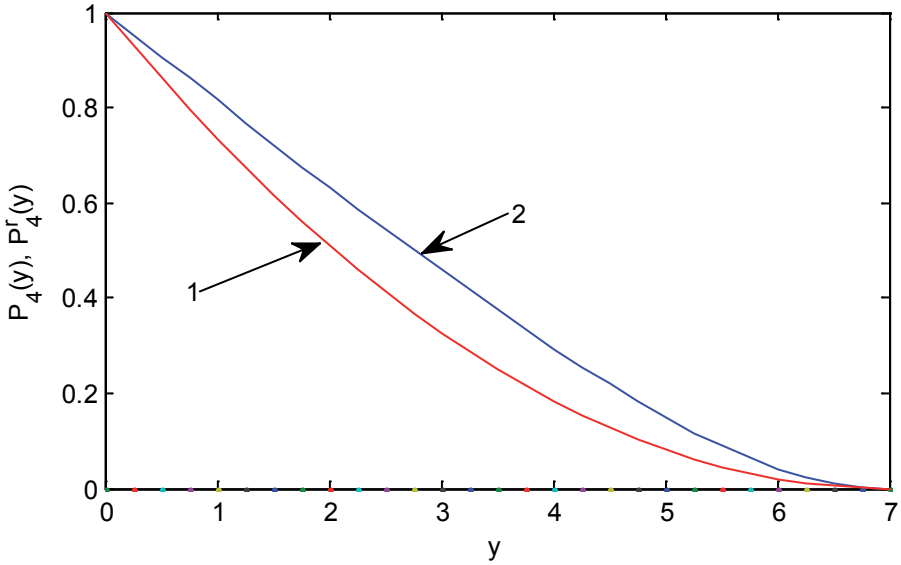



*Рис. 4. Вероятности безотказной работы для остаточного ресурса.*

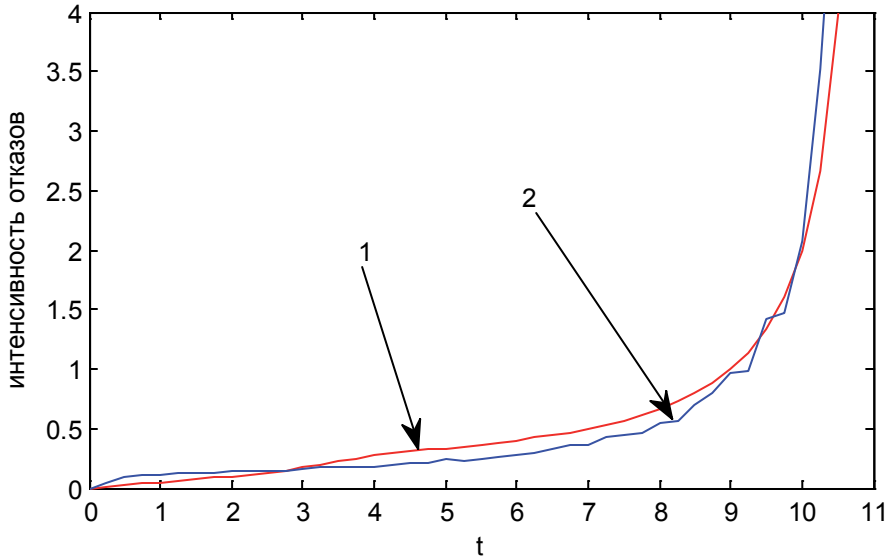



*Рис. 5. Интенсивности отказов.*

## АПРОБАЦИЯ МОДЕЛЬНОГО РЯДА

При использовании нечёткого вероятностного анализа показатели надёжности рельсовых скреплений вычисляются по численным алгоритмам, описанным в [9, 10] с учётом рекомендаций [11–13], но выборка (8) для них – по алгоритму МД.

На рис. 3 представлены вероятности безотказной работы (ВБР): 1 – ВБР для аналитической модели [6]; 2 – ВБР для численной модели [9, 10], но для нечёткой моды по алгоритму МД. Нечёткость моды влияет на эту функцию, причем с увеличением коэффициента вариации в большей степени.

Численная средняя наработка до отказа $\overline{t_r} = 4{,}923$. Эта величина попадает в доверительный интервал (11), что подтверждает качество предложенных алгоритмов.

Численный гамма-процентный ресурс до отказа для нечёткой моды при $\gamma = 0{,}9$:

$$t_r(0{,}9) = 1{,}855. \qquad (12)$$

Для аналитической модели это значение равно 2,098. Учитывая (12), нечёткость моды повлияла на гамма-процентный ресурс до отказа.

На рис. 4 представлены вероятности безотказной работы для остаточного ресурса (ВБРОР): 1 – ВБРОР для аналитической модели [6]; 2 – ВБРОР для численной модели, но для нечёткой моды по алгоритму МД. Нечёткость математического ожидания влияет на эту функцию – она находится выше теоретической функции, поэтому происходит изменение и среднего остаточного ресурса, и гамма-процентного остаточного ресурса.

Численный средний остаточный ресурс до отказа для нечёткой моды – $\tilde{y}_4 = 2{,}876$; а численный гамма-процентный остаточный ресурс – $\tilde{y}_4(0{,}9) = 0{,}539$. При сравнении со значениями, полученными по аналитическим моделям (2,333 и 0,359 соответственно), эти значения существенно увеличились.

На рис. 5 приведены интенсивности отказов (ИнО): 1 – ИнО для аналитической модели; 2 – ИнО для численной модели при нечёткой моде. Графическое представление моделей не совсем совпадают, т.е. нечёткость математического ожидания влияет на эту функцию.

## ВЫВОДЫ

1. В том случае, когда в условиях неопределенности исходных данных не удается однозначно описать наработку как случайную величину, какие-то её параметры могут стать нечеткими. Применительно к треугольному распределению таким параметром предложено считать моду ($t_o$).

2. Нечёткость моды описывается случайной величиной, имеющей равномерное распределение на интервале ($a$, $b$) с известными значениями математического ожидания и коэффициента вариации. Эти числовые характеристики вычисляются экспертно с учётом имеющихся рекомендаций.

3. Нечёткое описание наработки как случайной величины оказывает влияние на гистограмму частот (изменяет закон её распределения), а значит и на показатели надёжности рельсового скрепления.

4. Оценки показателей надёжности существенно меняются при увеличении коэффициента вариации моды. Чтобы получить оценки показателей надёжности рельсовых скреплений с нужной точностью, необходимо использовать метод имитационного моделирования.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Кузнецов В. В. Мониторинг работы скрепления АРС // Путь и путевое хозяйство.– 2015.– № 8.– С. 18–23.
2. Макаров А. В. Оценка состояния конструкции скреплений в пути в зависимости от их деформируемости // Вестник ВНИИЖТ.– 2015.– № 3.– С. 53–57.
3. Максимцев С. В., Начигин В. А., Архипенко Ю. А. Скрепления как основной элемент стабильности верхнего строения // Путь и путевое хозяйство.– 2016.– № 6.– С. 8–12.
4. Петров А. В., Савин А. В., Лебедев А. В. Рельсовые скрепления безбалластовых конструкций пути на экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ» // Путь и путевое хозяйство.– 2015.– № 12.– С. 2–5.
5. Краковский Ю. М., Начигин В. А. Металлические части пути как компоненты его эффективной эксплуатации // VII международная НПК «Транспортная инфраструктура Сибирского региона».– Иркутск, 2016. – Том 1.– С. 482–486.
6. Даваадорж Батбаатар, Каргапольцев С. К. Математический анализ надёжности рельсового скрепления пути при ограниченном объёме данных // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.– 2016.– № 2.– С. 123–128.
7. Байхельт Ф., Франкен П. Надёжность и техническое обслуживание. Математической подход.– М.: Радио и связь, 1988.– 392 с.
8. Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования.– Новосибирск: Наука, 2006.– 228 с.
9. Даваадорж Батбаатар, Краковский Ю. М. Численные алгоритмы вычисления показателей надёжности рельсовых скреплений // Вопросы естествознания.– 2016.– № 2.– С. 9–15.
10. Даваадорж Батбаатар, Краковский Ю. М. Алгоритмическое обеспечение вычисления показателей надёжности рельсовых скреплений // Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Материалы VII всеросс. конф. и XVII школы молодых учёных.– Екатеринбург: УрО РАН, 2016.– С. 34–37.
11. Краковский Ю. М., Нго Зюи До. Вычислительный алгоритм численной оценки параметра потока отказов многокомпонентного оборудования // Вестник ИрГТУ.– 2015.– № 10.– С. 15–20.
12. Краковский Ю. М., Захарова О. А., Нго Зюи До. Численные модели оценки показателей надёжности многокомпонентного оборудования по результатам компьютерного моделирования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.– 2015.– № 4.– С. 66–70.
13. Краковский Ю. М., Нго Зюи До. Численные модели оценки коэффициента оперативной готовности и параметра потока восстановления многокомпонентного оборудования // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.–2016.– № 1.– С. 55–59.




Координаты авторов: **Краковский Ю. М.** – kum@stranzit.ru,
**Даваадорж Батбаатар** – dbbaatar@yahoo.com.

Статья поступила в редакцию 31.10.2016, принята к публикации 15.01.2017.

# FUZZY NUMERICAL PROBABILITY ANALYSIS OF RAIL FASTENINGS RELIABILITY

***Krakovsky, Yuri M.,*** *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia.*
***Davaadorzh, Batbaatar,*** *Ulaanbaatar Railway, Irkutsk State Transport University, Ulaanbaatar, Mongolia.*

## ABSTRACT

As a probabilistic model for calculating reliability of rail fastenings, a triangular distribution with two parameters, the maximum and the most probable, is used. Fuzzy numerical probability analysis with the use of simulation modeling suggests that experts, using statistical and expert information, can numerically estimate the maximum value of the operating time, and for the second value (mode) may offer only the interval of its change. This is the most realistic situation in practical applications in conditions of uncertainty in the initial data. The algorithm of fuzzy analysis, which is approved on the basis of expert information, is proposed.

*Keywords: rail fastenings, reliability indicators, numerical probability analysis, simulation modeling.*

**Background.** *When creating a railway track, various components are used, including rails, sleepers, linings, ballast and roadbed. The connecting elements of this system are rail fastenings. In recent years, in the organization of track facilities, great attention is given to them, which is reflected in various scientific and normative works [1–5].*

*The main task of such intermediate designs is to preserve the geometric parameters of the rail track during transmission and damping of forces from the dynamic impact of rolling stock. At the same time, properties of fastenings should take into account not only the standard operating conditions of the track, but also the negative effects of the transport load with an uneven distribution of forces on the rails while the rolling stock is curving in [4]. Another task of fastening is electrical insulation of rails from the under-rail base to minimize the loss of signals of rail electrical circuits.*

*The type of fastening significantly affects the cost characteristics of construction and operational complexes of the railway track. One of the promising types used on the Ulaanbaatar railway (UBZD) is ARS – elastic unlined threadless fastening with an inseparable anchor bolted to the sleeper. ARS fastenings are supported and constructively developed by MIIT specialists who conduct monitoring at 26 sections of eight railways under different operating conditions [1].*

*From the point of view of reliability theory, rail fastenings can be attributed to non-renewable objects, because in case of failure they cannot be restored (only the main connection nodes can be replaced). And since failures occur for a variety of reasons, the problem arises of determining reliability indicators for rail fastenings under conditions of uncertainty with a small amount of statistical data.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider fuzzy numerical probability analysis of rail fastenings reliability.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, mathematical calculation, evaluation approach, graph construction.*

**Results.**

**Models for calculating reliability indicators**

*In [6], as a probabilistic runtime model for ARS-type fastenings, a triangular distribution is offered*

$$f(t)=\begin{cases}\dfrac{2\cdot t}{t_m\cdot t_0}, & 0<t\le t_0\\[2ex] \dfrac{2(t_m-t)}{t_m\cdot(t_m-t_0)}, & t_0<t<t_m\end{cases}. \qquad (1)$$

*Mathematical expectation for it is:*

$$\bar{t}=\frac{1}{3}(t_m+t_0)\ . \qquad (2)$$

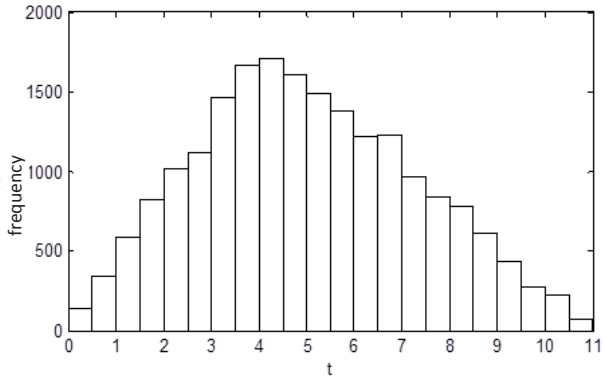
*Experts, having some statistical information, estimate the highest value ($t_m$) and the most probable value ($t_o$), which is called the mode. These parameters are determined on the basis of statistical and expert information available in the literature and regulatory documents.*

*Thus, in [3, 5], the experimental sections of the track are described, which are located on the most complex and cargo-stressed sections. Measurements of the state parameters are carried out according to the method of comparative operational tests of the structures of intermediate rail fastenings. Similar measurements are made on the UBZD in areas with a small radius and heavy traffic.*

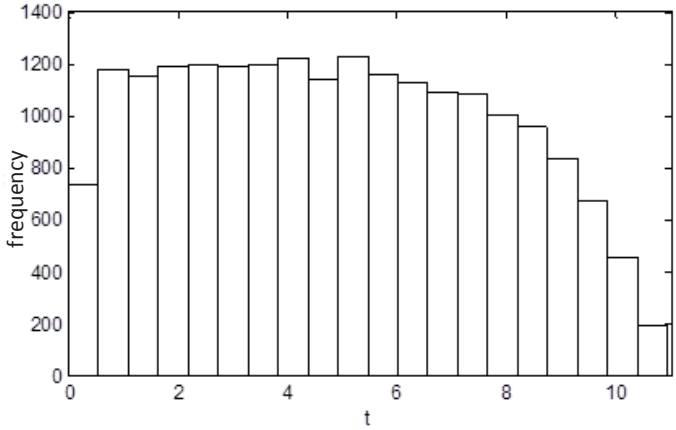
*In our study, the maximum operating time of rail fastening is 550 mln tkm, and the most probable value is 200 mln tkm. As a unit of measurement, 50 mln tkm was taken, this determined the values of the initial data:*

$t_m = 11$ *(550 mln tkm),* $t_o = 4$ *(200 mln tkm).* (3)

*For parameters (3) mathematical expectation (2) is equal to 5.*




***Pic. 1. Frequency histogram for a triangular distribution.***




***Pic. 2. Frequency histogram for operating time, fuzzy probabilistic analysis.***

*It should be emphasized that the described study is methodical in nature and does not pretend to accurately estimate the parameters for operating time of rail fastenings.*

*In [6], analytical expressions for the following reliability indicators were obtained for this distribution:*

*1) probability of failure-free operation (probability that the object will not fail before time t);*

*2) intensity of failures;*

*3) average operating time before failure;*

*4) gamma-percentage resource – the total operating time, during which the object does not reach the limit state with probability γ;*

*5) average residual life to failure;*

*6) gamma-percentage residual resource for the probability γ.*

*The listed indicators are recommended in various sources, for example [7, 8].*

*Numerical algorithms for calculating reliability indicators based on the results of simulation and scientific recommendations [11–13] were obtained in [9, 10] for the triangular distribution of the operating time.*

*For distribution (1), the algorithm for modeling the operating time as a random variable has the form [9]:*

$$t = \begin{cases} \sqrt{t_m \cdot t_0 \cdot r}, \ 0 < r \le \dfrac{t_0}{t_m}; \ 0 < t \le t_0 \\ t_m - \sqrt{t_m (t_m - t_0)(1-r)}, \ \dfrac{t_0}{t_m} < r < 1; \ t_0 < t < t_m. \end{cases} \quad (4)$$

*Here r is a value of pseudo-random quantity, uniformly distributed on the interval (0, 1).*

*Pic. 1 shows the frequency histogram obtained by simulation using formula (4) for parameters (3). A good connection with the triangular distribution (1) is seen.*

**Probability analysis algorithm**

*Fuzzy numerical probability analysis with the use of simulation modeling assumes that experts can numerically estimate the maximum value of the operating time ($t_m$) based on the available statistical and expert information, and only the interval of its variation (a, b) for the second value (mode). This is the most realistic situation in practical applications in conditions of uncertainty in the initial data.*

*And we must proceed from the fact that the operating time mode is a random variable with a uniform distribution and known values of mathematical expectation ($\bar{t}_o$) and coefficient of variation ($k_r$)). The choice of the coefficient of variation is due to the fact that this is a normalized value, which can be changed during the research. The mathematical expectation of the mode is determined by the method of moments from the formula (2) according to the expectation of the operating time chosen by the experts, and the coefficient of variation is assigned expertly.*

*The mathematical expectation ($\bar{t}_o$) of a random variable having a uniform distribution, the coefficient of its variation ($k_r$), and the intervals of variation (a, b) are related by the dependence*

$$a = \bar{t}_o \cdot (1 - \sqrt{3} \cdot k_r); \ b = \bar{t}_o \cdot (1 + \sqrt{3} \cdot k_r). \quad (5)$$

*Algorithm of modeling of values of a random variable is:*

$$t_{qo} = a + (b - a) \cdot r. \quad (6)$$

*The following algorithm (MD) is proposed for fuzzy numerical probability analysis with the use of simulation modeling:*

*1. Knowing the mathematical expectation ($\bar{t}$) of the operating time by the method of moments from the formula (2), we obtain the value of the mathematical expectation of the mode*

$$\bar{t}_o = 3 \cdot \bar{t} - t_m. \quad (7)$$

*2. Knowing the value of the mathematical expectation of the mode (7) as a random variable and the coefficient of its variation ($k_r$), we determine the mode variation range (a, b) by the formula (5).*

*3. Using the formula (6), we determine the selective value of the operating time mode as a random variable ($t_{qo}$).*

*4. Using the formula (4), we determine the selective value of the operating time ($t_q$).*

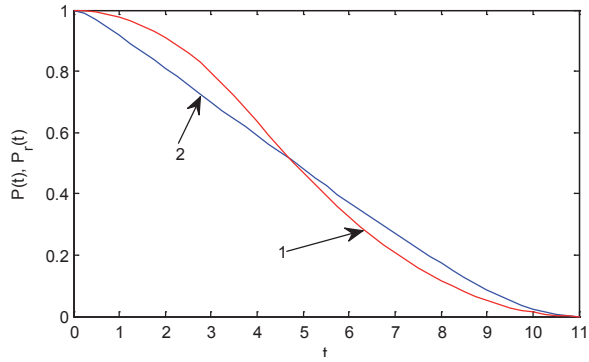
*5. Points 3 and 4 are repeated n times, resulting in the creation of the required sample of operating time of the volume n*

$$T_н = (t_1, \ldots, t_q, \ldots, t_n). \quad (8)$$

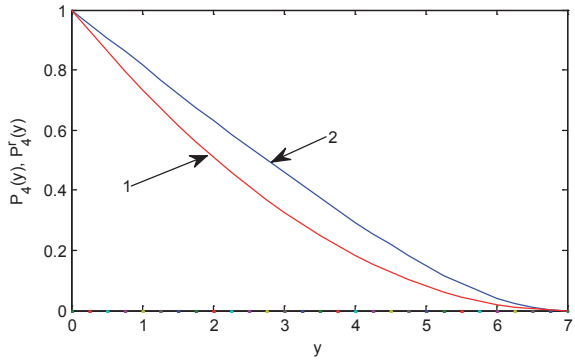
*The sample (8) is processed by special numerical algorithms to obtain the reliability indicators described in [9, 10]. In addition, there is a point estimate of the mathematical expectation of the operating time ($\tilde{t}$) and a confidence interval for the mathematical expectation ($t_1$; $t_2$) [8]:*

$$\tilde{t} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^{n} t_q; \ t_1 = \tilde{t} - \delta; \ t_2 = \tilde{t} + \delta; \quad (9)$$

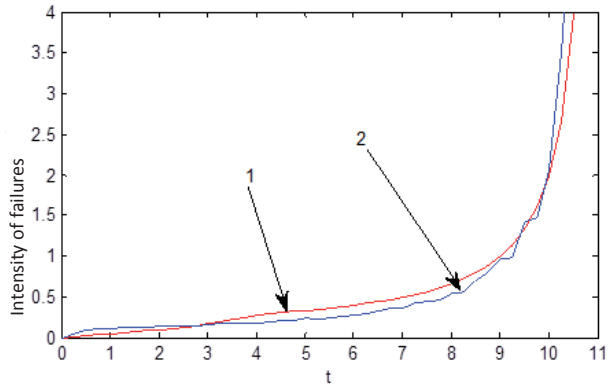
$$\delta = \frac{z_\gamma \cdot s}{\sqrt{n}}; \ s = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n} t_q^2 - n \cdot \tilde{t}^2}{n-1}}, \quad (10)$$




***Pic. 3. Probability of failure-free operation.***




***Pic. 4. Probability of failure-free operation for the remaining resource.***




***Pic. 5. Failure intensity.***

*here $t_\alpha$ means selective values of operating time (8); $z_\gamma$ is the quantile of the normalized normal distribution for the confidence probability $\gamma$, s is the root-mean-square deviation estimate.*

*Pic. 2 shows the frequency histogram obtained as a result of simulation based on the proposed MD algorithm (4–8): $\bar{t} = 5$, $t_m = 11$, sample size n = 20000, coefficient of variation $k_r$ = 0,50, range of the mode change (5) – (0,536; 7,464).*

*This histogram differs significantly from the histogram in Pic. 1, obtained for a triangular distribution, but for a «clear» mode value ($t_o$ = 4).*

*Spot (9) and interval (10) estimates of the operating time for the sample (8) are equal to*

$$\tilde{t} = 4{,}922;\ (t_1;\ t_2) = (4{,}883;\ 4{,}961). \qquad (11)$$

*The mathematical expectation $\bar{t} = 5$ did not fall within the confidence interval (11). This allows us to conclude that the fuzziness of the mode with an increase in the value of its coefficient of variation significantly affects the mathematical expectation of the operating time. Moreover, the fuzziness of the mode has a significant effect on the estimation of the coefficient of variation of the operating time ($\tilde{k}_v$), it increases noticeably: for example, at $k_r$ = 0,15 $\tilde{k}_v$ = 0,485, and at $k_r$ = 0,50 $\tilde{k}_v$ = 0,586; the coefficient of variation for the distribution (1) with the parameters (3) is 0,454.*

***Approbation of the model range***

*Using fuzzy probability analysis, the reliability indicators of rail fastenings are calculated from the numerical algorithms described in [9, 10], taking into account the recommendations [11–13], but the sample (8) for them is determined by the MD algorithm.*

*Pic. 3 shows the probability of failure-free operation (FFOP): 1 – FFOP for the analytical model [6]; 2 – FFOP for the numerical model [9, 10], but for the fuzzy mode by the MD algorithm. The fuzziness of the mode affects this function, and with increasing coefficient of variation it affects it to a greater extent.*

*Numerical mean operating time to failure – $\bar{t}_r = 4{,}923$. This value falls within the confidence interval (11), which confirms the quality of the proposed algorithms.*

*The numerical gamma-percentage resource to failure for the fuzzy mode at $\gamma = 0,9$:*

$$t_r(0,9) = 1,855. \quad (12)$$

*For an analytical model, this value is 2,098. Taking into account (12), the fuzziness of the mode affected the gamma-percentage resource to failure.*

*Pic. 4 shows the probability of failure-free operation for the residual resource (FFOPRR): 1 – FFOPRR for the analytical model [6]; 2 – FFOPRR for the numerical model, but for the fuzzy mode by the MD algorithm. Unclear mathematical expectation affects this function – it is above the theoretical function, so there is a change in the average residual resource, and gamma-percentage residual resource.*

*The numerical average residual resource to failure for a fuzzy mode is* $\tilde{y}_4 = 2,876$; *and the numerical gamma-percentage residual resource is* $\tilde{y}_4(0,9) = 0,539$. *When compared with the values obtained from analytical models (2,333 and 0,359, respectively), these values have increased significantly.*

*Pic. 5 shows the intensity of failures (IF): 1 – IF for the analytical model; 2 – IF for a numerical model with fuzzy mode. Graphical representation of models does not quite match, i.e. fuzziness of the mathematical expectation affects this function.*

**Conclusions.**

*1. In case when it is not possible to unambiguously describe the operating time as a random variable in the conditions of uncertainty of the initial data, some of its parameters may become fuzzy. With regard to triangular distribution, it is suggested to consider this mode ($t_o$) as such a parameter.*

*2. The fuzziness of the mode is described by a random variable having a uniform distribution in the interval (a, b) with known values of the mathematical expectation and the coefficient of variation. These numerical characteristics are calculated expertly, taking into account the available recommendations.*

*3. The fuzzy description of the operating time as a random variable affects the frequency histogram (changes the law of its distribution), and hence the reliability of rail fastening.*

*4. Estimates of reliability indicators change significantly with increasing coefficient of mode variation. To obtain estimates of reliability indicators of rail fastenings with the required accuracy, it is necessary to use the method of simulation.*

## REFERENCES


1. Kuznetsov, V. V. Monitoring the work of ARS fastening [*Monitoring raboty skreplenija ARS*]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2015, Iss. 8, pp. 18–23.

2. Makarov, A. V. Evaluation of the state of the construction of fastenings in the track, depending on their deformability [*Ocenka sostojanija konstrukcii skreplenij v puti v zavisimosti ot ih deformiruemosti*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2015, Iss. 3, pp. 53–57.

3. Maksimtsev, S. V., Nachigin, V. A., Arkhipenko, Yu. A. Fastenings as the main element of stability of the upper structure [*Skreplenija kak osnovnoj element stabil'nosti verhnego stroenija*]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2016, Iss. 6, pp. 8–12.

4. Petrov, A. V., Savin, A. V., Lebedev, A. V., Rail fastenings of ballastless track structures on the experimental ring of JSC VNIIZhT [*Rel'sovye skreplenija besballastovyh konstrukcij puti na eksperimental'nom kol'ce OAO «VNIIZhT»*]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2015, Iss. 12, pp. 2–5.

5. Krakovsky, Yu. M., Nachigin, V. A. Metal parts of the track as components of its effective operation [*Metallicheskie chasti puti kak komponenty ego effektivnoj ekspluatacii*]. *VII International scientific-practical conference «Transport infrastructure of the Siberian region»*. Irkutsk, 2016, Vol. 1, pp. 482–486.

6. Davaadorzh, Batbaatar, Kargapoltsev, S. K. Mathematical analysis of the reliability of rail fastening of the track with limited data volume [*Russian title: Matematicheskij analiz nadezhnosti rel'sovogo skreplenija puti pri ogranichennom ob'eme dannyh*]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*, 2016, Iss. 2, pp. 123–128.

7. Bayhelt, F., Franken, P. Reliability and maintenance. Mathematical approach [*Russian title: Nadezhnost' i tehnicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod. Transl. from English*]. Moscow, Radio i svjaz' publ., 1988, 392 p.

8. Krakovsky, Yu. M. Mathematical and software tools for assessing the technical condition of equipment [*Matematicheskie i programmnye sredstva ocenki tehnicheskogo sostojanija oborudovanija*]. Novosibirsk, Nauka publ., 2006, 228 p.

9. Davaadorzh, Batbaatar, Krakovsky, Yu. M. Numerical algorithms for calculating reliability indicators of rail fastenings [*Chislennye algoritmy vychislenija pokazatelej nadezhnosti rel'sovyh skreplenij*]. *Voprosy estestvoznanija*, 2016, Iss. 2, pp. 9–15.

10. Davaadorzh, Batbaatar, Krakovsky, Yu. M. Algorithmic support of calculating reliability indicators of rail fastenings [*Algoritmicheskoe obespechenie vychislenija pokazatelej nadezhnosti rel'sovyh skreplenij*]. *Safety of Critical Infrastructures and Territories: Proceedings of VII All-Russian conference and XVII school of young scientists.* Yekaterinburg, UrB RAS, 2016, pp. 34–37.

11. Krakovsky, Yu. M., Ngo Zuy Do. Computational algorithm for numerical estimation of the failure flow parameter of multicomponent equipment [*Vychislitel'nyj algoritm chislennoj ocenki parametra potoka otkazov mnogokomponentnogo oborudovanija*]. *Vestnik IrGTU*, 2015, Iss. 10, pp. 15–20.

12. Krakovsky, Yu. M., Zakharova, O. A., Ngo Zuy Do. Numerical models for estimating reliability indicators of multi-component equipment based on the results of computer simulation [*Chislennye modeli ocenki pokazatelej nadezhnosti mnogokomponentnogo oborudovanija po rezul'tatam komp'juternogo modelirovanija*]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*, 2015, Iss. 4, pp. 66–70.

13. Krakovsky, Yu.M., Ngo Zui Do. Numerical models for estimating the operational readiness coefficient and the recovery parameter of multicomponent equipment [*Chislennye modeli ocenki kojefficienta operativnoj gotovnosti i parametra potoka vosstanovlenija mnogokomponentnogo oborudovanija*]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*, 2016, Iss. 1, pp. 55–59.



Information about the authors:
**Krakovsky, Yuri M.** – D.Sc. (Eng), professor the department of Information systems and information protection of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia, kum@stranzit.ru.
**Davaadorzh, Batbaatar** – employee of Ulaanbaatar Railway, Ph.D. student of Irkutsk State Transport University, Ulaanbaatar, Mongolia, dbbaatar@yahoo.com.



Article received 31.10.2016, accepted 15.01.2017.

УДК 656.222.1:911.275

# Социальное значение скорости транспортного сообщения

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.*

**Social Significance of Transportation Speed**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 48)*

***В статье оценивается влияние скорости транспортного сообщения на становление и развитие человеческого общества. Показано, что появление современного скоростного транспорта привело к кардинальным социальным изменениям: ускорению урбанизации, интенсификации межрегиональных и межконтинентальных миграционных потоков, повышению качества жизни. Отмечено, что направления и интенсивность пространственных перемещений людей можно рассматривать как социальный индикатор, агрегирующий индивидуальные представления о привлекательности тех или иных мест жизнедеятельности. Для количественной характеристики пространственно-временной доступности введено понятие «территория изохронной доступности», а для социально-экономических оценок предложено использовать показатели: численность населения, валовой внутренний продукт, объёмы производства услуг на территории изохронной доступности. Дальнейшее ускорение транспортных сообщений предполагает как рост скорости перевозки, так и ликвидацию потерь времени на «стыках» между видами транспорта, чему должно содействовать развитие мультимодальной логистики.***

*Ключевые слова: транспортное сообщение, скорость, общество, человечество, урбанизация, миграция, пространственно-временная доступность, территория изохронной доступности.*

Как отмечено в работе [1], скорость транспортного сообщения является экономической категорией, поскольку она определяет важнейшие составляющие эффективности транспортной деятельности и качества перевозок.

С неменьшим основанием скорость транспортного сообщения может быть названа и категорией социальной.

Прежде чем рассмотреть социальное значение скорости транспортного сообщения, нельзя, однако, не обратить внимания на то, что в результате широкого и не всегда оправданного употребления слово «социальный» не только «все чаще выступает в роли слова «благое» при обозначении всего высоконравственного» [2, с. 197], но и связывается с «распределительной справедливостью», что «несовместимо с конкурентным рыночным порядком, а также ростом и даже поддержанием существующей численности населения и достигнутого уровня богатства», то есть, по сути, «социальное» превращается в «антисоциальное» [2, с. 203]. В связи с этим следует уточнить, на каком понимании общества и «социального» будут базироваться последующие рассуждения.

Автор разделяет взгляд на общество как «объединение индивидов для совместных усилий» по достижению своих целей на основе «сотрудничества и взаимной помощи друг другу», «разделения и соединения труда» [3, с. 135]. Исходя из этого, социальное значение скорости транспортного сообщения заключается в том, что она существенно влияет на возможности индивидов по достижению своих целей на основе взаимодействия с другими людьми, ибо расширяет спектр таких взаимодействий и увеличивает их интенсивность, тем самым способствуя разделению и кооперированию труда, которые являются ключевыми результатами общественного развития и основой повышения благосостояния людей.

Рост скорости транспортных сообщений расширяет пространственные границы человеческих взаимодействий, облегчает их и делает более плодотворными, а значит, расширяет масштаб и повышает эффективность всего комплекса межличностных взаимоотношений, который и «называется обществом» [3, с. 135].

Скорость грузового транспортного сообщения, определяющая объём оборотного капитала, «замораживаемого» в процессе перевозки, имеет прежде всего экономическое значение [4, 5]. При этом для недорогих «массовых» грузов важна не столько скорость сама по себе, сколько гарантированность доставки в заданный срок – «срочность важнее скорости», как сформулировал более ста лет назад профессор В. Мясоедов-Иванов [6, с. 77].

Скорость же пассажирского сообщения, то есть перемещения самих людей, имеет преимущественно социальное значение, но влияет и на экономическое развитие, так как в ходе социального взаимодействия люди преследуют и достигают в том числе и экономические цели.

## РОЛЬ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Само происхождение современного человека в ходе эволюционного процесса, формирование и развитие человеческого общества значимо зависели от скорости перемещения, которую могли иметь наши предки, и расстояний, которые они были способны преодолевать.

По мнению антропологов, около 2 млн лет назад у первобытных людей сформировалось «новое ценное свойство – способность к быстрому и длительному бегу», благодаря чему они смогли преодолевать обширные пространства африканских саванн в поисках пищи и, таким образом, первыми из живых существ приспособились к условиям саванн, ставшим в тот период основным типом ландшафта [7, с. 53]. Ключевое значение приобрело именно сочетание скорости и длительности перемещения: «конкуренты были скорее спринтерами, которые могли делать кратковременные рывки, при этом довольно быстро уставая», поэтому человек «брал верх в тех случаях, когда всё решали поиски добычи на бескрайних просторах саванны» [7, с. 53].

Здесь мы видим важнейший аспект социального значения скорости – взаимосвязь скорости, времени и пространства.

С одной стороны, повышение скорости означает рост возможности пространственного перемещения (преодоления пространства) за определенный отрезок времени – пространство как бы «сжимается», «уплотняется» [8]. С другой стороны, повышение длительности движения с высокой скоростью расширяет границы доступного пространства, а значит, увеличивает количество вариантов использования тех или иных ресурсов и открытия новых полезных возможностей (Это в полной мере проявляется и в современных транспортных сообщениях. Так, для автомобилиста важно не развить максимальную скорость на каком-то участке, а иметь возможность двигаться с высокой средней скоростью достаточно продолжительное время. Для авиационного сообщения важна не только «крейсерская» скорость самолета, но и длительность его беспосадочного полета).

Что же касается обретения новых возможностей по освоению и использованию окружающего пространства нашими предками, то как раз в тот период «наступил переломный момент в эволюции»: рождался новый вид человека – Homo erectus (человек прямоходящий) [7, с. 54]. Эректусы постоянно перемещались в поисках пищи, преодолевая в день, по некоторым оценкам, до 50 километров. Именно представители этого вида не

только освоили всю Африку, но и вышли за её пределы, на просторы Евразии. Тем самым «человек вступил на порог новой эры, которая превратила его в существо глобального, а затем и космического масштаба» [7, с. 79].

В ходе освоения Евразии возникали изолированные очаги эволюции, утратившие контакт с остальным человечеством. Это и синантропы, жившие на территории современного Китая [7, с. 92–97], и относительно недавно открытый на острове Флорес (Индонезия) Homo floresiensis [9, с. 182–200]. Изоляция вела или к крайнему замедлению развития, или к деградации. Такие последствия изоляции характерны не только для ранней истории человечества, но и всех последующих её этапов, включая современный, что свидетельствует о существовании эмпирически подтвержденного закона общественного развития.

Однако тенденции движения и взаимодействия всегда брали верх над застоем и изоляцией. Так было и в ранней истории человечества.

В среднем плейстоцене (геологическая эпоха, начавшаяся приблизительно 400 тысяч лет назад), благодаря росту населения и его подвижности, разобщённость и изоляция человеческих популяций сменилась расширением контактов и сглаживанием межпопуляционных различий [7, с. 98]. В этих процессах можно увидеть первые признаки протоглобализации человечества.

И, наконец, примерно 30–40 тысяч лет назад произошло становление поведенчески современного человека (в отличие от анатомически современного, появившегося раньше), получившее название «революции человека». Среди важнейших проявлений этой революции – «быстрое расширение территории обитания, наличие обмена между разными группами, часто разделенными большими расстояниями, освоение водных пространств» [7, с. 169].

Вот показательный пример, характеризующий масштаб пространственных перемещений людей и материальных благ в ту эпоху, а возможно, свидетельствующий о наличии обмена: «... некоторые каменные изделия, обнаруженные на древнейших верхнепалеолитических стоянках в Костёнках[1], изготовлены из камня, который можно было найти лишь в 100–150 км от стоянки, а ракушки, найденные там, могли быть принесены только с черноморских берегов, расположенных на расстоянии 500 км» [9, с. 371].

Что касается преодоления водных пространств, наиболее впечатляющим примером является мореплавание. Археологические находки свидетельствуют о появлении Homo sapiens на многих островах Южной и Юго-Восточной Азии, отделенных от материка значительными расстояниями, уже более 30 тысяч лет назад [7, с. 191]. А на островах Меланезии, расположенных на западе Тихого океана, было налажено систематическое транспортное сообщение с целью доставки обсидиана – материала для изготовления орудий труда [7, с. 269].

Таким образом, обретённая нашими предками способность к длительным перемещениям с высокой средней скоростью сыграла исключительную роль в биологической и культурной эволюции человека, становлении и развитии общества. Появление первых транспортных средств, водных и сухопутных, не только повысило скорость передвижения, но и сделало доступными для людей новые территории [10].

## ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ СООБЩЕНИЯ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ

Развитие регулярных транспортных сообщений и обмена подготовило переход к оседлой жизни, что стало основой производящего хозяйства [11]. Такое хозяйство могло существовать только при условии достаточно отлаженной транспортировки товаров и, соответственно, появления людей, которые занимаются ею профессионально.

В то же время скорости транспортных сообщений в древности и средневековье были ещё очень низкими [11, 12]. Поэтому поездка на сколько-нибудь значительное расстояние превращалась в настоящее путешествие. Так, в античное время, даже при наличии прекрасных римских дорог, «путешествие из Рима в Неаполь длилось от трёх до пяти дней» [13, с. 318]. Переме-

[1] Комплекс верхнепалеолитических стоянок на территории нынешней Воронежской области, в которых люди обитали более 40 тыс. лет назад в течение длительного времени.

щения на действительно дальние расстояния требовали от нескольких недель до нескольких месяцев. Отправиться в такое путешествие означало надолго оторваться от привычных занятий, что мог позволить себе далеко не каждый. Многие за всю жизнь не покидали окрестности родного города или деревни.

Низкая скорость транспортных сообщений делает поездки не только долгими, но и редкими, резко ограничивая человеческую мобильность. Человек оказывается привязанным к определенному месту, что затрудняет самореализацию, ограничивает социальные связи и позволяет обществу легко «атомизироваться», превратиться в архипелаг из самодостаточных хозяйственных «островков», что и произошло в позднюю римскую эпоху и Средневековье.

В Европе, когда «почти исчезла... великолепная сеть римских дорог» [14, с. 165], путешествия стали ещё более трудными. «Средневековая дорога была удручающе долгой, медленной. <...> Дневные этапы варьировались в зависимости от характера местности от 25 до 60 км» [14, с. 166]. Морское путешествие могло быть существенно более быстрым – при попутном ветре корабль преодолевал до 300 км в сутки. Но «достигнутая волей случая быстрота продвижения могла быть сведена на нет безнадёжными штилями, встречными ветрами и течениями» [14, с. 167].

Ситуация в корне изменилась в XIX веке с появлением парового транспорта. Если «в начале XIX века скорость передвижения была примерно такой же, как и в эпоху эллинизма», то «к началу XX века благодаря паровым локомотивам люди могли путешествовать со скоростью, доходящей до 80 миль в час» [15, с. 411–412]. Если в 1800 году путешествие из Парижа в Санкт-Петербург длилось 20 дней, то в 1900 году оно занимало всего 30 часов [16, с. 567].

«Появление автомобилей, самолетов и космических ракет оставило далеко позади эти достижения не только с точки зрения скорости передвижения, но и с точки зрения расширения пространства, доступного для передвижений, и гибкости выбора транспортных средств» [15, с. 412].

Благодаря этому у людей складывалось совершенно новое, планетарное мироощущение, а это важнейшая составляющая социальной и экономической глобализации [17].

Развитие транспорта в XIX–XX веках, при всё большем повышении скоростей, привело к кардинальным социальным изменениям. Уже появление парового транспорта резко ускорило урбанизацию. Люди избавились от необходимости «селиться рядом с полями, на которых они трудятся изо дня в день, из-за отсутствия другого транспорта, кроме своих ног». Они стали «вольны жить там, где им хочется... по большей части... в городах, куда их манят более обширный рынок труда и различные социальные блага» [18, с. 277]. У них появилось больше возможностей для свободного устройства своей жизни и удовлетворения экономических и социальных потребностей. Но люди не просто перебирались из деревень в близлежащие города. Они в поисках новых шансов для самореализации переселялись в другие регионы и даже иные части света. И не только в города, но и с целью ведения более эффективной сельскохозяйственной деятельности.

Ярким примером является интенсивное освоение Сибири и Дальнего Востока в конце XIX – начале XX века, когда шло строительство Транссибирской железнодорожной магистрали. Туда переселялись миллионы людей, развивалось сельское хозяйство, росли существующие и возникали новые города [19, 20]. Аналогично шло и освоение западных территорий США. «Строительство новых железных дорог, особенно трансконтинентальной, способствовало более активному перемещению на новые земли всех тех, кто мог этого пожелать. В частности, это касается 10 млн новых переселенцев, прибывших в Америку в последней четверти [XIX – Д.М.] века» [21, с. 209].

А благодаря развитию пароходного сообщения интенсифицировались межконтинентальные миграционные потоки. Прежде всего из Европы в Северную Америку и некоторые районы Южной Америки, Австралию, Новую Зеландию и Южную Африку [22, с. 937]. В XX веке направления таких потоков претерпели существенные изменения, но цели и смысл их сохранились.

Направления и интенсивность миграционных потоков и вообще пространственных перемещений – важный социальный индикатор. Точно так, как капитал перемещается в более инвестиционно привлекательные отрасли и регионы, люди перемещаются в те места, которые для них более привлекательны с точки зрения не только заработка, а всего комплекса факторов, определяющих качество жизни, причём и с учётом ожиданий от будущего. Каждый человек при этом руководствуется собственными субъективными оценками, но пространственные перемещения множества людей, будучи социальными процессами, объективизируют эти оценки, как рынок объективизирует множество субъективных оценок полезности и издержек производства того или иного товара в виде равновесной рыночной цены.

И точно так же, как невозможно на основе статистических данных рассчитать «правильные» цены (выявить их под силу только рыночному механизму), невозможно и расчётно соотнести разнообразные социально-экономические характеристики различных регионов, городов и районов и определить, где лучше жить, работать, отдыхать. А направления и интенсивность пространственных перемещений людей, интегрируя многие тысячи, а подчас и миллионы индивидуальных оценок, дают верный ответ на этот вопрос.

Причём речь идёт не только о миграционных потоках, но и ежегодных поездках на отдых, периодических поездках, связанных с обучением, лечением и т.п. Для таких перемещений фактор скорости гораздо более значим, чем для миграционных, поскольку рост скорости существенно расширяет их пространственные границы. Более того, рост скорости способен привести к замещению миграционных поездок на регулярные, в том числе – ежедневные. Если, например, в XIX веке (не говоря уже о более ранних периодах) желание работать или учиться в большом городе, находящемся на расстоянии даже 50–100 километров от места жительства, для своей реализации требовало переселения туда, то современные скоростные, а тем более высокоскоростные средства сообщения позволяют ежедневно совершать такие (и даже более дальние) поездки «в оба конца».

Именно с ростом скорости транспортного сообщения связано, на наш взгляд, возникновение в ряде наиболее развитых стран с середины 1960-х годов тенденции к дезурбанизации, сокращению доли населения, проживающего в крупных городах [23, с. 30]. Это на самом деле означает не «поворот вспять тенденции к урбанизации», а расширение благодаря скоростному транспорту возможностей людей «жить там, где им хочется», работая, как правило, по-прежнему в крупных городах. Прогнозируется, что в будущем место жительства основной массы городского населения ещё более удалится от центра города, а подвижность горожанина возрастет до такой степени, что превратится в «кочевую мобильность» [24, с. 123].

Рост скорости транспортных сообщений сделал возможным формирование ещё одной черты современного, постиндустриального общества. Это «глобализация предоставления услуг и международная конкуренция за клиентов, когда образовательные и лечебные учреждения конкурируют не с соседними школами и больницами и даже не с соответствующими заведениями в своей стране, а во всем мире» [25, с. 10].

Таким образом, если рост скорости и дальности перевозки товаров придаёт глобальный характер конкуренции товаропроизводителей, то рост скорости и дальности пассажирских сообщений глобализирует конкуренцию в сфере важнейших услуг. И то, и другое означает расширение свободы потребительского выбора, способствует росту качества жизни, социальному и экономическому развитию. «Экономическое развитие немыслимо без свободы. Один из аспектов свободы – разнообразие товаров и услуг, которые можно приобрести в экономике, от мелочей до жизненно важных» [26, с. 146–147]. Другой аспект – разнообразие видов деятельности, которыми может заниматься человек, и тех мест, где он может осуществлять свой вид деятельности. То есть налицо расширение реально доступного человеку пространства.

## ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДОСТУПНОСТИ

Выявленное социальное значение повышения скорости транспортного сообщения как инструмента расширения границ пространства, доступного для человека за определённый отрезок времени, требует, во-первых, разработки методов количественной оценки такой пространственно-временн*о*й доступности, а во-вторых, её увеличения на основе опять же повышения скорости транспортных сообщений. Что касается первой из этих задач, то в качестве наиболее общего измерителя пространственно-временной доступности можно рассматривать территорию, в любую точку которой может попасть человек из данной (начальной) точки пространства за время, не превышающее заданное (1 час, 2 часа, 3 часа и т.д.). Другими словами, это территория изохронной транспортной доступности[2] (Наряду с методом изохрон существуют и другие методы оценки доступности. Их анализ является научной проблемой, выходящей за рамки темы статьи).

Понятно, что в пределах заданного времени человек может достичь лишь определённой точки на территории изохронной доступности, а не все возможные точки в совокупности, которые вправе выбрать индивид. И здесь мы переходим из области географии транспорта в область праксеологии – науки о человеческой деятельности, в которой выбор, совершаемый человеком, является одной из определяющих категорий [3, с. 7, 46]. Исходя из интересов человеческой деятельности, пространственно-временная доступность важна не сама по себе, а как инструмент достижения целей индивида во взаимодействии с другими людьми. Человеку, находящемуся среди тайги, вряд ли очень важен доступ к большему лесному пространству. Ему более важен доступ к местам, где он мог бы получить отсутствующие в тайге услуги и впечатления.

Конечно, у каждого человека – свой набор желательных для скорейшего доступа мест и свои приоритеты этой желательности. Но в общем случае, поскольку достижение целей отдельного человека обычно связано с необходимостью взаимодействия с другими людьми и использованием результатов экономической деятельности, для оценки пространственно-временной доступности пригодны такие показатели, как численность населения на территории изохронной доступности (социальная доступность) и валовой продукт этой территории (экономическая доступность).

Отсюда сразу видна разница между географическим и социальным измерением пространственно-временной доступности. Для человека, находящегося, например, в Якутске, даже при равных скоростях транспортных сообщений и соответственно равной территории изохронной доступности социальная и экономическая доступности будут существенно ниже, чем для человека, находящегося в Москве или Санкт-Петербурге. Поэтому высокая скорость транспортных сообщений особенно нужна для регионов с низкой плотностью населения и невысокой интенсивностью экономической деятельности.

С точки зрения потребности в тех или иных видах услуг можно использовать такие показатели пространственно-временной доступности, как объём торговли, медицинских, образовательных и иных услуг на территории изохронной доступности. Опять же для конкретного человека важны не общая численность населения и не общий валовой продукт доступной территории, даже не общие объёмы отдельных видов услуг, а наличие людей, с которыми он мог бы с пользой взаимодействовать, и услуг определённого качества, доступ к которым он хотел бы получить. Конечно, чем больше людей находится на доступном пространстве, чем выше там общий объём производства или объём производства определённого вида услуг, непосредственно интересующих данного субъекта, тем при прочих равных условиях больше у него возможности достичь своих личных целей. Но всё же из этого рассуждения вполне ясна ограниченность использования агрегированных (макросоциальных, макроэкономических) показателей. При том, что они несомненно полезны, эту ограниченность всегда надо иметь в виду, и дополнять анализ агрегированных показателей анализом, основанном на логике

[2] Изохрона транспортной доступности – линия, соединяющая точки равной временн*о*й доступности.

человеческой деятельности, логике индивидуального выбора.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РОСТА СКОРОСТИ

Будем ли мы рассматривать пространственно-временную доступность с точки зрения индивида или, опираясь на агрегированные показатели, для её расширения необходимо повышение скорости транспортных сообщений. Решение этой задачи требует как роста скорости перевозки отдельными видами транспорта, так и ликвидации потерь времени на «стыках» между ними. Ведь любая поездка осуществляется чаще всего с использованием двух или нескольких типов транспортных средств. Поэтому для повышения общей скорости такой поездки нужны выстраивание интермодальной (мультимодальной) процессной логистики и обеспечение соединенности разных видов транспорта или разных перемещений с использованием одного и того же вида. Обеспечение соединенности становится основой так называемого «бесшовного» транспортного сообщения [27, 28].

Что касается маршрутных скоростей на отдельных видах транспорта, они в конце XX века подошли к пределам технико-технологических ограничений [29]. Однако сейчас в качестве ответа на общественный запрос на кардинальное ускорение транспортных сообщений появляются новые технические идеи и решения как в области наземного транспорта (проекты вакуумно-левитационных транспортных систем, способных достигать скорости 1200 км/ч, а в перспективе и выше), так и воздушного (новые сверхзвуковые самолеты, готовые развивать скорость свыше 2300 км/ч, а также идеи футуристических летательных аппаратов с ещё более высокими скоростями).

Особую роль в повышении скоростей транспортных сообщений может сыграть гибридизация транспортных средств [30, 31]. В частности, речь идет о создании моделей, обеспечивающих синергию наземного и воздушного транспорта. Это и разнообразные проекты «летающих автомобилей» (некоторые из них могут быть реализованы в ближайшей перспективе), и находящийся пока в стадии идеи «поезд-самолёт», сочетающий скорость движения летательного аппарата с гибкостью железнодорожного транспорта [31].

Подобные гибридные транспортные средства соединяют разные виды транспорта непосредственно в себе, тем самым эффективно решая проблемы потерь времени на «стыках» между видами и повышая общую скорость транспортных сообщений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, повышение скорости передвижения и расширение благодаря этому размеров доступного пространства

с разнообразными ресурсами и возможностями их использования сыграло очень важную роль в эволюции человечества, формировании и развитии общества. Рост скорости и пространственно-временной доступности способствовали как эмансипации человеческой личности, так и социально-экономической глобализации.

В настоящее время существует серьёзный социально-экономический запрос на дальнейший кардинальный рост скорости транспортных сообщений, в ответ на который разворачивается изобретательская и инновационная деятельность в области высокоскоростных и сверхвысокоскоростных транспортных средств и систем. Реализация таких проектов поможет создать технико-технологическую основу для ещё большей интеграции человечества, с одной стороны, и расширения возможностей для самореализации каждого человека – с другой.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Повышение скоростной эффективности транспортного сообщения на основе непрерывного перемещения товаров и пассажиров // Фундаментальные исследования для долгосрочного развития железнодорожного транспорта: сб. трудов членов и научных партнёров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / Под ред. Б. М. Лапидуса.– М.: Интекст, 2013.– С. 85–94.

2. Хайек Ф. А. фон. Пагубная самонадеянность. Ошибки социализма.– М.: Новости, Catallaxy, 1992.– 304 с.

3. Мизес Л. фон. Человеческая деятельность: трактат по экономической теории.– Челябинск: Социум, 2008.– 878 с.

4. Мандриков М. Е. Эффективность и пути ускорения доставки грузов.– М.: Транспорт, 1974.– 88 с.

5. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Модель и методика макроэкономической оценки товарной массы, находящейся в процессе перевозки // Вестник ВНИИЖТ.– 2011.– № 2. – С. 3–7.

6. Эксплуатация железных дорог. Общие сведения. Краткое изложение лекций профессора Мясоедова-Иванова.– СПб.: Институт путей сообщений Императора Александра I, 1910.– 158 с.

7. Зубов А. А. Колумбы каменного века. Как заселялась наша планета.– М.: АСТ-Пресс, 2012.– 288 с.

8. Мачерет Д. А. Экономическое значение, тенденции и перспективы повышения скоростей движения на железнодорожном транспорте // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД».– 2013.– № 2.– С. 13–23.

9. Марков А. В. Эволюция человека: В 2 кн.– Кн. 1: Обезьяны, кости и гены.– М.: Астрель, CORPUS, 2012.– 464 с.

10. Галахов В. И. Эволюция средств передвижения // Мир транспорта.– 2007.– № 4.– С. 132–141.

11. Мачерет Д. А. Транспортный фактор в эпоху древних цивилизаций // Мир транспорта.– 2014.– № 2. С. 230–241.

12. Мачерет Д. А. Социально-экономическая роль транспорта в средние века // Мир транспорта.– 2015.– № 2.– С. 228–237.

13. Чайлд Г. Расцвет и падение древних цивилизаций. Далекое прошлое человечества.– М.: Центрполиграф, 2012.– 383 с.

14. Ле Гофф Ж. Цивилизация средневекового Запада.– Екатеринбург: У-Фактория, 2007.– 560 с.

15. Камерон Р. Краткая экономическая история мира. От палеолита до наших дней.– М.: Росспэн, 2001.– 544 с.

16. Дэвис Н. История Европы.– М.: АСТ, Транзиткнига, 2004.– 943 с.

17. Мачерет Д. А. Влияние транспорта на предметную среду цивилизации // Мир транспорта.– 2012.– № 6.– С. 4–9.

18. Кларк Г. Прощай, нищета! Краткая экономическая история мира.– М.: Изд-во Института Гайдара, 2012.– 544 с.

19. Мачерет Д. А. Создание сети железных дорог и ускорение развития страны // Мир транспорта.– 2012.– № 4.– С. 184–192.

20. Мачерет Д. А. Экономические записки об отечественных железных дорогах // Отечественные записки.– 2013.– № 3.– С. 162–176.

21. Васильев Л. С. Всеобщая история: В 6 т.– Т. 4: Новое время (XIX в.).– М.: Высшая школа, 2010.– 653 с.

22. Мак-Нил У. Восхождение Запада: История человеческого сообщества.– К.: Ника-Центр, М.: Старклайт, 2004.– 1064 с.

23. Гайдар Е. Т. Долгое время. Россия в мире: очерки экономической истории.– М.: Дело, 2005.– 656 с.

24. Аттали Ж. Краткая история будущего.– СПб.: Питер, 2014.– 288 с.

25. Мау В. А. Между модернизацией и застоем: экономическая политика 2012 года // Вопросы экономики.– 2013.– № 2.– С. 4–23.

26. Койл Д. ВВП: Краткая история, рассказанная с пиететом.– М.: Высшая школа экономики, 2016.– 176 с.

27. Лапидус Б. М. Приоритетные направления железнодорожных исследований в рамках глобальной экономики // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД».– 2013.– № 5.– С. 1–10.

28. Лапидус Б. М., Лапидус Л. В. Гладкая бесшовная транспортная система как инструмент повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта // Экономика железных дорог.– 2016.– № 10.– С. 27–37.

29. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог.– 2016.– № 7.– С. 16–25.

30. Измайкова А. В. Инновации, значимые для железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД».– 2014.– № 3.– С. 53–69.

31. Измайкова А. В. Волны инновационного развития железных дорог // Мир транспорта.– 2015.– № 5.– С. 26–38.




Координаты автора: **Мачерет Д. А.** – macheretda@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 12.01.2017, принята к публикации 15.02.2017.

# SOCIAL SIGNIFICANCE OF TRANSPORTATION SPEED

***Macheret, Dmitry A.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article assesses the influence of speed of transportation on formation and development of human society. It is shown that the emergence of modern high-speed transport has led to cardinal social changes, namely to acceleration of urbanization, intensification of interregional and intercontinental migration flows, improving the quality of life. It is noted that directions and intensity of spatial displacements of people can be regarded as a social indicator aggregating individual ideas about attractiveness of certain places of residence. To quantify the spatial and temporal accessibility, the concept of «territory of isochronous accessibility» was introduced, and for socioeconomic assessments it was suggested to use a set of indicators as population size, gross domestic product, and the volume of production of services within the isochronous availability territory. Further acceleration of transportation speed implies both an increase in speed of transportation by different modes of transport, and elimination of time losses at the «junctions» between them, which should be supported by the development of multimodal logistics.

*Key words: transport communication, speed, society, humanity, urbanization, migration, space-time accessibility, territory of isochronous accessibility.*

**Background.** *As noted in [1], the speed of transportation is an economic category, as it determines the most important components of efficiency of transport activities and the quality of transportation.*

*With no less reason the speed of transportation can be called a social category.*

*Before we consider the social significance of speed of transportation, one cannot, however, ignore the fact that, as a result of widespread and not always justifiable use, the word «social» not only «increasingly appears in the role of the word «good» in the designation of all high moral» [2, p. 197], but is also associated with «distributive justice» that «is incompatible with the competitive market order, as well as the growth and even maintenance of existing population and the level of wealth achieved», that is, in fact, the «social» turns into an «antisocial» [2, p. 203]. In this regard, it should be clarified on what understanding of society and the «social» the following considerations will be based.*

*The author shares the approach to definition of society as of «unification of individuals for joint efforts» to achieve their goals on the basis of «cooperation and mutual assistance to each other», «division and union of labor» [3, p. 135]. Proceeding from this, the social significance of speed of transportation lies in the fact that it significantly affects the ability of individuals to achieve their goals through interaction with other people, because it expands the range of such interactions and increases their intensity, thereby contributing to division and cooperation of labor that are the key results of social development and the basis for improving people's well-being.*

*The growth of speed of transport links expands the spatial boundaries of human interactions, facilitates them and makes them more fruitful, which means that they expand the scale and increase the effectiveness of the whole complex of interpersonal relationships, which is called «society» [3, p. 135].*

*The speed of freight traffic, which determines the amount of working capital that is «frozen» during transportation, has primarily economic importance [4, 5]. At the same time, for inexpensive «mass» cargoes, it is not so much speed that is important in itself as the guarantee of delivery in a given time period: «urgency is more important than speed», as professor V. Myasoyedov-Ivanov formulated more than a hundred years ago [6, p. 77].*

*The speed of passenger traffic, that is, movement of people themselves, has a predominantly social significance, but it also affects economic development, because in the course of social interaction people pursue and achieve, among other things, economic goals.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider social significance of speed of transportation.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, historical-retrospective method, scientific description, comparative analysis.*

**Results.**

**The role of speed of movement in human evolution**

*The very origin of modern man in the course of the evolutionary process, formation and development of human society significantly depended on speed of movement that our ancestors could have, and the distances they were able to overcome.*

*According to anthropologists, about 2 million years ago primitive people formed a «new valuable property – ability to run fast and long», so they were able to overcome the vast expanses of the African savannah in search of food and, thus, the first of the living beings, to adapt to the conditions of savannah, which at that time became the main type of landscape [7, p. 53]. Of key importance was combination of speed and duration of movement: «competitors were more like sprinters who could do short-term jerks, while quickly getting tired», so the man «took the upper hand in those cases when everyone decided to search for prey in the vast expanses of savannah» [7, p. 53].*

*Here we see the most important aspect of the social significance of speed which is interrelation of speed, time and space.*

*On the one hand, the increase in speed means an increase in the possibility of spatial movement (overcoming space) over a certain period of time – the space is «compressed», «compacted» [8]. On the other hand, increased duration of movement at a high speed expands the boundaries of available space, and therefore increases the number of options for using particular resources and opening new useful opportunities. (This is fully manifested in modern transportation, as for example, for a motorist it is important not to develop the maximum speed in any area, but to be able to move at a high average speed for a long time. For air flights, not only the «cruising» speed of an airplane is important, but also the duration of its non-stop flight).*

*As for acquisition of new opportunities for development and use of the surrounding space by*

our ancestors, then at that time a «turning point in evolution» came: a new kind of man was born – homo erectus (right-browing man) [7, p. 54]. Erectus moved constantly in search of food, overcoming during the day, according to some estimates, up to 50 kilometers. The representatives of this species not only mastered all of Africa, but also went beyond it, into the expanses of Eurasia. Thus, «a man entered the threshold of a new era, which turned him into a being of global, and then of a cosmic scale» [7, p. 79].

During the development of Eurasia, isolated centers of evolution emerged that lost contact with the rest of humanity. These are the Sinanthropus who lived on the territory of modern China [7, p. 92–97], and relatively recently discovered on the island of Flores (Indonesia) Homo floresiensis [9, p. 182–200]. Isolation led either to an extreme slowdown in development, or to degradation. Such consequences of isolation are characteristic not only of the early history of mankind, but also of all its subsequent stages, including the modern one, which testifies to the existence of an empirically confirmed law of social development.

However, the trends of movement and interaction have always prevailed over stagnation and isolation. So it was in the early history of mankind.

In the Middle Pleistocene (a geological epoch that began about 400 000 years ago), due to the population growth and its mobility, the disunity and isolation of human populations was replaced by the expansion of contacts and the smoothing of interpopulation differences [7, p. 98]. In these processes, you can see the first signs of the proto-globalization of mankind.

And, finally, about 30–40 thousand years ago, the formation of a behaviorally modern man (unlike the anatomically modern one that appeared earlier), which became known as the «human revolution», occurred. Among the most important manifestations of this revolution was the «rapid expansion of the habitat, the exchange between different groups, often separated by large distances, the development of water spaces» [7, p. 169].

Here is an illustrative example that characterizes the scale of spatial displacements of people and material goods in that era, and perhaps evidences the existence of an exchange: «... some stone products found at the oldest Upper Paleolithic sites in Kostenki[1] were made of stone, which could be found only 100–150 km away from the place of stay, and the shells found there could be brought only from the Black Sea coast, located at a distance of 500 km» [9, p. 371].

As for overcoming of water spaces, the most impressive example is seafaring. Archaeological finds attest to the appearance of Homo sapiens on many islands of South and South-East Asia, separated from the mainland by considerable distances, more than 30 thousand years ago [7, p. 191]. And on the islands of Melanesia, located in the west of the Pacific Ocean, systematic communication was established with the purpose of delivering obsidian – material for the manufacture of tools [7, p. 269].

Thus, ability for long movements with high average speed acquired by our ancestors played an exceptional role in the biological and cultural evolution of man, formation and development of society. The appearance of the first water and land vehicles not only increased the speed of movement, but also made new territories accessible to people [10].

**The value of speed of transportation for social development**

The development of regular transport links and exchange prepared a transition to sedentary life, which became the basis of the producing economy [11]. Such an economy could exist only under the condition of sufficiently smooth transportation of goods and, accordingly, the appearance of people who are engaged in it professionally.

At the same time, the speed of transportation in antiquity and the Middle Ages was still very low [11, 12]. Therefore, the journey to some significant distance turned into a real journey. Thus, in ancient times, even with the presence of beautiful Roman roads, «the journey from Rome to Naples lasted from three to five days» [13, p. 318]. Movement to really long distances required several weeks to several months. Engaging into such trip meant that one should abandon for a long time his usual occupations, that not everyone could afford. Many people in their entire lives did not leave the neighborhood of their native city or village.

The low speed of transport links makes trips not only long, but also rare, severely limiting human mobility. A person finds himself tied to a specific place, which complicates self-realization, restricts social ties and allows society to «atomize» easily, to become an archipelago of self-sufficient economic «islets», as it happened in the late Roman era and the Middle Ages.

In Europe, when «a great network of Roman roads» almost disappeared [14, p. 165], travel became even more difficult. «The medieval road was depressingly long, slow. <...> The daily stages varied according to the nature of the terrain from 25 to 60 km» [14, p. 166]. Sea voyage could be much faster – with a fair wind the ship crossed up to 300 km per day. But «the rapidity of progress achieved by the will of chance could be brought to nothing by dead calm, headwinds and currents» [14, p. 167].

The situation radically changed in 19th century with the advent of steam transport. If «at the beginning of 19th century the speed of movement was about the same as in the Hellenistic era», «by the beginning of 20th century, thanks to steam locomotives, people could travel at a speed of up to 80 miles per hour» [15, pp. 411–412]. If in 1800 the journey from Paris to St. Petersburg lasted 20 days, then in 1900 it took only 30 hours [16, p. 567].

«The advent of cars, airplanes and space rockets left these achievements far behind, not only in terms of speed of movement, but also in terms of expanding the space available for movement and flexibility of selecting vehicles» [15, p. 412].

Thanks to this, people had a completely new, planetary worldview, and this is the most important component of social and economic globalization [17].

The development of transport in 19th and 20th centuries, with ever increasing speed, led to drastic social changes. The emergence of steam transport has sharply accelerated urbanization. People got rid of the need to «settle next to the fields on which they work day in and day out, because of the lack of other transport, except their own feet». They became «free to live where they want ... for the most part ... in cities, where they are attracted by a broader labor market and various social benefits» [18, p. 277]. They had more opportunities to freely organize their lives and meet economic and social needs. But people did not just move from villages to nearby cities. They, in

[1] A complex of Upper Paleolithic sites in the territory of the present Voronezh region, where people had lived more than 40 thousand years ago for a long time.

*search of new chances for self-realization, moved to other regions and even other parts of the world. And not only to cities, but also with a view to conducting more efficient agricultural activities.*

*A vivid example is intensive development of Siberia and the Far East in the late 19th – early 20th century, when the construction of the Trans-Siberian Railway was underway. Millions of people moved there, agriculture developed, existing ones grew up and new cities arose [19, 20]. Similarly, the development of the western territories of the United States was going on. «The construction of new railways, especially the transcontinental railways, facilitated a more active relocation to new lands of all those who could wish for it. In particular, this applies to 10 million new settlers who arrived in America in the last quarter [fo 19th century– D.M.] century» [21, p. 209].*

*And thanks to the development of steamship communication, intercontinental migratory flows intensified. First of all, from Europe to North America and parts of South America, Australia, New Zealand and South Africa [22, p. 937]. In 20th century, the vectors of such flows have undergone significant changes, but the goals and their meaning have been preserved.*

*Directions and intensity of migration flows and, in general, spatial displacements are an important social indicator. Just as capital moves to more investment-attractive industries and regions, people move to places that are more attractive to them from the point of view of not only earnings, but the whole complex of factors that determine the quality of life, and taking into account expectations for the future. Everyone is guided by their own subjective assessments, but the spatial movements of many people, being social processes, objectify these estimates, as the market objectifies a lot of subjective assessments of the utility and production costs of a product in the form of a fair market value.*

*And just as it is impossible to calculate the «right» prices based on statistical data (it is impossible to determine them only by a market mechanism), it is impossible also to correlate computationally various social and economic characteristics of different regions, cities and regions and determine where it is better to live, work, relax. And the directions and intensity of spatial movements of people, integrating many thosand, and sometines million individual assessments, give the correct answer to this question.*

*And we are talking not only about migration flows, but also about annual vacation trips, periodic trips related to training, treatment, etc. For such displacements, the speed factor is much more significant than for migration ones, since the speed growth substantially expands their spatial boundaries. Moreover, the speed growth can lead to replacement of migration trips to regular, including daily ones. If, for example, in 19th century (not to mention earlier periods) the desire to work or study in a big city located at a distance of even 50–100 kilometers from the place of residence, required «full-time» migration there, then modern speed, and particularly high-speed transport vehicles allow to make daily (and even more distant) «round trips».*

*It is with the growth of the speed of transport links that, in our opinion, the emergence of a trend towards de-urbanization in a number of the most developed countries, a reduction in the proportion of the population living in large cities is associated [23, p. 30]. This does not in fact mean «reversing the trend towards urbanization», but the expansion through the rapid transport of people's opportunities to «live where they want», working, as a rule, still in large cities. It is predicted that in the future the residence of the bulk of the urban population will move even further away from the city center, and the mobility of the townspeople will increase to such a degree that it will turn into «nomadic mobility» [24, p. 123].*

*The growth of speed of transportation made it possible to form one more feature of a modern, postindustrial society. This is «globalization of provision of services and international competition for clients, when educational and medical institutions compete not with neighboring schools and hospitals and not even with relevant institutions in their country, but throughout the world» [25, p. 10].*

*Thus, if the growth in speed and range of transportation of goods gives a global character to competition of commodity producers, then the growth in speed and range of passenger transportation will globalize competition in the sphere of essential services. Both of them mean expansion of freedom of consumer choice, contributes to the growth of the quality of life, social and economic development. «Economic development is unthinkable without freedom. One aspect of freedom is the diversity of goods and services that can be acquired in the economy, from small things to vital ones» [26, p. 146–147]. Another aspect is the variety of activities that a person can do and where he can carry out his activity. That is, there is an expansion of a really accessible space.*

**Estimation of space-time accessibility**

*The revealed social significance of increasing speed of transportation as a tool for expanding the boundaries of space accessible to a person for a certain period of time requires, firstly, development of methods for quantifying such space-time accessibility, and secondly, increasing it on the basis of a speed increase of transport vehicles. As for the first of these problems, as the most common measure of space-time accessibility, one can consider a territory to any point of which a person can get from a given (initial) point of space within a time not exceeding a given (1 hour, 2 hours, 3 hours etc.). In other words, this is the territory of isochronous transport accessibility[2]. (Along with the isochron method, there are other methods for assessing accessibility, their analysis is a scientific problem that goes beyond the topic of the article).*

*It is clear that within a given time a person can reach only a certain point on the territory of isochronous accessibility, and not all possible points in the aggregate that an individual has the right to choose. And here we go from the field of transport geography to the field of praxeology – the science of human activity, in which the choice made by man is one of the dominant categories [3, p. 7, 46]. Proceeding from the interests of human activity, space-time accessibility is not important in itself, but as an instrument for achieving the individual's goals in interaction with other people. For a person located in the taiga access to a larger forest area is unlikely to be very important. Access to places where he could get services and impressions missing in the taiga is more important for him.*

*Of course, each person has his own set of desirable places for quick access and his priorities for this desirability. But in general, since the achievement*

[2] Isochron of transport accessibility is a line connecting the points of equal temporary accessibility.

*of individual goals is usually associated with the need to interact with other people and to use the results of economic activity, indicators such as the population size in the territory of isochronous accessibility (social accessibility) and the gross product of this territory (economic accessibility) are suitable for assessing the spatial and temporal availability.*

*From here at once one can see the difference between the geographical and social dimension of space-time accessibility. For a person located, for example, in Yakutsk, even with equal speeds of transport communications and accordingly equal territory of isochronous accessibility, social and economic accessibility will be significantly lower than for a person in Moscow or St. Petersburg. Therefore, high speed of transportation is especially needed for regions with low population density and low intensity of economic activity.*

*From the point of view of the need for certain types of services, it is possible to use such indicators of space-time accessibility as the volume of trade, medical, educational and other services on the territory of isochronous accessibility. Again, for a particular person, it is not the total population and not the total gross product of the accessible territory that is important, not even the total volumes of certain types of services, but the availability of people with whom he could profitably interact and services of a certain quality, access to which he would like to get. Of course, the more people are in accessible space, the higher is the total volume of production or the volume of production of a certain type of services, which this subject is directly interested in, the other things being equal, he has more opportunity to achieve his personal goals. But still from this reasoning the limited use of aggregated (macrosocial, macroeconomic) indicators is quite clear. While they are undoubtedly useful, this limitation must always be borne in mind, and the analysis of aggregated indicators must be supplemented by analysis based on the logic of human activity, the logic of individual choice.*

**Prospects for further growth in speed**

*Whether we consider the space-time accessibility from the point of view of the individual or relying on aggregated indicators, to increase it, in any case speed of transportation must be increased. The solution of this problem requires both an increase in speed of transportation by certain types of transport, and elimination of time losses at the «junctions» between them. After all, any trip is carried out most often using two or more types of vehicles. Therefore, to increase the overall speed of such a trip, it is necessary to build intermodal (multimodal) process logistics and to ensure the connectivity of different modes of transport or different displacements using the same modes. The provision of connectivity becomes the basis of the so-called «seamless» transportation [27, 28].*

*As for mean route speeds achieved by certain modes of transport, they reached the limits of technical and technological restrictions at the end of 20th century [29]. However, now, as a response to the public request for cardinal acceleration of transport links, new technical ideas and solutions appear both in the field of land transport (projects of vacuum-levitation transport systems capable of reaching speed of 1 200 km / h, and even higher in the future) and air transport (new supersonic aircraft ready to accelerate over 2300 km / h, as well as the idea of futuristic aircrafts with even higher speeds).*

*Hybridization of vehicles can play a special role in increasing the speed of transport communication [30, 31]. In particular, we are talking about creating models that provide the synergy of land and air transport. They include a variety of projects of «flying cars» (some of them can be implemented in the short term), and (though it is still at the stage of idea) of a «train-plane», combining the speed of the aircraft with the flexibility of rail transport [31].*

*Such hybrid vehicles connect different modes of transport directly in themselves, thereby effectively solving the problems of time loss at the «junctions» between modes of transport and increasing the overall speed of transportation.*

**Conclusion.** *Thus, increasing the speed of movement followed by expanding the size of the available space with various resources and the possibilities of using them has played a very important role in the evolution of mankind, the formation and development of society. The growth of speed and space-time accessibility contributed both to the emancipation of the human personality and to social and economic globalization.*

*At present, there is a serious social and economic request for further cardinal growth of speed of transportation, in response to which the inventive and innovative activities in the field of high-speed and ultra-high-speed vehicles and systems are developed. The implementation of such projects will help to create a technical and technological basis for an even greater integration of mankind, on the one hand, and the expansion of opportunities for the self-realization of each person, on the other.*

## REFERENCES


1. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Increase of high-speed efficiency of transport communication on the basis of continuous movement of goods and passengers [*Povyshenie skorostnoj effektivnosti transportnogo soobshhenija na osnove nepreryvnogo peremeshhenija tovarov i passazhirov*]. Fundamental research for long-term development of railway transport: collection of works of members and scientific partners of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways [*Fundamental'nye issledovanija dlja dolgosrochnogo razvitija zheleznodorozhnogo transporta: sb. trudov chlenov i nauchnyh partnerov Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD»*]. Ed. by B. M. Lapidus. Moscow, Intext publ., 2013, pp. 85–94.

2. Hayek, F. A. von. The Fatal Conceit: The Errors of Socialism [*The Russian title: Pagubnaja samonadejannost'. Oshibki socializma*]. Moscow, Novosti, Catallaxy publ., 1992, 304 p.

3. Mises, L. von. Human action: a treatise on economics [*Chelovecheskaja dejatel'nost': traktat po ekonomicheskoj teorii*]. Cheljabinsk, Socium publ., 2008, 878 p.

4. Mandrikov, M. E. Efficiency and ways to accelerate the delivery of goods [*Effektivnost' i puti uskorenija dostavki gruzov*]. Moscow, Transport publ., 1974, 88 p.

5. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. The model and methodology of the macroeconomic assessment of the commodity mass in the process of transportation [*Model' i metodika makroekonomicheskoj ocenki tovarnoj massy, nahodjashhejsja v processe perevozki*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2011, Iss. 2, pp. 3–7.

6. Exploitation of railways. General information. A summary of the lectures of Professor Myasoedov-Ivanov [*Ekspluatacija zheleznyh dorog. Obshhie svedenija. Kratkoe izlozhenie lekcij professora Mjasoedova-Ivanova*]. St. Petersburg, Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport University, 1910, 158 p.

7. Zubov, A. A. Columbus of the Stone Age. How our planet was inhabited [*Kolumby kamennogo veka. Kak zaseljalas' nasha planeta*]. Moscow, AST-Press publ., 2012, 288 p.

8. Macheret, D. A. Economic significance, trends and prospects of increasing speed of movement on rail transport [*Ekonomicheskoe znachenie, tendencii i perspektivy povyshenija skorostej dvizhenija na zheleznodorozhnom transporte*]. *Bjulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD»*, 2013, Iss. 2, pp. 13–23.

9. Markov, A. V. Evolution of a man: In 2 books. Book 1: Monkeys, bones and genes [*Evoljucija cheloveka: V 2 kn. Kn. 1: Obez'jany, kosti i geny*]. Moscow, Astrel', CORPUS publ., 2012, 464 p.

10. Galahov, V. I. Evolution of means of travel. *World of Transport and Transportation*, Vol. 5, 2007, Iss. 4, pp. 132–141.

11. Macheret, D. A. Transport factor in the ear of ancient civilizations. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 2, pp. 230–241.

12. Macheret, D. A. Socio-economic role of transport in the Middle Ages. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 2, pp. 228–237.

13. Childe, V. G. The flourishing and fall of ancient civilizations. The distant past of mankind [*English title: What happened in history. Russian title: Rascvet i padenie drevnih civilizacij. Dalekoe proshloe chelovechestva*]. Moscow, Centrpoligraf publ., 2012, 383 p.

14. Goff, J. le. Civilization of the medieval West [*English title: Medieval Civilization 400–1500. Russian title: Civilizatsija srednevekovogo Zapada*]. Yekaterinburg, U-Faktoriya publ., 2007, 560 p.

15. Cameron, R. A Concise Economic History of the World: From Paleolithic Times to the Present [*Kratkaja ekonomicheskaja istorija mira. Ot paleolita do nashih dnej*]. Moscow, Rosspen publ., 2001, 544 p.

16. Davies, N. Europe: A History [*Istorija Evropy*]. Moscow, AST, Tranzitkniga publ., 2004, 943 p.

17. Macheret, D. A. The influence of transportation on object environment of civilization. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 6, pp. 4–9.

18. Clark, G. A Farewell to Alms. A Brief Economic History of the World [*Proshhaj, nishheta! Kratkaja ekonomicheskaja istorija mira*]. Moscow, Publishing House of Gaidar Institute, 2012, 544 p.

19. Macheret, D. A. Creation of railway network and acceleration of development of Russia. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 4, pp. 184–192.

20. Macheret, D. A. Economic notes on domestic railways [*Ekonomicheskie zapiski ob otechestvennyh zheleznyh dorogah*]. *Otechestvennye zapiski*, 2013, Iss. 3, pp. 162–176.

21. Vasiliev, L. S. General history: In 6 volumes. Vol. 4: New time (19th century.) [*Vseobshhaja istorija: V 6 t.– T. 4: Novoe vremja (XIX v.)*]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 2010, 653 p.

22. McNeill, W. The Rise of the West: A History of the Human Community [*Voshozhdenie Zapada: Istorija chelovecheskogo soobshhestva*]. K.: Nika-Centr, Moscow, Starklajt publ., 2004, 1064 p.

23. Gaydar, E. T. Long time. Russia in the world: essays of economic history [*Dolgoe vremja. Rossija v mire: ocherki ekonomicheskoj istorii*]. Moscow, Delo publ., 2005, 656 p.

24. Attali, J. A Brief History of the Future [*Kratkaja istorija budushhego*]. St.Peterburg, Piter publ., 2014, 288 p.

25. Mau, V. A. Between modernization and stagnation: the economic policy of 2012 [*Mezhdu modernizaciej i zastoem: ekonomicheskaja politika 2012 goda*]. *Voprosy ekonomiki*, 2013, Iss. 2, pp. 4–23.

26. Coyle, D. GDP: A Brief but Affectionate History [*VVP: Kratkaja istorija, rasskazannaja s pietetom*]. Moscow, Higher School of Economics, 2016, 176 p.

27. Lapidus, B. M. Priority directions of railway research in the global economy [*Prioritetnye napravlenija zheleznodorozhnyh issledovanij v ramkah global'noj ekonomiki*]. *Bjulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD»*, 2013, Iss. 5, pp. 1–10.

28. Lapidus, B. M., Lapidus, L. V. Smooth, seamless transport system as a tool to improve the competitiveness of rail transport [*Gladkaja besshovnaja transportnaja sistema kak instrument povyshenija konkurentosposobnosti zheleznodorozhnogo transporta*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2016, Iss. 10, pp. 27–37.

29. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Methodology of evaluation and ensuring the efficiency of innovative transport systems [*Metodologija ocenki i obespechenija effektivnosti innovacionnyh transportnyh system*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2016, Iss. 7, pp. 16–25.

30. Izmaikova, A. V. Innovations, significant for rail transport [*Innovacii, znachimye dlja zheleznodorozhnogo transporta*]. *Bjulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD»*, 2014, Iss. 3, pp. 53–69.

31. Izmaikova, A. A. Waves of railway innovative development. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 5, pp. 26–38. ●



Information about the author:
**Macheret, Dmitry A.** – D.Sc. (Economics), professor, head of department of Economy of construction business and property management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.


Article received 12.01.2017, accepted 15.02.2017.

# МОСКВА – ОБЛАДАТЕЛЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПРЕМИИ GLOBAL PUBLIC TRANSPORT AWARDS 2017

**Москва стала обладателем мировой транспортной премии Международного союза общественного транспорта (UITP). Награждение команды правительства Москвы состоялось 17 мая 2017 года в Монреале (Канада).**

Премию «Особое признание» Москва получила за достижения в развитии городского транспорта и транспортной инфраструктуры за последние шесть лет.

Подведение итогов Global Public Transport Awards состоялось в рамках 62-го Всемирного саммита общественного транспорта, который прошел с 15 по 17 мая 2017 года в Монреале. В 2017 году на премию были номинированы городские проекты, реализованные за два последних года. Всего на участие в конкурсе было подано 230 заявок, из них 24 прошли в финал. Жюри решило наградить Москву единой премией сразу за несколько проектов, которые признали лучшими. Эксперты назвали результаты развития общественного транспорта в столице одними из лучших в мире.

«В этом году награда «Особое признание», в отличие от остальных номинаций, вручается не проекту, а городу за комплекс транспортных проектов. Им впервые стала Москва, которая доказала, что в последние годы полностью изменила подход к развитию городского транспорта. Нам продемонстрировали огромные достижения – создание современного парковочного пространства, запуск пассажирской железнодорожной инфраструктуры МЦК, а также общую стратегию развития транспорта Москвы», – рассказал генеральный секретарь Международного союза общественного транспорта (UITP) Алан Флауш.



● МИР ТРАНСПОРТА, том 15, № 3, С. 53–55 (2017)

«Ни один мегаполис не может сегодня показать подобный масштаб положительных изменений в сфере транспорта за такой короткий срок... В Монреале мы продемонстрировали комплексный подход к развитию общественного транспорта, а также МЦК и другие достижения. Эти проекты впервые отмечены столь высоко Международным союзом общественного транспорта», – рассказал заместитель мэра Москвы по вопросам транспорта, руководитель департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры Максим Ликсутов.

Эксперты отметили важные преобразования в столице, которые были реализованы за последние шесть лет. Так, особое внимание было уделено главному проекту в сфере развития городского транспорта России и Европы за последние несколько лет – Московскому центральному кольцу (МЦК). Ежедневный пассажиропоток здесь составляет порядка 350 тысяч человек, уже сейчас МЦК перевезло более 62 миллионов пассажиров.

Также за эти годы на 75 процентов обновили парк городского наземного перевозчика «Мосгортранс» – было закуплено 5660 автобусов, 529 троллейбусов и 191 трамвай. А для Московского метрополитена приобрели 1600 современных вагонов.

Ещё одним из важных достижений стало увеличение скорости движения транспорта. За шесть лет она выросла на 13 процентов. При этом количество ДТП сократилось на 46 процентов. На улучшение дорожной ситуации, в частности, оказало влияние развитие парковочного пространства.

Справочно: UITP – международная некоммерческая ассоциация, объединяющая весь сектор общественного транспорта и все его виды. Это одна из старейших общественных организаций – она основана в 1885 году. В состав UITP входят участники из более чем 90 стран, среди которых Швеция, Австрия, США, Франция, Италия, Бразилия и другие. Штаб-квартира UITP находится в Брюсселе. Раз в два года UITP проводит Всемирный транспортный форум и выставку, где собираются транспортники со всего мира. Участники саммита узнают о новых технологиях на рынке общественного транспорта, обсуждают актуальные вопросы с мировыми экспертами и определяют новые возможности для бизнеса.

**По сообщению официального сайта мэра Москвы https://www.mos.ru/news/item/24171073/** ●

# MOSCOW HAS GOT ONE OF GLOBAL PUBLIC TRANSPORT AWARDS 2017

**Moscow got one of Global Public Transport Awards of the International Union of Public Transport (UITP). Awarding the team of the Government of Moscow took place on May 17, 2017 in Montreal (Canada).**

The Special Recognition award was handed to Moscow for achievements in development of urban transport and transport infrastructure over the past six years.

Handing of the Global Public Transport Awards took place within the framework of the 62nd Global Public Transport Summit, which was held from 15 to 17 May 2017 in Montreal. To be nominated for Awards, projects must have been implemented between 2015–2017. An international jury selected the 24 finalists from over 230 applications. The jury decided to award Moscow with a single award for several projects that were recognized as the best. The experts called the results of the development of public transport in the capital city among the best in the world.

«This year, the «Special Recognition» award, unlike other nominations, is awarded not to the project, but to the city for the successful implementation of Moscow's ambitious and integrated urban transport strategy. For the first time, Moscow became the winner, thus proving that in recent years it has completely changed the approach to development of urban transport. We were shown tremendous achievements – the creation of a unified parking space, completion of the Moscow Central Circle, as well as the overall strategy for development of Moscow's transport», said Alan Flausch, Secretary General of the International Union of Public Transport (UITP).

«No metropolis can show such a scale of positive changes in transport in such a short time ... In Montreal we demonstrated an integrated approach to development of public transport, as well as MCC and other achievements. These projects were first noted so highly by the International Union of Public Transport», said Maxim Liksutov, Deputy Mayor of Moscow for Transport, Head of the Department for Transport and Development of Road Infrastructure of Moscow.

Experts noted the important transformations in the capital city, which have been implemented over the past six years. So, special attention was paid to the main project in the field of urban transport development in Russia and Europe over the last few years – the Moscow Central Circle (MCC). The daily passenger traffic here is about 350 thousand people, by now MCC has transported more than 62 million passengers.

Also over the years, the fleet of the city land carrier Mosgortrans has been renewed by 75 percent – 5660 buses, 529 trolleybuses and 191 trams have been purchased. And Moscow Metro has purchased 1600 modern coaches.

Another important achievement was the increase in speed of traffic. For six years, it has grown by 13 percent. At the same time, the number of road accidents has decreased by 46 percent. The improvement of the traffic situation, in particular, was influenced by development of the parking space.

For reference: UITP is an international non-profit association that unites the entire sector of public transport and all its modes. It is one of the oldest public organizations – it was founded in 1885. The UITP has members from more than 90 countries, including Sweden, Austria, the USA, France, Italy, Brazil and others. UITP HQ are located in Brussels. Every two years UITP conducts the Global Transport Forum and an exhibition, where transport businesses and organizations from all over the world meet together. The summit participants exchange opinions on new technologies in the public transport market, discuss important issues with world experts and identify new business opportunities.

**According to the official website of the Mayor of Moscow https://www.mos.ru/news/item/24171073/** ●

УДК 656:658

# Эволюционные закономерности логистики

Леонид МИРОТИН
Leonid B. MIROTIN

Вера БАГИНОВА
Vera V. BAGINOVA

Лев ФЕДОРОВ
Lev S. FEDOROV

***Миротин Леонид Борисович** – доктор технических наук, профессор МАДИ, Москва, Россия.*
***Багинова Вера Владимировна** – доктор технических наук, заведующая кафедрой «Логистика и управление транспортными системами» МИИТ, Москва, Россия*
***Федоров Лев Сергеевич** – доктор экономических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.*

**Evolutionary Patterns of Logistics**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 60)*

***Статья основана на результатах многолетних исследований её авторов в области логистики. В ней сформулированы положения и выводы, отражающие эволюцию развития концепции логистики в последние 25–30 лет, когда традиционные подходы коренным образом менялись и трансформировались от базовых понятий, связанных с управлением цепями поставок, к пониманию в условиях рынка приоритетности для логистики функций управления цепями потребительского спроса. Сегодня логистический подход должен воплощаться через социальное предназначение деятельности человека. При этом для современной логистики все более значимым становится инженерный аспект, в основе которого лежат процессно-ресурсные и сетевые технологии.***

*Ключевые слова: логистика, интралогистика, эволюция, логистическая методология, информация, сфера услуг, сетевые технологии, логистический менеджмент, интегрированный процесс, сетецентричное управление.*

Несмотря на все сложности сегодняшнего экономического положения, логистическая методология в последние десятилетия получила колоссальное развитие. Это отмечалось, в частности, на московских международных логистических форумах, проводимых координационным советом по логистике, научно-образовательным центром инновационных технологий по логистике МАДИ, кафедрой логистики и управления транспортными системами МИИТ.

## I.

Традиционные подходы введения в логистику резко изменились. Инженерный аспект логистики, в основе которого лежат современные технологии физических и социальных объектов, построен на процессно-ресурсной основе как универсальном методе любых видов деятельности человека при условии тождественности эффекта синергии в системах управления и эффекта прибыли в экономических системах. В современных условиях это стало возмож-

ным при устойчивом социально-экономическом развитии, всемерной экономии материально-энергетических и трудовых ресурсов, соблюдении нормативных требований, гарантирующих качество среды обитания, безопасности и экологичности при эксплуатации технических и социальных комплексов.

При этом нельзя забывать, что нынешнее постиндустриальное общество отличается от доиндустриального и индустриального тремя важнейшими особенностями: основным производственным ресурсом становится информация, приходящая на смену сырью и энергии; квалификацией производственно-социальной деятельности как услуги в отличие от добычи, изготовления; наукоёмкими технологиями, тогда как предшествующие общества характеризовались трудоёмкой и капиталоёмкой продукцией и затратами нематериального производства при прочих равных условиях. Именно сфера услуг сейчас относится к наиболее значимым видам деятельности, связанным с функционированием экономики и удовлетворением жизненно важных потребностей человека. Мировая практика свидетельствует, что удельный вес добавленной стоимости в сфере услуг существенно выше, чем в промышленности и сельском хозяйстве.

Логистический подход в России, по нашему мнению, должен воплощаться сегодня преимущественно через социальное развитие деятельности человека. Отсюда микросреда логистического менеджмента – это различные взаимодействия между руководителями и специалистами системы, направленные на создание её рациональной организации. Такая организация предполагает: наличие оптимальной структуры подбора и расстановки кадров, ориентированных на непрерывное совершенствование логистического менеджмента; контроль основных и вспомогательных логистических процессов, эффективное использование производственных мощностей; сокращение длительности цикла выполнения заказов; координацию на принципах логистики взаимоотношений с поставщиками, потребителями, посредниками и исполнителями социально ориентированных действий; системное решение экономических проблем.

Технологическая составляющая микросреды логистического менеджмента представляет собой различные виды взаимодействия между исходными материалами, незавершенным производством и готовой продукцией с машинами и механизмами, между машинами и механизмами различных фаз логистических процессов, направленных на улучшение обслуживания потребителей, особенно в цепи поставок товарной продукции.

Экономическая составляющая микросреды логистического менеджмента – это совокупность экономических отношений, определяющих возможности системы осуществлять процессы снабжения и поддержки производства, эффективное функционирование на рынке и в сфере жизнеобеспечения.

В разных секторах науки имеются свои традиции, собственные методы, особая терминология. Поэтому междисциплинарный подход с опорой на объективность возможен только в случае прямой проблемной ситуации, предусматривающей прежде всего использование единой словарной базы, когда в основе любого логистического научного термина лежит отраженная им сущность, а логистика воспринимается как исходная организация системы и концептуально-процессная модель.

Изучение теоретических вопросов в науках предполагает рассмотрение и описание различных точек зрения на тот или иной вопрос, поскольку самые разнообразные или даже противоположные умозаключения приводятся к общему знаменателю методом взаимодополняющих комплементарных оценок в адрес модератора (ретранслятора) научной проблемы.

Многообразие определений логистики привело к эффекту гиперболизации одних её сущностных дефиниций и недооценке других. При этом известно, что логос как идеальное движение в бытие есть гармония и порядок в мироздании, выражающийся в детерминизме движения предмета труда. Тогда концепция логистики заключается в формировании методологии проектирования, координации и непрерывном совершенствовании ее целей и задач, признаков, сторон, свойств, требований, принципов, элементов, форм проявления. Через интегрированность такой подход позволит координировать, регулировать и контролировать безопасность движения ресурс-ценности, той же, например, готовой продукции,

на всем пути от производителя до потребителя [1, 2].

Система с точки зрения логистического менеджмента описывается с позиций достижения ею определенной цели или выполнения некоторой функции. Принципы, используемые в логистическом менеджменте, не являются каким-то открытием, ибо они вполне естественны и просты, но их применение становится поворотным моментом в практике хозяйствования.

Главный же методологический принцип логистики заключается в гармонизации интересов участников цепи поставок товара на основе интегрированного системного подхода для достижения заданных на плановый период целей [9].

Степень потребности в логистике зависит от уровня социализации людей в обществе (понимания соизмеримости затрат и результатов труда), характера действующих производительных сил, технологий, общественно-правовой ситуации и рыночных отношений в стране.

## II.

Лейтмотивом развития логистики за рубежом стала трансформация характера потребительского спроса, т.е. его индивидуализация. Тогда фабулой концепции логистики становится необходимость обеспечить адекватность логистических построений предъявляемому спросу, а структура логистической системы в виде цепи поставок есть средство согласования спроса и целевых установок через влияние на уровень доходов и затрат на функционирование мерами финансового, экономического, организационного и административного давления. Сумма избирательно вовлеченных во взаимодействие звеньев цепи воспринимается окружающей средой как единое целое. Подобные системы должны охватывать планирование потребностей на основе выявленного спроса, обеспечивать управление качеством процессов, а также принятие решений с учётом приемлемого риска [7].

Интегрированный процесс логистики предприятия призван содействовать появлению потребительной стоимости с метрическими (нормативными) общими издержками (затратами). Интегрированная ценность любого предприятия создается согласованным линейным функционированием набора отдельных процессов. То есть напрашивается вывод о необходимости замены широко используемого в логистике понятия «управление цепью поставок» на более значимое в условиях действия рыночных сил понятие «управление цепью спроса», когда линейность, детерминизм, нормативность, гибкость, комплексность и своевременность решения задач предполагают рациональное сочетание изменения структуры производства с изменениями управления им, поскольку в звеньях цепи спроса консолидируется самая точная и полная информация о рынке [3].

Основные свойства логистики: системность управленческих решений, их безопасность, экологичность, адаптивность, синхронизация по потокам ресурсов-затрат с достижением эффекта синергии, надёжность функционирования, финансовое обеспечение управленческих решений, регулирование в режиме реального времени, защита информации и структуризация информационных потоков, прогнозирование стратегии развития. Для появления эффекта синергии на уровне предприятия нужны, разумеется, чёткое описание функций, процессов, процедур, понимание перманентной сути ресурсов и направления их движения [4].

Целями интегрированной логистической поддержки жизненных циклов изделий (систем) являются: оказание влияния на их разработку/проектирование для обеспечения будущей оптимальной эксплуатации, определение и уточнение ресурсов, их поставка с экономически обоснованными затратами в течение всего срока службы изделия (системы). Причины изменения подобной поддержки – это серьезная рыночная конкуренция, вынуждающая предприятия стремиться к лидерству по уровню затрат и углублять свою специализацию в ключевой для каждого из них сфере рыночной компетенции, а также глобализация и продуктовая дифференциация. Теоретически же существование единой интегральной логистической цепи предприятия предполагает наличие продукта всей цепочки труда для реализации его потребителю.

Логистика как одна из составляющих ядра шестого технологического уклада развития экономики выступает в качестве инструмента ускоренной социальной эволюции, так как предложение обществу логистической концепции уже само по себе влечет за собой повышенное к ней внимание, заставляет ещё раз задуматься о выборе курса, правильности выдвигаемых целей и задач.

Происходит это потому, что человеческая психика проявляет себя в восприятии действительности посредством своего ощущения воображаемого, символического и объективного. Воображаемое – это комплекс иллюзорных представлений, символическое – сфера социальных и культурных норм и представлений, объективное – это то, что дано человеку непосредственно опытом бытия. Только в том случае, когда концепция логистики уже испробована, можно судить, что в ней первично (как?), а что вторично (что?), т.е. она получает свое интерактивное, эволюционное и спиральное развитие. И именно здесь уже надо показывать значимость логистики как универсального механизма организации производства и управления, оценивать перспективы её применения под знаком социальной эффективности.

Сейчас ключевыми проблемами становятся доступность мобильных устройств и сенсоров, развитие прибыльных бизнес-моделей и безопасности [6, 8]. Все это построено на научных теориях, архитектурах и моделях технологии сетецентричного управления. Целый ряд моделей уже создан (расширяющееся логистическое взаимодействие, управление жизненным циклом логистических систем, комплексная безопасность цепей поставок). Продолжается разработка средств логистической поддержки сетецентричной техники.

Можно выделить следующие преимущества при реализации технологии сетецентричного управления в PBL-системе [5]:

• подготовка предприятием-поставщиком исходных данных для поставки запчастей и материалов в стандартных форматах;

• снижение запасов в общих затратах (на 3–5 % для каждой единицы техники), общее повышение производительности операционной системы;

• формирование единой базы данных предприятия-поставщика и потребителя по сервисному обслуживанию единиц техники системой ERP;

• автоматизированное заполнение формы для присвоения идентификационного кода поставщика и запчастей;

• снижение стоимости эксплуатации техники на 2–3 % (повышение коэффициента организационно-технической готовности к применению);

• создание эффективной системы сервисного обслуживания техники, ориентированной на высокую производительность и снижение затрат.

Следует отметить, что появилась «интралогистика» (операционная логистика), которая значительно продвигает замкнутые логистические системы внутри фирм и предприятий. Она является критическим звеном быстрорастущей глобальной транспортной цепи, которая необходима для условий активно глобализирующего мира. Интралогистика дает возможность для значительной экономии времени, затрат и энергии, что делает её ключевым фактором конкуренции как внутри страны, так и на международном рынке транспортных услуг.

Подчеркнем главное: логистический подход отражает потребности общественного развития и должен воплощаться с учётом социальной и жизнеобеспечивающей деятельности человека. При этом для современной логистики все более важен инженерный аспект, в основе которого процессно-ресурсные и сетевые технологии.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Миротин Л. Б., Покровский А. К. Основы логистики: Учебник.– М.: Академия, 2014.– 192 с.
2. Федоров Л. С., Кравченко М. В. Общий курс логистики: Учебное пособие.– М.: КноРус, 2010.– 224 с.
3. Транспортная логистика: Учебник / Л.Б. Миротин, А. С. Балалаев, В. А. Гудков и др.; под ред. Л. Б. Миротина.– М.: Горячая линия–Телеком, 2014.– 302 с.
4. Инновационные процессы логистического менеджмента в интеллектуальных транспортных системах: В 4-х томах / Под общ. ред. Б. А. Лёвина и Л. Б. Миротина.– М.: УМЦ по образованию на ж.-д. транспорте, 2015.– 1553 с.
5. Миротин Л. Б., Лебедев Е. А. Логистика в автомобильном транспорте: Учебное пособие.– Ростов-на-Дону: Феникс, 2015.– 236 с.
6. Миротин Л. Б., Покровский А. К., Некрасов А. Г. Управление социально-техническими системами: Учебное пособие.– М.: Академия, 2014.– 208 с.
7. Федоров Л. С., Персианов В. А., Мухаметдинов И. Б. Общий курс транспортной логистики: Учебное пособие.– 2- е изд., стер.– М.: КноРус, 2013.– 312 с.
8. Карташов А. В., Некрасов А. Г., Атаев К. И. Интегрированные системы поставок предметов снабжения наукоёмкой продукции: Монография.– М.: Техполиграфцентр, 2016.– 254 с.
9. Багинова В. В., Федоров Л. С., Кренева Г. В., Сысоева Е. А. Логистика: Монография.– М.: КноРус, 2016.– 272 с.



Координаты авторов: **Миротин Л. Б.**– mirotin2004@mail.ru, **Багинова В. В.**– baginova@rambler.ru, **Федоров Л. С.**– lsfedorov2012@yandex.ru.



Статья поступила в редакцию 22.12.2016, принята к публикации 17.03.2017.

# EVOLUTIONARY PATTERNS OF LOGISTICS

***Mirotin, Leonid B.,*** *Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.*
***Baginova, Vera V.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Fedorov, Lev S.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article is based on the results of long-standing research conducted by the authors in the field of logistics. It contains provisions and conclusions reflecting the evolution of the development of the concept of logistics in the last 25–30 years, since traditional approaches have radically changed and transformed from the basic concepts associated with supply chain management to understanding of priority logistics tascs as of managing of consumers' demand chains under market conditions. Today the logistics approach must be implemented through the social purpose of human action. At the same time the engineering aspect of modern logistics, which is based on process-resource and network technologies, is becoming increasingly important.

*Keywords: logistics, intralogistics, evolution, logistics methodology, information, services, network technologies, logistics management, integrated process, network-centric management.*

**Background.** *Despite all the complexity of today's economic situation, the logistical methodology has developed tremendously in recent decades. This was noted, in particular, at the Moscow international logistic forums held by the coordination council for logistics, the scientific and educational center for innovative technologies in logistics of MADI, the Department of Logistics and Transport Systems Management of MIIT.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider evolutionary patterns of logistics.*

**Methods.** *The authors use general scientific methods, comparative analysis, statistical method, scientific description.*

**Results.**

***I.***

*The traditional approaches to introducing logistics have changed dramatically. The engineering aspect of logistics, which is based on modern technologies of physical and social objects, is built on a process-resource basis as a universal method of any kind of human activity, provided that the synergy effect in management systems and profit effect in economic systems is identical. In modern conditions, this became possible with sustainable social and economic development, all-round saving of material, energy and labor resources, compliance with regulatory requirements that guarantee the quality of habitat, safety and environmental protection in the operation of technical and social complexes.*

*At the same time, one should not forget that the current post-industrial society differs from the pre-industrial and industrial by three important aspects: information becomes main productive resource replacing raw materials and energy; nature of productive and social activities is now mainly qualified as a service in contrast to mining, manufacturing or certain activities; science-intensive technologies, whereas the previous societies were characterized by labor-intensive and capital-intensive production and expenditures of non-material production, all other things being equal. It is the services sector that currently belongs to the most important activities related to the functioning of the economy and the satisfaction of vital human needs. Global practices show that the share of value added in the service sector is much higher than in industry and agriculture.*

*The logistical approach in Russia, in our opinion, should be embodied today mainly through the social development of human activities. Hence, the micro environment of logistics management should comprise various interactions between managers and specialists of the system aimed at creating its rational organization. Such an organization assumes: the existence of an optimal structure for the selection and placement of personnel focused on continuous improvement of logistics management; control of basic and auxiliary logistical processes, effective use of production capacities; shortening the duration of the order execution cycle; coordination on the principles of logistics of relationships with suppliers, consumers, intermediaries and actors of socially oriented actions; systemic solution of economic problems.*

*The technological component of the micro environment of logistics management represents various types of interaction between raw materials, unfinished production and finished products and machines and mechanisms, between machines and mechanisms of various phases of logistics processes aimed at improving customer service, especially in the supply chain of commodity products.*

*The economic component of the micro environment of logistics management is a set of economic relations that determine the system's capabilities to implement the processes of supply and support of production, effective functioning in the market and in the sphere of providing services to population.*

*Different sectors of science have developed own traditions, own methods, special terminology. Therefore, an interdisciplinary approach based on objectivity is possible only in the case of a direct problem situation, which primarily involves the use of a single vocabulary base, when the underlying essence of any logistic scientific term lies, and the logistics is perceived as the initial organization of the system and the conceptual-process model.*

*The study of theoretical questions in the sciences presupposes the consideration and description of various points of view on a particular question, since the most varied or even opposite conclusions are brought to the common denominator by the method of complementary assessments to the moderator (transponder) of the scientific problem.*

*The variety of definitions of logistics led to the effect of the hyperbolization of some of its essential definitions and the underestimation of others. Moreover, it is known that logos as an ideal movement into being is harmony and order in the universe, expressed in the determinism of the movement of the*

*object of labor. Then the concept of logistics is to formulate a methodology for designing, coordinating and continuously improving its goals and objectives, features, aspects, properties, requirements, principles, elements, forms of manifestation. Through integration, this approach will allow coordinating, regulating and controlling the safety of the movement of resource value, for example, finished products, all along the way from the producer to the consumer [1, 2].*

*The system from the point of view of logistic management should be described as achieving a certain goal or performing a certain function. The principles used in logistics management are not some kind of discovery, for they are quite natural and simple, but their application becomes a turning point in the practice of management.*

*The main methodological principle of logistics is to harmonize the interests of participants in the supply chain of goods on the basis of an integrated system approach to achieve the goals set for the scheduled period [9].*

*The degree of demand for logistics depends on the level of socialization of people in society (understanding the commensurability of costs and labor results), the nature of the productive forces, technologies, social and legal situation and market relations in the country.*

***II.***

*The leitmotif of the development of logistics abroad was the transformation of the nature of consumer demand, i.e. its individualization. Then the logistics concept becomes the need to ensure the adequacy of logistical arrangements to the demand, and the structure of the logistics system in the form of a supply chain is a means of reconciling demand and targets through impact on the level of revenues and costs of functioning by financial, economic, organizational and administrative measures. The sum of selectively involved links in the chain links is perceived by the environment as a whole. Such systems should cover demand planning based on the identified demand, provide process quality management, and make decisions taking into account the acceptable risks [7].*

*The integrated logistics process of an enterprise is designed to promote the emergence of use value with metric (normative) total costs (expenditures). The integrated value of any enterprise is created by the coordinated linear functioning of a set of individual processes. That is, the conclusion arises that it is necessary to replace the widely used concept of «supply chain management» in logistics with the notion of «demand chain management» which is more significant in terms of market forces, when linearity, determinism, normality, flexibility, complexity and timeliness of problem solving imply a rational combination of changing of production structure with changes in its management, since the most accurate and complete information on the market is consolidated within demand chain [3].*

*The main properties of logistics are as follow: systemic nature of management decisions, their safety, environmental friendliness, adaptability, synchronization over resource-cost flows with the achievement of synergy effect, operational reliability, financial management solutions, real-time regulation, information protection and information flow structuring, forecasting development strategy. For the appearance of the effect of synergy at the enterprise level, a clear description of functions, processes, procedures, understanding of the permanent essence of resources and the direction of their movement is needed [4].*

*The goals of integrated logistical support of the life cycles of products (systems) are: to influence*

*their development / design in order to ensure future optimal operation, to determine and refine the resources, and to deliver them with economically justified costs throughout the life of the product (system). The reasons for changing such support are serious market competition, forcing enterprises to strive for leadership in terms of costs and deepen their specialization in the key area of market competence for each of them, as well as globalization and product differentiation. Theoretically, the existence of a single integrated logistic chain of the enterprise presupposes the availability of the product of the whole chain of labor for its commercialization to the consumer.*

*Logistics as one of the components of the core of the sixth technological order of the development of the economy serves as an instrument for accelerated social evolution, since an introduction of a logistic concept to the society results in increased attention to it, makes us once again think about choosing the course, the correctness of the declared goals and objectives.*

*This is because the human psyche manifests itself in the perception of reality through its perception of the imaginary, symbolic and objective. The imaginary is a complex of illusory representations, the symbolic is the sphere of social and cultural norms and representations, the objective is what is given to man directly by experience of being. Only in the case when the concept of logistics has already been tried, one can judge what is primary in it (how?), and what is secondary (what?), i.e. it gets its interactive, evolutionary and spiral development. And it is here that it is necessary to show the importance of logistics as a universal mechanism for organizing production and management, to evaluate the prospects for its application under the sign of social efficiency.*

*Now the key problems are the availability of mobile devices and sensors, the development of profitable business models and safety [6, 8]. All this is built on scientific theories, architectures and models of network-centric control technology. A number of models have already been created (expanding logistic interaction, management of the life cycle of logistics systems, integrated security of supply chains). The development of means of logistical support of network-centric technology is continuing.*

*The following advantages can be distinguished when implementing the network-centric control technology in the PBL-system [5]:*

- *preparation by the supplier of raw data for the supply of spare parts and materials in standard formats;*
- *decrease of stocks within total costs (by 3–5 % for each unit of equipment), general increase in the productivity of the operating system;*
- *formation of a single database of the supplier enterprise and the consumer for servicing units of equipment by the ERP system;*
- *automated filling of the form for assignment of the identification code of the supplier and spare parts;*
- *lowering the cost of operating machinery by 2–3 % (increasing the index of organizational and technical readiness for use);*
- *creation of an effective system of service maintenance of machinery, focused on high productivity and cost reduction.*

*It should be noted that the «intralogistics» (operational logistics) appeared, which significantly promotes closed logistics systems inside firms and enterprises. It is a critical link in the fast-growing global transport chain, which is necessary in terms of an actively globalizing world. Intralogistics provides an opportunity for significant time, cost and energy saving, which makes it a key competitive factor both within a country and in the international transport services market.*

**Conclusion.** *Let us emphasize the main thing: the logistic approach reflects the needs of social development and should be implemented taking into account the social and life-supporting activity of a person. At the same time engineering aspect based on process-resource and network technology becomes more and more important for modern logistics.*

## REFERENCES


1. Mirotin, L. B., Pokrovsky, A. K. Basic logistics: Educational guide [*Osnovy logistiki: Uchebnik*]. Moscow, Akademia publ., 2014, 192 p.
2. Fedorov, L. S., Kravchenko, M. V. General course of logistics: Educational guide [*Obshhij kurs logistiki: Uchebnoe posobie*]. Moscow, KNORUS publ., 2010, 224 p.
3. Transport logistics: Textbook [*Transportnaja logistika: Uchebnik*]. Mirotin, L. B., Balalaev, A. S., Gudkov, V. A. *et al*; ed. by Mirotin, L. B. Moscow, Gorjachaja linija–Telekom publ., 2014, 302 p.
4. Innovative processes of logistics management in intelligent transport systems: In 4 volumes [*Innovacionnye processy logisticheskogo menedzhmenta v intellektual'nyh transportnyh sistemah: V 4-h tomah*]. Ed. by Lyovin, B. A., Mirotin, L. B. Moscow, TMC on education on railway transport, 2015, 1553 p.
5. Mirotin, L. B., Lebedev, E. A. Logistics in road transport: Educational guide [*Logistika v avtomobil'nom transporte: Uchebnoe posobie*]. Rostov-on-Don, Phoenix publ., 2015, 236 p.
6. Mirotin, L. B., Pokrovsky, A. K., Nekrasov, A. G. Management of socio-technical systems: Textbook [*Upravlenie social'no-tehnicheskimi sistemami: Uchebnoe posobie*]. Moscow, Academia publ., 2014, 208 p.
7. Fedorov, L. S., Persianov, V. A., Mukhametdinov, I. B. General course of transport logistics: Educational guide [*Obshhij kurs transportnoj logistiki: Uchebnoe posobie*]. 2nd ed., str. Moscow, KnoRus publ., 2013, 312 p.
8. Kartashov, A. V., Nekrasov, A. G., Ataev, K. I. Integrated supply systems for the supply of science-intensive products: Monograph [*Integrirovannye sistemy postavok predmetov snabzhenija naukoemkoj produkcii: Monografija*]. Moscow, Tehpoligratsentr publ., 2016, 254 p.
9. Baginova, V. V., Fedorov, L. S., Kreneva, G. V., Sysoeva, E. A. Logistics: Monograph [*Logistika: Monografija*]. Moscow, KnoRus publ., 2016, 272 p.



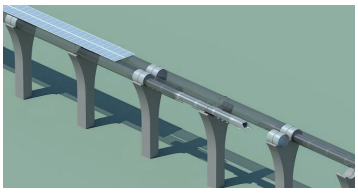
Information about the authors:
**Mirotin, Leonid B.** – D.Sc. (Eng), professor of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, mirotin2004@mail.ru.
**Baginova, Vera V.** – D.Sc. (Econ), head of department of Logistics and management of transport systems of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, baginova@rambler.ru.
**Fedorov, Lev S.** – D.Sc. (Econ), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, lsfedorov2012@yandex.ru.


Article received 22.12.2016, accepted 17.03.2017.

# НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING


**ЧЕЛНОК И ВАКУУМ** 64

*Путепровод высоких скоростей.*



**АВТОДОРОГА** 86

*Подмосковье: беспилотники видят лучше спутников.*

**ТЕПЛОТЕХНИКА** 94

*Железнодорожные станции: единая система.*

**ЛОКОМОТИВ** 104

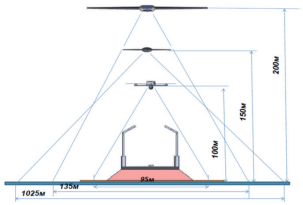
*Улан-Удэ: способ исследования проскальзывания колёсных пар.*

**THE SHUTTLE AND THE VACUUM** 64

*Overpass of high speed.*

**AUTOROAD** 86

*Moscow Region: drones have better sight than satellites.*




**HEAT ENGINEERING** 94

*Railway stations need harmonized system.*

**LOCOMOTIVE** 104

*Ulan-Ude: a method to study slipping of wheel sets.*

УДК 629.7

# Hyperloop: технические риски и перспективы

Андрей СМИРНОВ
Andrey V. SMIRNOV

Сергей ЕГОШИН
Sergey F. EGOSHIN

***Смирнов Андрей Валентинович*** *– кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника отделения Центрального аэрогидродинамического института им. А. Е. Жуковского (ЦАГИ), Жуковский, Московская область, Россия.*
***Егошин Сергей Фёдорович*** *– инженер ЦАГИ, Жуковский, Московская область, Россия.*

**Hyperloop: technical risks and prospects**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 75)*

***Статья посвящена техническому анализу проекта высокоскоростного наземного транспорта Hyperloop, интерес к строительству которого в последнее время значительно вырос. Кратко рассмотрены базовые технологии, с помощью физических расчётов уточнены основные конструкционные характеристики. Выявлены технические риски, некоторые из которых могут повлиять на первоначальную конфигурацию проекта, а другие ставят под сомнение саму возможность его реализации. Проведенные исследования позволяют дать заключение о целесообразности дальнейшей работы по созданию высокоскоростной транспортной системы Hyperloop и сформулировать перечень первоочередных научно-исследовательских задач, которые необходимо осуществить, чтобы проект стал успешным.***

*Ключевые слова: Hyperloop, вакуумный путепровод, челнок, высокоскоростной транспорт, транспортные системы будущего, новые технологии, технические риски.*

Рост численности населения Земли неизбежно приводит к обострению различного рода проблем, в том числе транспортных. Поиск решения этих проблем происходит как посредством модернизации существующей транспортной инфраструктуры, так и создания новых систем.

В этом ключе проект Hyperloop вызывает большой интерес во многих странах мира, где географические условия требуют дальнейшего развития транспорта, наличия максимально доступной и высокоскоростной системы перемещения грузов и пассажиров, позволяющей значительно улучшить взаимосвязанность регионов и отдельных территорий внутри государственных субъектов.

## КРАТКАЯ ПРЕДЫСТОРИЯ ПРОЕКТА

Проект Hyperloop был представлен Илоном Маском (Elon Musk) в 2013 году и изначально предложен к реализации в штате Калифорния (США). В его основу заложена оригинальная комбинация технических решений с участием трубопроводного транспорта, аэрокосмических технологий и альтернативного

*Рис. 1. Задекларированные технико-экономические характеристики Hyperloop.*

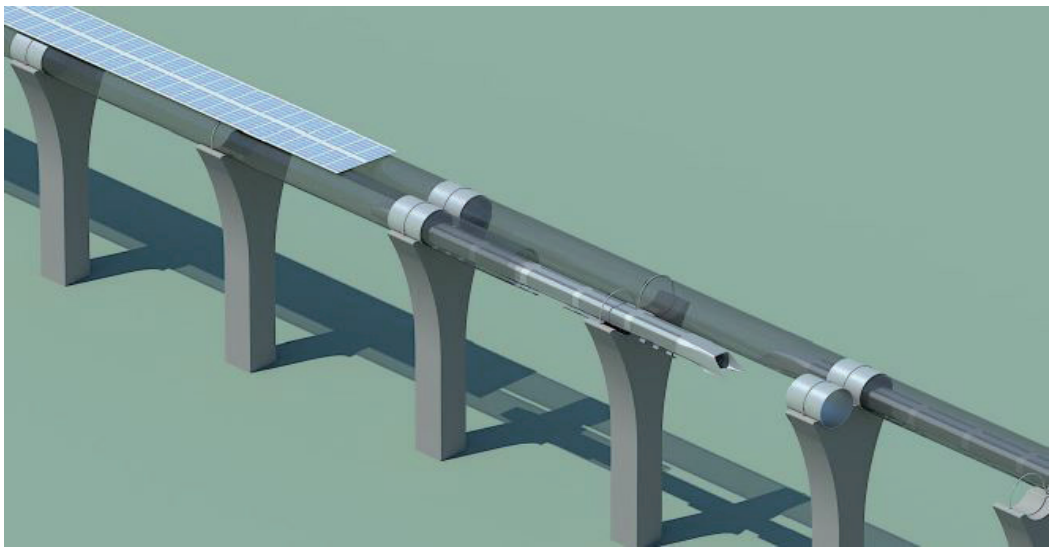


*Рис. 2. Общий вид фрагмента пути Hyperloop.*

источника энергии – солнечного излучения.

Необходимо отметить, что идея трубопроводного грузопассажирского транспорта (иначе говоря, транспорта, использующего герметичную протяженную трубу с разряженным воздухом как оболочку пути для перемещения объектов между двумя пунктами сообщения) не нова. Она возникла в конце XVIII века и нашла свое воплощение в виде пневмопочты, которая существует и поныне, например, в Российской государственной библиотеке, а также различных опытных образцов, в числе которых:

– пневматические железные дороги Томаса Раммелля (Лондон, 1864 год) и компании «Бич Пневматик Транзит» (Нью-Йорк, 1870 год);

– вакуумные поезда на магнитной подушке Кемпера (Германия, 1934 год) и Одзавы (Япония, 1969 год).

К XX веку развитие технологий позволило привнести в идею трубопроводного транспорта новые составляющие, которые дают основание говорить о Hyperloop как новом виде транспорта, а по заявлениям самого Маска – как революционном прорыве в организации транспортных перевозок (рис. 1).

Ниже приведен технический анализ проекта. За основу взят предварительный концепт Hyperloop [1]. Большинство ключевых характеристик перепроверено.

## АНАЛИЗ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ

Hyperloop – это высокоскоростная грузопассажирская транспортная система, состоящая из следующих основных частей.

*Путепровод:* стальные цилиндрические трубы диаметром 2–3 м и с толщиной стенки 2–2,5 см, сваренные в два трубопровода

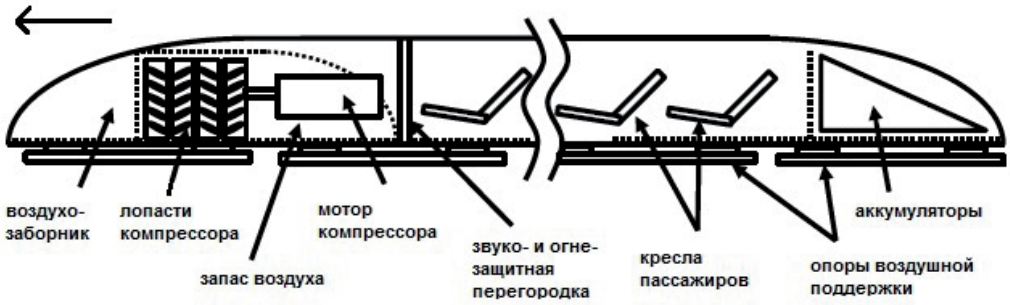



***Рис. 3. Схематическое устройство пассажирского челнока Hyperloop.***

(один – для движения «туда», другой – для движения «обратно») и установленные на бетонные опоры высотой 6–30 м (рис. 2). Внутри труб челноки с пассажирами движутся от станции до станции с заявленной периодичностью 2 минуты. Технология строительства нагруженных трубопроводов давно отработана, например, в нефтегазовой промышленности, и особых сложностей в этом не предвидится.

*Система обеспечения низкого вакуума в путепроводе:* комплект вакуумных насосов, с помощью которых внутри герметичных труб создается и поддерживается давление в 100 Па, так называемый форвакуум. Эта система достаточно легко реализуема, так как современные промышленные вакуумные насосы имеют умеренную стоимость, обладают высокой надёжностью и достаточной производительностью (~1 куб. м/с при указанном давлении на выходе).

*Станции:* сооружения, внутри которых происходит посадка/высадка пассажиров, перезарядка системы охлаждения и аккумуляторных батарей транспортных челноков. От обычных посадочных станций отличаются наличием системы быстродействующих шлюзов на стыке с основным путепроводом.

*Грузопассажирские челноки*: парк однотипных транспортных средств, каждое из которых имеет цилиндрическую форму, длину порядка 30 м и площадь поперечного сечения около 1,4 кв. м. Конструктивно челнок близок к фюзеляжам современных самолетов. Движение челноков внутри трубопровода на основном участке пути происходит по принципу судна на воздушной подушке (СВП), то есть без использования колес (рис. 3). Воздух на опоры воздушной поддержки подается с помощью лобового воздухозаборника и осевого компрессора, приводимого в действие от бортовых аккумуляторов.

*Система разгона и торможения челноков:* построена на использовании принципа электромагнитной индукции для линейных ротора и статора, при этом статор крепится на стенках путепровода, а ротор – под днищем челнока. Разгон происходит на участке длиной около 10 км, примыкающем к станции, далее челнок движется по инерции (что допустимо в условиях форвакуума с минимальными потерями энергии), аналогично происходит и торможение. Время разгона/торможения, при условии относительно комфортной переносимости пассажиром горизонтального ускорения в 0,5 g, составляет около 1 минуты. Несмотря на то, что электромагнитная индукция используется повсеместно во всех областях, где применяются электродвигатели или электрогенераторы, в описанной конфигурации – линейные ротор и статор – названный физический принцип только начинает утверждаться. Однако его успешная осуществимость уже доказана в военной области (электромагнитная катапульта EMALS авианосца «Джеральд Р. Форд» [2], электромагнитные пушки).

*Система энергоснабжения:* ряды солнечных батарей, смонтированных над треками. Заложенная в проект мощность, генерируемая такими батареями, составляет 120 Вт/кв. м, что дает суммарную мощность до 285 МВт на пике солнечной активности, или 57 МВт в среднесуточном исчислении, и это полностью покрывает энергетические потребности Hyperloop в 21 МВт [1]. Избыток поглощенной солнечной энергии и энергия, конвертируемая в электрическую при торможении

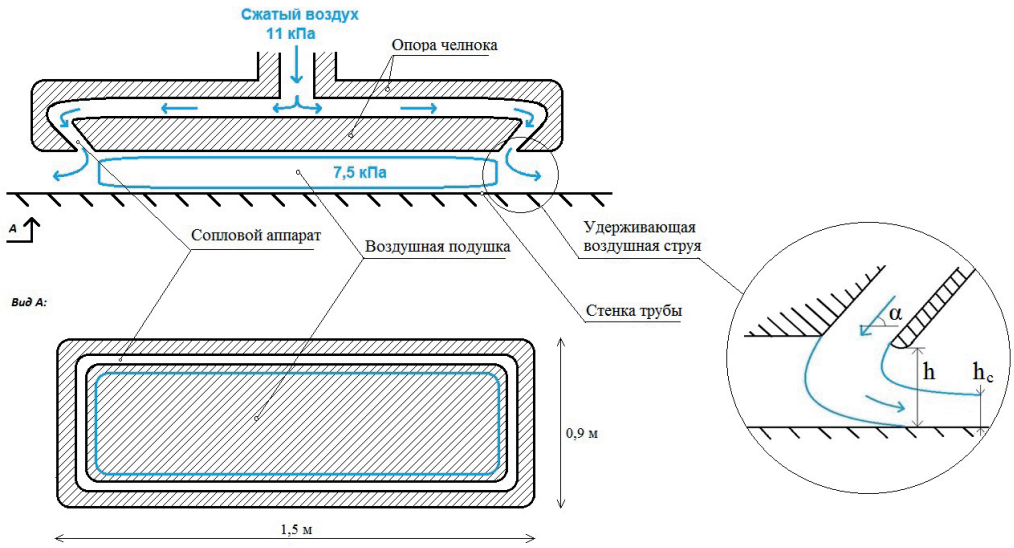



***Рис. 4. Устройство воздушной опоры челнока Hyperloop.***

челнока, хранятся в стационарных аккумуляторных батареях, что позволяет достичь заявленных в проекте характеристик энергобаланса.

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ

Как видно, проект представляет собой комбинацию ранее известных и в той или иной степени освоенных технологий. Однако кажущаяся простота не должна вводить в заблуждение: на стыке этих технологий рождаются некоторые новые технические решения, требующие серьезного исследования до начала строительства трассы Hyperloop.

**1) Устойчивость поддерживающей воздушной подушки в форвакууме.**

Главными отличиями поддерживающей воздушной подушки Hyperloop от других областей, в которых применяется технология СВП, являются высокая скорость движения и наличие форвакуума в качестве окружающей среды вместо обычной атмосферы. К сожалению, концепт [1] не содержит подробного описания воздушных опор, а только отдельные технические подробности конструкции и характеристики воздушной подушки. Поэтому будем полагать, что используется наиболее оптимальный вариант, взятый от реальных СВП – сопловая схема с периферийными жёсткими соплами (рис. 4).

Вес челнока Hyperloop удерживается за счёт давления воздуха в воздушных подушках, создаваемого под 28 опорами по 1,35 кв. м каждая. Суммарная площадь опор в проекции на горизонтальную плоскость – примерно 32 кв. м, и смонтированы они попарно вдоль всей длины челнока (14 пар).

По терминологии СВП [3] зазор между опорой и стенкой трубы h называется высотой парения, и он принципиально отличается от толщины истекающей в окружающее пространство удерживающей струи $h_c$. В [1] указывается, что h ~ 0,9 мм, и не указываются причины выбора такой высоты парения, хотя дополнительно отмечается, что при скорости движения челнока 1200 км/ч (или ≈ 330 м/с) и давлении окружающего форвакуума 100 Па на вход воздухозаборника челнока поступает воздух в количестве 0,49 кг/с, а для удержания воздушных подушек под всеми 28 опорами достаточно 0,2 кг/с.

Одним из факторов, определяющим высоту парения, как раз является толщина удерживающей струи $h_c$. Связь между h и $h_c$ задается выбором угла наклона сопла α и определяется с помощью графика (рис. 5) [4].

В дальнейших расчётах будем упрощенно считать, что $h_c$ ~ 0,5 h.

Уравнение баланса входящей и выходящей массы воздуха дает толщину струи

$$h_c = \frac{m_{вых}}{V_c L_{пер} \rho_c N_{оп}}, \qquad (1)$$

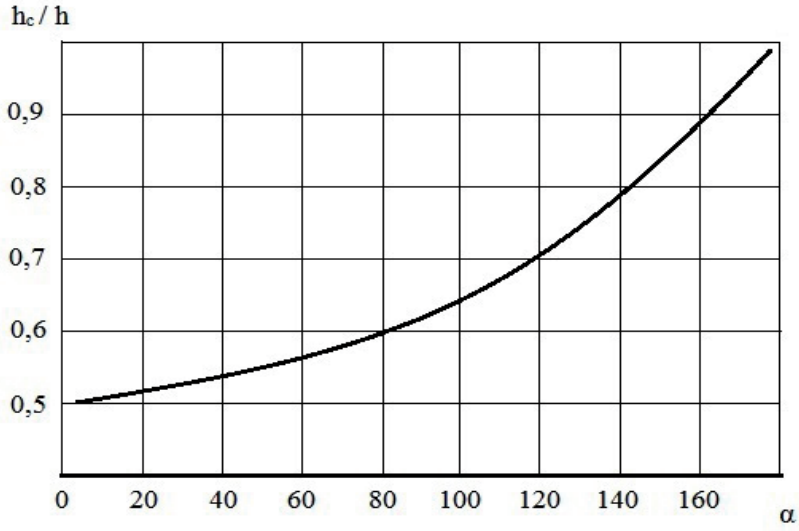



*Рис. 5. Взаимосвязь параметров соплового аппарата воздушной опоры.*

где $V_c$ – скорость течения воздушной струи, $\rho_c$ – плотность воздуха струи, $N_{оп}$ – количество воздушных опор, $L_{пер}$ – периметр воздушной подушки (~3 м).

Поскольку истекание струи происходит в форвакуум, на выходе из-под воздушной опоры скорость истекания $V_c$ достигает критической V*. Предполагая, что воздушные каналы, ведущие от баллона со сжатым воздухом к воздушным опорам, спроектированы оптимально, что по опыту конструирования СВП даёт потери давления порядка 30 % [3], а также полагая, что течение газа ламинарное (необходимое условие устойчивого удержания воздушной подушки) и вязкое (что в среднем замедляет струю в 2 раза, $V_c \approx 0{,}5V^*$), пользуясь гидродинамическими уравнениями течения сжимаемого газа, получаем, что $V_c \approx$ 170 м/с, $\rho_c \approx$ 0,035 кг/м$^3$, и из (1): $h_c \approx$ 0,001 м, или $h \approx$ 0,002 м (2 мм).

Казалось бы, средняя высота парения челнока может быть увеличена более чем вдвое. В действительности определяющим фактором для ламинарного течения подобной удерживающей струи является число Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{Vc \cdot hc}{\nu}, \qquad (2)$$

где $V_c$ – средняя скорость течения струи, $h_c$ – характерный линейный размер, в нашем случае – толщина струи, $\nu$ ~ 0,0006 м$^2$/с – кинематический коэффициент вязкости воздуха в струе с описанными в [1] параметрами.

Для течений с наиболее близкой геометрической конфигурацией критическое значение $\mathrm{Re}_{кр}$ ~ 420 [5]. Тогда из (2) следует: чтобы течение удерживающей струи носило ламинарный характер, необходимо уменьшить зазор между опорой и стенкой как минимум в 2 раза, то есть до приведенной в [1] величины h ~ 0,9 мм. И это ограничение непреложно.

Напомним, что приведенные теоретические выкладки построены при ряде предположений, обуславливающих устойчивость воздушной подушки. Более того, в отчёте НАСА [6], посвященном проблематике Hyperloop, отмечается, что именно наличие форвакуума способствует формированию устойчивого течения воздуха под воздушной опорой, и течение не распадается на обособленное движение отдельных молекул. Движение опоры относительно стенки трубы приводит только к искривлению подушки силами трения в сторону, противоположную направлению движения, но опять же не приводит к разрушению подушки [1].

Для проверки правильности этих утверждений нужны не только достоверное численное моделирование, но и проведение ряда экспериментов в форвакууме с движущимися СВП, что является новым в науке и технике.

**2) Автономная система охлаждения.**

Поскольку челнок движется в среде, близкой к состоянию вакуума, а на борту челнока работают различные агрегаты

и системы, требуется создание бортовой автономной системы охлаждения.

Задача создания подобной системы отличается новизной, ибо до этого на всех пассажирских транспортных средствах отвод тепла производился в окружающую среду.

Дело в том, что за время движения челнока выделяется большое количество теплоты (порядка 100 МДж на 100 км пути), которую следует отводить от компрессоров, опор воздушных подушек, кондиционеров салона и других работающих агрегатов, иначе они будут разогреваться до температур порядка 700°С. Поскольку челнок движется в форвакууме, то осуществить теплопередачу в окружающую среду, во-первых, крайне проблематично – суммарная теплоёмкость форвакуума невелика, а во-вторых (даже если бы первое было возможным), уже второй челнок, идущий за первым, двигался бы в нерасчётном режиме – в разогретом до более 100°С форвакууме. И так кумулятивно по нарастающей для третьего, четвертого, пятого...

Чтобы избежать кумулятивного теплового эффекта, на борту челнока установлена единая сеть теплообменников, через трубопроводы связанных с центральным теплообменником, в котором имеется запас воды $m_{воды}$ = 290 кг.

Конструкция системы охлаждения в первоначальной конфигурации предположительно предусматривает нагрев воды до 100°С, парообразование и дальнейший нагрев пара до 125°С. Суммарная теплоемкость такой системы:

$Q_ч = m_{воды} (C_{воды} \Delta T_1 + C_{пар} + C_{р\ пар} \Delta T_2)$, (3)

где $C_{воды}$ = 4180 Дж/(кг К) – удельная теплоёмкость воды;

$\Delta T_1$ = 75 К – изменение температуры воды при нагревании её до 100°С;

$C_{пар}$ = 2260 кДж/К – удельная теплота парообразования;

$C_{р\ пар}$ = 2020 Дж/(кг К) – удельная теплоемкость водяного пара;

$\Delta T_2$ = 25 К – изменение температуры пара при нагревании до 125°С.

Расчёт теплоемкости такой системы охлаждения дает $Q_ч$ = 760 МДж, и этого с запасом хватает, чтобы обеспечить движение челнока на участке длиной 660 км без остановок (Москва–Санкт-Петербург). Причем запас задан в целях безопасности на случай аварийных ситуаций, когда движение челноков прекращается и пассажирам в ожидании эвакуации приходится проводить в челноках гораздо большее время, чем запланировано, а система жизнеобеспечения (кондиционеры) должна при этом работать без сбоев.

Однако в [1] явно не говорится, что вода как охлаждающее вещество переходит из жидкого состояния в парообразное, хотя и употребляется слово «steam» – «пар». Чтобы в этом случае система охлаждения работала, её необходимо разбить на подсистемы: в одной происходит нагрев охлаждающей воды, в другой – охлаждение посредством испарения, в третьей – нагрев уже водяного пара. В настоящее время не существует агрегатов подобного уровня сложности; гораздо проще увеличить давление в системе и количество охлаждающего вещества без превращения его в другое состояние.

Кроме того, как справедливо отмечено [6], ёмкости с перегретым паром увеличили бы длину челнока на несколько десятков метров.

Поэтому, чтобы упростить функционирование транспортной системы в свете проблемы охлаждения движущегося челнока, существуют обязательные промежуточные станции, предусмотренные проектом через каждые 110 км. На одном таком участке пути выделяется до 100 МДж, и это количество теплоты вполне может быть поглощено указанным запасом воды без парообразования.

При остановках на этих станциях должна происходить перезарядка системы охлаждения: опустевший бак с водой и бак с горячей водой заменяются соответственно на полный бак холодной воды и пустой бак.

Однако посмотрим, как это скажется на характеристиках движения челнока (рис. 6).

И в том, и в другом случаях суммарная площадь под кривой дает путь в 550 км. Вместе с тем, как видно, необходимость промежуточных остановок значительно уменьшает среднюю скорость движения челноков – до 750 км/ч. И тогда реальное сравнение скоростей, в отличие от рекламного (рис. 1), должно соответствовать рис. 7.

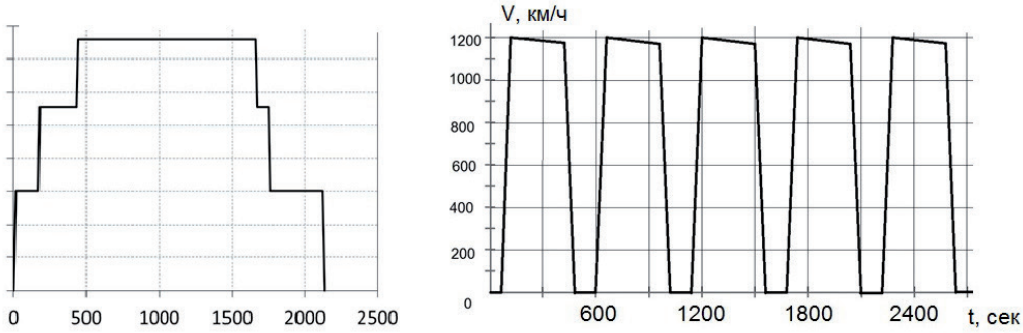



***Рис. 6. Рекламный [1] и реальный графики скорости челнока на участке Лос-Анжелес–Сан-Франсиско, S = 550 км.***

Таким образом, Hyperloop не имеет революционного выигрыша по скорости перемещения пассажиров, как заявлено в концепте [1], а постоянные разгоны и торможения крайне отрицательно сказываются на комфорте поездки.

Впрочем, надо отметить, что челнок может быть перепроектирован с целью обеспечения безостановочного движения. В этом случае его масса увеличится примерно на 10 %, что приведет к незначительному изменению прочих параметров и характеристик движения и заметно усложнит технику перезарядки системы охлаждения (вместо бака с водой в 290 кг будет монтироваться бак с 1500 кг воды, к тому же разогретый почти до температуры кипятка).

**3) Трансзвуковое движение тел в канале со сжимаемой средой.**

Долговременное движение тела в трубе со сжимаемой средой при скорости, близкой к скорости звука (скорость распространения возмущений), является новой технической задачей, решать которую ранее не требовалось, так как не существует транспортных систем, в состав которых входило бы подобное движение.

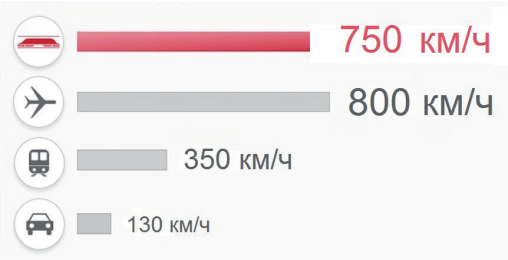



***Рис. 7. Реальное сравнение скоростей перемещения Hyperloop и прочих видов транспорта.***

В [1] указано, что в варианте с сугубо пассажирскими челноками труба имеет внутренний диаметр 2,23 м (или площадь поперечного сечения – 3,9 кв. м), в то время как челнок – около 1 м (1,4 кв. м соответственно мидель челнока).

Такое соотношение диаметров челнока и трубы является оптимальным для трансзвукового движения поршня диаметром d в полом цилиндре с диаметром стенок D, наполненном сжимаемой средой (условно – задача «шприц»). Рассмотрим качественную сторону этого явления.

При движении поршня в сжимаемой среде он испытывает дополнительное сопротивление, связанное с влиянием стенок: $X = X_а + X_{доп}$, где X – полное сопротивление, $X_а$ – аэродинамическое и вязкое сопротивление среды, $X_{доп}$ – дополнительное сопротивление, вызванное влиянием стенок трубы.

Если d/D ~ 1, то чтобы $X_{доп}$ было минимальным, существуют два решения для получения оптимальной скорости поршня: поршень движется со скоростью, много меньшей скорости звука в этой среде, и поршень движется со сверхзвуковой скоростью. В первом случае среда плавно обтекает поршень. Во втором случае возмущения от движения поршня не распространяются вперед по потоку. При промежуточных же значениях скорости вклад дополнительного сопротивления весьма весом: поршень вынужден «проталкивать» большую часть сжимаемой среды перед собой по принципу шприца. Это явление можно наблюдать, например, в метро: когда на станцию прибывает поезд, то сначала из тоннеля дует весьма продолжительный и интенсивный ветер.

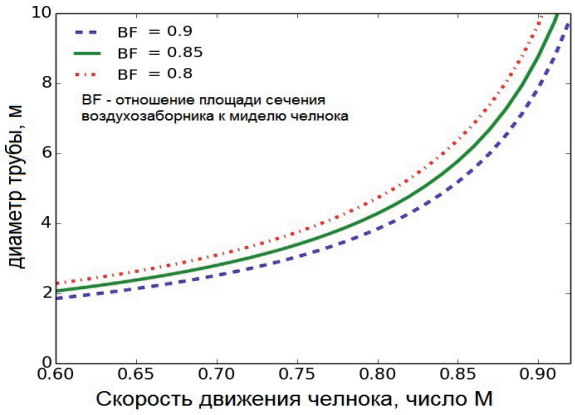



***Рис. 8. Зависимость числа M, достижимого челноком, от диаметра трубы, в которой он движется (предварительные расчёты [6]).***

Если же d/D<<1 (в пределе D→∞), то влияние стенок на поршень практически нулевое и наблюдается обычное обтекание тела средой.

Очевидно, что для рассматриваемого нами случая d/D < 1 существует промежуточное условное соотношение d/D, разделяющее обтекания по принципу «влияние стенок есть» и «влияние стенок практически отсутствует». В [1] указывают, что это промежуточное значение может быть получено из теоретических работ Артура Кэнтровица (Arthur Kantrowitz). Для Hyperlooop d/D ≈ 0,6 при давлении в трубе 100 Па.

Это соотношение диаметров следует соблюсти, чтобы минимизировать действие сжимаемости и сил трения, которые возникают при взаимодействии стенок трека и челнока, даже несмотря на форвакуум.

В [6] ссылаются на собственные расчёты, которые показывают, что для реальных воздухозаборников, где требуется замедление воздуха перед компрессором, диаметр трубы должен быть увеличен как минимум до 4 м при условии достижимости челноком скорости, соответствующей числу Маха M = 0,8 (~1000 км/ч, рис. 8).

Приведённые расчёты НАСА строятся на предположении, что воздухозаборник построен по принципу диффузора, а компрессор является осевым, поэтому необходимо замедление потока воздуха перед его первой ступенью. Это связано с тем, что существующие осевые компрессоры в силу конструктивных и прочих требований имеют ограничение по числу M входящего потока M < 0,75. В то же время компрессоры другого типа (например, центробежные) способны устойчиво работать при больших числах M входящего потока. Более того, стоит вопрос, возможно ли создание принципиально новых компрессоров, рассчитанных на узкоспециализированные условия в Hyperloop (рис. 9).

Таким образом, для ответа на вопрос, какое соотношение d/D необходимо выбрать, и какова зависимость достижимого M от диаметра D, требуются дополнительные, в том числе экспериментально-конструкторские исследования. Без этого усредненная скорость челноков окажется ещё ниже, чем 750 км/ч.

**4) Устойчивость парения челнока.**

Наиболее сложной технической проблемой, которую предстоит решить при создании Hyperloop, представляется устойчивость парения челнока.

Характеристики челнока, приводимые в [1] и других источниках, рассчитаны в предположении, что челнок движется прямолинейно над плоской поверхностью, причем его вес равномерно распределен по всем 28 опорам.

Рассмотрим реальный случай движения челнока, а именно, движение по искривленной траектории. Это может быть спуск, подъём, поворот трубопровода или естественное искривление труб под действием собственного веса, вследствие термического расширения, проседания грунта под бетонными опорами, усталостного разрушения или деформации бетонных опор и креплений труб к этим опорам от многократного воздействия 15-тонной ударной нагрузки при прохождении челнока, колебаний трубы и прочих причин.

Пусть рассматриваемый участок — подъём челнока (или прогиб трубы вниз).

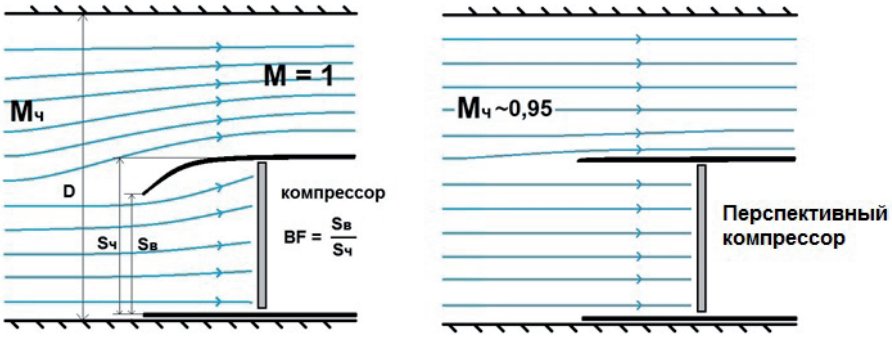



*Рис. 9. Адаптация Hyperloop существующих осевых компрессоров и потребный перспективный компрессор.*

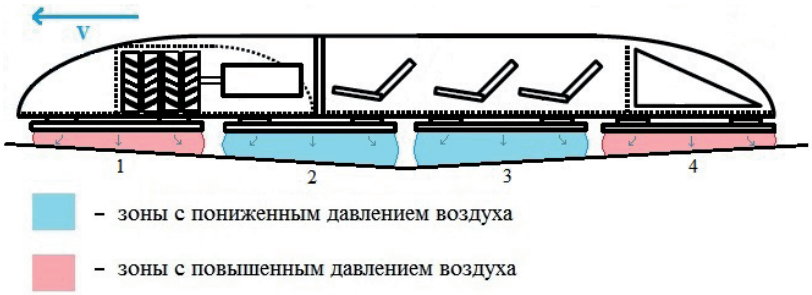



*Рис. 10. Формирование воздушных подушек при движения челнока по криволинейной траектории (пример № 1).*

Для простоты будем считать, что опор – 4 штуки. При движении челнока, независимо от того, является изгиб трубы плавным или ступенчатым, как на рис. 10, происходит перераспределение давлений воздуха под опорами.

Не вдаваясь в сложные уравнения движения челнока, поясним качественную сторону явления. Челнок преодолел прямолинейный участок, и ему необходимо начать смещение вверх. Для придания челноку вертикального ускорения должно произойти повышение давления в воздушных подушках вследствие сжатия воздуха, в показанном примере – под опорами 1 и 4. Это сжатие происходит из-за уменьшения толщины зазора между трубой и опорой. Одновременно зазор между опорами 2–3 и стенкой увеличивается, и давление газа под ними уменьшается.

То есть в определенный момент наблюдается следующая картина: давление под опорами 1 и 4 повышается и блокирует поступление сжатого воздуха из баллона под эти опоры, одновременно с этим давление под опорами 2 и 3 понижается.

Другими словами, при прохождении криволинейного участка «удерживающими» становится только часть опор, в которых блокируется дальнейшее образование воздушной подушки, в то время как оставшиеся опоры теряют удерживающие свойства.

Если в течение последующих 0,005 секунды (время преодоления воздушной опорой расстояния, равного её длине) кривизна траектории не исчезает – челнок попросту «съезжает» с поддерживающих его воздушных подушек 1 и 4 и задевает опорой 1 стенку трубы.

Оценка величины вертикального смещения для крайних опор, при котором для них блокируется поступление сжатого воздуха, дает 0,3 мм, или ~30 % от средней величины высоты парения 0,9 мм. Для челнока длиной 30 м это соответствует допустимому смещению трека 1 мм на 100 м пути, или смещению траектории на 0,011° (по-другому, радиус кривизны траектории – порядка 150 км).

Аналогичную картину можно видеть при изгибе трубы вверх (рис. 11).

Возможно ли создание трека с прочностными характеристиками, которые могли бы обеспечить соблюдение этих требований к траектории?

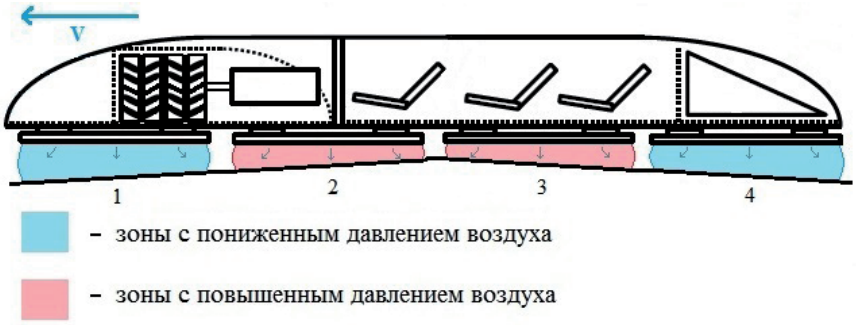



***Рис. 11. Формирование воздушных подушек при движения челнока по криволинейной траектории (пример № 2).***

Рассмотрим в качестве иллюстрации две вероятные причины искривления трека.

Первая причина. Рассчитаем величину максимального прогиба $y_{max}$ стальной трубы длиной L = 30 м (эта величина соответствует шагу установки бетонных опор) и толщиной стенок 2 см, лежащей на двух опорах [7]:

$$y_{max} = -\frac{5}{384}\frac{qL^4}{EJ},$$

где q ≈ 10,5 кг/см – распределенная нагрузка при прохождении челнока;

E ≈ 2,1•10$^6$ кг/кв. см – модуль упругости стали;

$J = \frac{\pi}{64}\left(D_{внеш}^{\ 2} - D_{внутр}^{\ 2}\right)$ – момент инерции трубы, где

$D_{внеш}$, $D_{внутр}$ – внешний и внутренний диаметры трубы соответственно.

После подстановки этих численных значений получаем $y_{max}$ = 1,2 см, что в 40 раз превышает допустимое значение отклонения траектории – треки требуют многократного усиления.

Вторая причина. Кратковременные периодические и вместе с тем достаточно сильные вертикальные воздействия на бетонные опоры, возникающие при прохождении 15-тонного челнока, будут приводить к постепенной трамбовке грунта под ними, причем неодинаковой в силу неоднородности грунта. В ряде случаев проседание будет ещё и трудно выявить (ситуация сравнима с прогибом рельсов под движущимся поездом: в состоянии покоя рельсы прямые, а при прохождении поезда – изгибаются). Чтобы избежать негативные последствия этого фактора, потребуется большее резервное усиление трубы.

Если же учесть другой фактор, влияющий на эксплуатацию транспорта, – расширение тел при нагревании, то получим следующее. Коэффициент линейного расширения бетона составляет 0,00001 м/(м•K). При дневном колебании температуры в 10°C и высоте бетонной опоры более 10 м это дает ежесуточное изменение её высоты, а значит, и перепад высоты траектории в 1 мм.

Следовательно, для прокладки трассы Hyperloop нужно предусматривать гораздо более сложные инженерные сооружения, которые могли бы в автоматическом режиме обеспечивать отклонение траектории трассы на величины не более 1 мм/100 м пути в любое время суток любого времени года.

Как сказано выше, последняя из этих проблем является критической для системы в целом, поскольку увеличение высоты парения физически невозможно из-за ограничения по числу Рейнольдса. Следовательно, требуется отдельное исследование самой возможности автоматического управления (САУ) челноком при движении по криволинейной траектории. В отчёте Илона Маска о создании подобной системы, равно как и необходимости её существования, упоминаний нет.

На данном этапе проработки Hyperloop можно лишь сформулировать основные требования, которым должна удовлетворять эта САУ:

– точность измерения положения челнока в вертикальной плоскости – не более 0,2 мм;

– быстродействие измерения и подачи управляющих воздействий на органы управления – не более 0,005 с.

Возможными органами управления челноком могут быть дополнительные воздушные опоры, способные к кратковременному разовому повышению давления под ними. Для этого избыток воздуха после компрессора (0,29 кг/с) следует сжимать существенно больше, чем до 11000 Па, и собирать в отдельный баллон. Требования к кривизне траектории при этом не исчезнут, а будут только уменьшаться пропорционально степени сжатия дополнительного воздуха.

Другим способом решения проблемы могла бы стать магнитная левитация, использующаяся в поездах на магнитной подушке (маглевы). Но тогда проект Hyperloop перерождается, по сути, в тот же самый маглев, но переусложненный наличием труб и всего, что связано с обеспечением форвакуума в этих трубах, хотя и дающий выигрыш в затратах энергии на движение челноков. Скорость современных поездов на магнитной подушке далека от 1000 км/ч в том числе по причине удержания поезда на траектории. И если стоимость строительства трассы маглева доходит до 100 млн USD/км, то какова будет стоимость маглева в вакуумной трубе, и насколько правдоподобна будет экономика проекта (согласно рис. 1) – вопрос, требующий отдельного исследования.

## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ проекта Hyperloop обрисовывает круг технических проблем, которые необходимо решить до начала строительства полноценной транспортной системы. Это:

– создание надёжных быстродействующих шлюзов в местах прохождения челнока со станции в трек и обратно;

– проверка способности комплекса вакуумных насосов эффективно бороться с утечками воздуха и поддерживать рабочее давление 100 Па в объекте общей ёмкостью более 2 куб. км;

– исследование устойчивости поддерживающей воздушной подушки в условиях форвакуума и с учётом высокой скорости движения;

– получение экспериментальной базы с целью расчётов критического числа Рейнольдса для объёмно-симметричных течений с конфигурацией, соответствующей форме удерживающей струи;

– создание надёжной автономной системы охлаждения с учётом требования её перезарядки на станции за минимально возможное время;

– адаптация существующих или разработка компрессоров нового типа, способных устойчиво работать при числах M входящего потока не менее 0,95;

– изучение усталостных прочностных характеристик стальной трубы и поддерживающих опор в условиях кратковременного интенсивного периодического нагружения их массой порядка 15 тонн;

– подтверждение устойчивости парения челнока, опирающегося на воздушную подушку, при движении по криволинейной траектории и в условиях естественного изгибания трубы.

Без решения этих задач вопрос реализуемости проекта Hyperloop с заявленными технико-экономическими характеристиками останется открытым.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Отчёт «Hyperloop Preliminary Design Study Technical Section». [Электронный ресурс]: http://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha-20130812.pdf. http://teslamotors.com/Доступ 06.02.2017.

2. Дзензерский В. А., Омельяненко В. И., Васильев С. В., Матин В. И., Сергеев С. А. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией.– Харьков: Изд-во Харьковского политехнического института, 2001.– 481 с.

3. Ежи Бень. Модели и любительские суда на воздушной подушке.– Ленинград: Судостроение, 1983.– 128 с.

4. Вопросы проектирования малых судов на воздушной подушке // Катера и яхты.– 1965.– № 4. [Электронный ресурс]: http://www.barque.ru/shipbuilding/1965/design_considerations_small_hovercraft/. Доступ 06.02.2017.

5. Федяевский К. К., Войткунский Я. И., Фадеев Ю. И. Гидромеханика.– Ленинград: Судостроение, 1968.– 568 с.

6. Jeffrey C. Chin, Justin S. Gray, Scott M. Jones, Jeffrey J. Berton. «Open-source conceptual sizing models for the Hyperloop Passenger Pod». NASA Glenn Research Center, Cleveland, OH, 2015.– P. 18.

7. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов.– Киев: Наукова думка, 1975.– 704 с.

Координаты авторов: **Смирнов А. В.** – smirnov@tsagi.ru, **Егошин С. Ф.** – sergey4791@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 06.02.2017, принята к публикации 15.03.2017.

# HYPERLOOP: TECHNICAL RISKS AND PROSPECTS

***Smirnov, Andrey V.,*** *Central Aerohydrodynamic Institute n.a. A. E. Zhukovsky (TsAGI), Zhukovsky, Moscow region, Russia.*

***Egoshin, Sergey F.,*** *Central Aerohydrodynamic Institute n.a. A. E. Zhukovsky (TsAGI), Zhukovsky, Moscow region, Russia.*

## ABSTRACT

The article is devoted to the technical analysis of Hyperloop high-speed land transport project, interest in construction of which has increased significantly recently. The basic technologies are briefly considered, with the help of physical calculations the basic design characteristics are specified. Technical risks are identified, some of which may affect the initial configuration of the project, while others call into question the very possibility of its implementation. The carried out researches allow to give the conclusion about expediency of the further work on creation of high-speed transport system Hyperloop and to formulate a list of priority research tasks which are necessary to be realized for the project becomes successful.

*Keywords: Hyperloop, vacuum overpass, shuttle, high-speed transport, transport systems of the future, new technologies, technical risks.*

**Background.** *The growth of population of the Earth inevitably leads to aggravation of various kinds of problems, including transport problems. The search for solutions to these problems occurs both through modernization of the existing transport infrastructure and creation of new systems.*

*In this vein, the Hyperloop project is of great interest in many countries of the world, where geographical conditions require further development of transport, availability of the most accessible and high-speed system for moving cargo and passengers, which significantly improves interconnectedness of regions and individual territories within state territorial entities.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider technical risks and prospects of Hyperloop project.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, mathematical apparatus.*

**Results.**

**Brief background of the project**

*The Hyperloop project was introduced by Elon Musk in 2013 and was originally proposed for implementation in the State of California (USA). It is based on an original combination of technical solutions involving pipeline transport, aerospace technologies and an alternative source of energy – solar radiation.*

*It should be noted that the idea of pipeline cargo-and-passenger transport (in other words, a transport using a sealed long pipe with discharged air as a shell of a path for moving objects between two points of communication) is not new. It arose at the end of 18th century and found its embodiment in the form of pneumatic mail, which exists to this day, for example, in the Russian State Library, as well as in various prototypes, including:*

*– Thomas Rammell pneumatic railways (London, 1864) and Beach Pneumatic Transit (New York, 1870);*

*– Vacuum trains on magnetic cushion of H. Kemper (Germany, 1934) and N. Ozawa (Japan, 1969).*

*By 20th century, the development of technology has made it possible to introduce new components into the idea of pipeline transport, which gives us grounds to talk about Hyperloop as of a new form of transport, and, according to Musk himself, as of a revolutionary breakthrough in transportation organization (Pic. 1).*

*Below is the technical analysis of the project. The basis is preliminary concept of Hyperloop [1]. Most of the key characteristics are rechecked.*

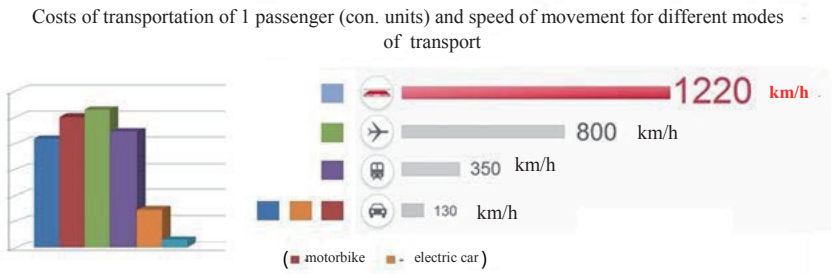
**Analysis of technology readiness**

*Hyperloop is a high-speed cargo and passenger transport system consisting of the following main parts.*

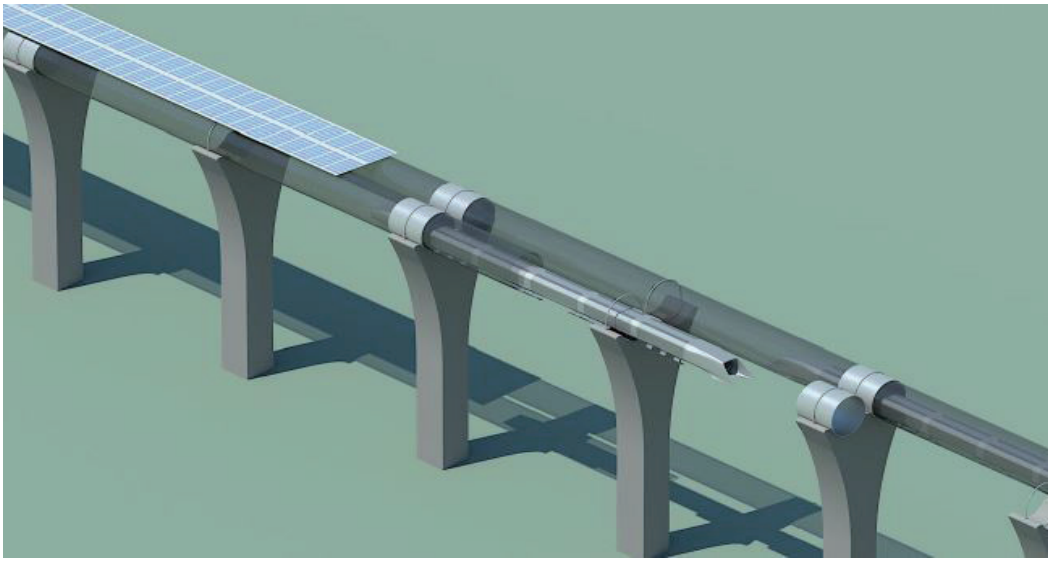
*Overpass: steel cylindrical pipes with a diameter of 2–3 m and a wall thickness of 2–2,5 cm welded in two pipelines (one for movement «there», the other for «back» movement) and mounted on concrete supports with a height of 6–30 m (Pic. 2). Inside the pipes the shuttles with passengers move from station to station with a declared frequency of 2 minutes. The technology of construction of loaded pipelines has long been worked out, for example, in the oil and gas industry, and no special difficulties are foreseen in this.*

*Low vacuum system in the overpass: a set of vacuum pumps with which a pressure of 100 Pa is created and maintained inside the sealed pipes, the so-called forvacuum. This system is quite easy to be implemented, since modern industrial vacuum pumps are of moderate cost, have high reliability and sufficient capacity (~1 $m^3$/s at the indicated outlet pressure).*

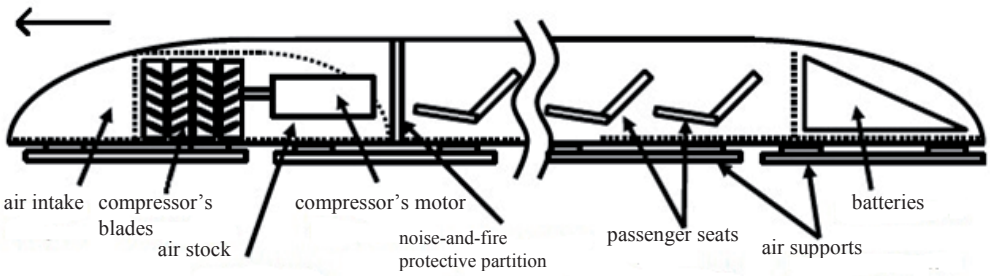
*Stations: facilities, inside which embarkation / disembarkation of passengers, recharging of*




***Pic. 1. The declared technical and economic characteristics of Hyperloop [1].***



*Pic. 2. General view of the Hyperloop path fragment.*




*Pic. 3. Schematic structure of the passenger shuttle Hyperloop.*

*cooling system and storage batteries of transport shuttles take place. Unlike ordinary landing stations they are characterized by the presence of a system of high-speed locks at the junction with the main overpass.*

*Freight-passenger shuttles: a fleet of vehicles of the same type, each of which has a cylindrical shape, a length of about 30 m and a cross-sectional area of about 1,4 sq. m. The shuttle is structurally close to fuselages of modern aircrafts. The movement of shuttles inside the pipeline on the main part of the route takes place according to the principle of an air-cushion vessel (ACV), that is, without the use of wheels (Pic. 3). Air to the supports of the air support is fed with a frontal air intake and an axial compressor, powered by on-board batteries.*

*Acceleration and deceleration system of shuttles: built on the principle of electromagnetic induction for linear rotor and stator, while the stator is attached to the walls of the overpass, and the rotor – under the bottom of the shuttle. Acceleration takes place on a section about 10 km long, adjacent to the station, then the shuttle moves by inertia (which is permissible under forvacuum conditions with minimal energy losses), and braking occurs in the same way. The acceleration / deceleration time, provided that the passenger is relatively comfortable to carry a horizontal acceleration of 0,5 g, is about 1 minute. In spite of the fact that electromagnetic induction is used everywhere in all areas where electric motors or electric generators are used, in the described configuration – linear rotor and stator – the named physical principle is just beginning to be approved. However, its successful feasibility has already been proved in the military field (the electromagnetic catapult EMALS of the aircraft carrier «Gerald R. Ford» [2], electromagnetic guns).*

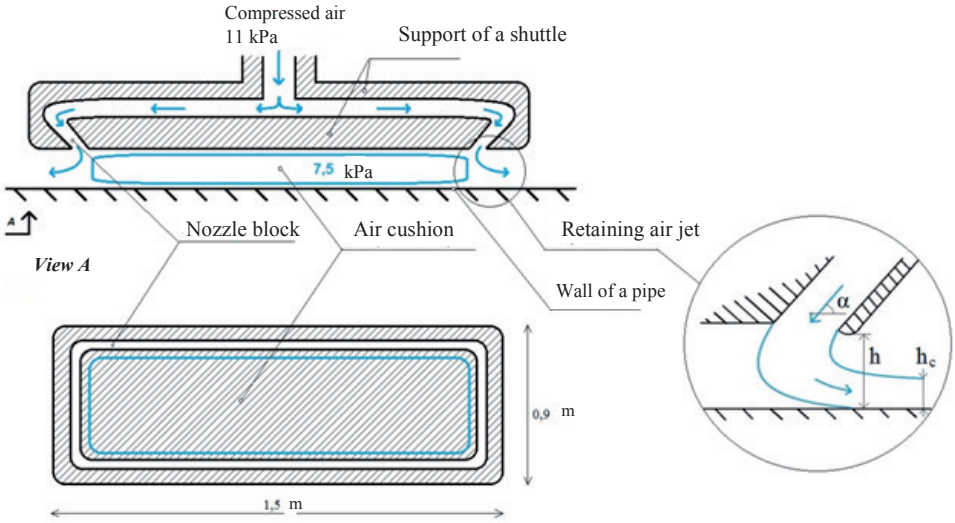
*Power supply system: rows of solar batteries mounted above the tracks. The projected capacity, generated by such batteries, is 120 W / sq. m, which gives a total capacity of up to 285 MW at the peak of solar activity, or 57 MW in the average daily calculation, and this completely covers the energy needs of Hyperloop of 21 MW [1]. The excess of absorbed solar energy and the energy converted into electric energy during the deceleration of the shuttle are stored in stationary storage batteries, which allows achieving the declared energy balance characteristics.*

**Analysis of technical risks**

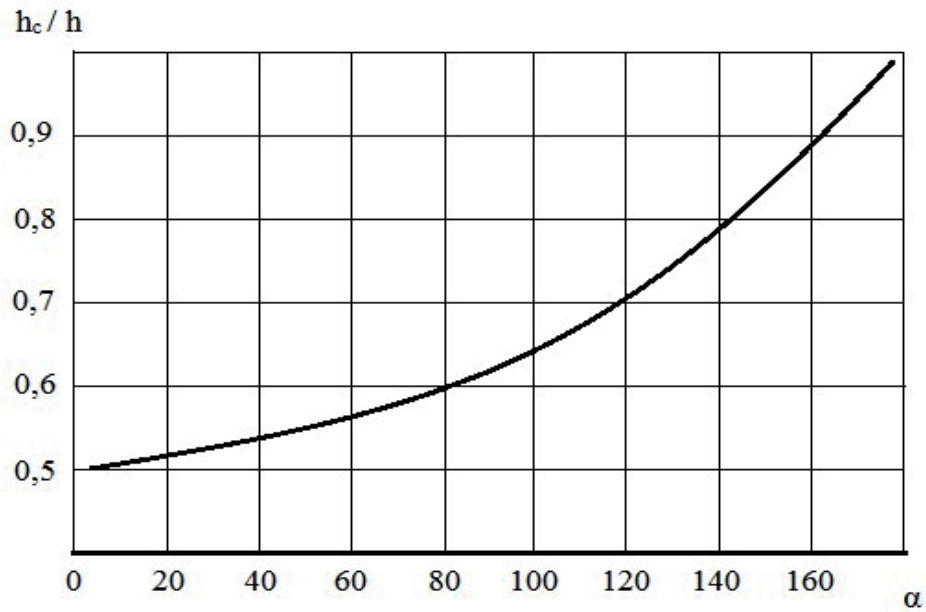
*As you can see, the project is a combination of previously known and to some extent mastered technologies. However, the apparent simplicity should not be misleading: at the junction of these technologies some new technical solutions are born that require serious research before the construction of the Hyperloop route.*

***1) Stability of the supporting air cushion in forvacuum.***

*The main differences between the Hyperloop air cushion from other areas in which ACV technology is used are high speed and the presence of forvacuum as an environment instead of the usual atmosphere.*




***Pic. 4. Arrangement of the air support of the shuttle Hyperloop.***




***Pic. 5. The relationship between the parameters of the nozzle block of the air support.***

*Unfortunately, the concept [1] does not contain a detailed description of air supports, but only individual technical details of the design and characteristics of the air cushion. Therefore, we assume that the most optimal variant, taken from real ACV, is the nozzle circuit with peripheral rigid nozzles (Pic. 4).*

*The weight of the Hyperloop shuttle is maintained by the air pressure in the air cushions created under 28 supports of 1,35 sq. m each. The total area of the supports in the projection to the horizontal plane is approximately 32 sq. m, and they are mounted in pairs along the entire length of the shuttle (14 pairs).*

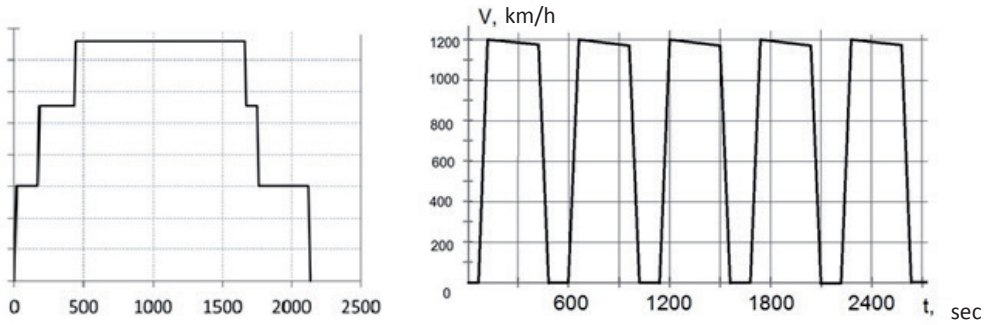
*According to the terminology of ACV [3], the gap between the support and the wall of the tube h is called the hover height, and it is fundamentally different from the thickness of the retaining jet $h_c$ flowing into the surrounding space. It is indicated in [1] that h ~0,9 mm, and the reasons for choosing such a hover height are not indicated, although it is additionally noted that at a shuttle speed of 1200 km / h (or ≈ 330 m / s) and an ambient forvacuum pressure of 100 Pa air in the amount of 0,49 kg / s enters the inlet of the shuttle air intake, and 0,2 kg / s is sufficient to hold the air cushions under all 28 supports.*

*One of the factors determining the hover height is precisely the thickness of the retaining jet $h_c$. The relationship between h and $h_c$ is determined by the choice of the angle of inclination of the nozzle α and is determined by means of the graph (Pic. 5) [4].*

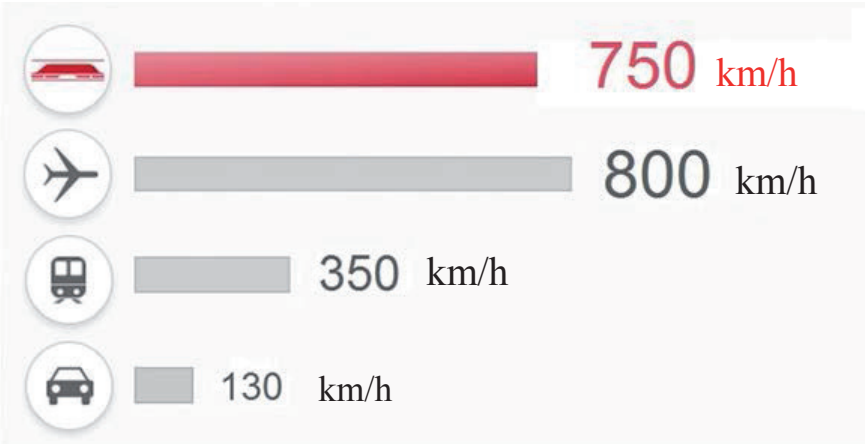
*In the subsequent calculations we shall simplify to assume that $h_c$ ~ 0,5 h.*

*The equation of the balance of the incoming and outgoing air masses gives the thickness of the jet*

$$h_c = \frac{m_{ext}}{V_c\, L_{per}\, \rho_c\, N_{\sup}}, \qquad (1)$$




***Pic. 6. Advertising [1] and real shuttle speed charts on the Los Angeles–San Francisco section, S = 550 km.***




***Pic. 7. Real comparison of the speeds of Hyperloop and other transport modes.***

*where $V_c$ is speed of the air jet flow, $\rho_c$ – air density of the jet, $N_{sup}$ is the number of air supports, $L_{per}$ is the perimeter of the air cushion (~ 3 m).*

*Since the flow of the jet occurs in the forvacuum, at the exit from the air support, the speed of flow $V_c$ reaches the critical value V*. Assuming that the air channels leading from the compressed air cylinder to the air supports are optimally designed, from the experience of the ACV design this gives a pressure loss of the order of 30 % [3]. Also assuming that the gas flow is laminar (a necessary condition for a stable air cushion retention) and viscous (which on the average slows down the jet by a factor of 2, $V_c \approx 0{,}5V^*$), using the hydrodynamic equations of the flow of a compressible gas, we find that $V_c \approx 170$ m/s, $\rho_c \approx 0{,}035$ kg/m$^3$, and from (1): $h_c \approx 0{,}001$ m, or $h \approx 0{,}002$ m (2 mm).*

*It would seem that the average hover height of the shuttle can be more than doubled. In fact, the determining factor for the laminar flow of such a retaining jet is the Reynolds number:*

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{Vc} \bullet \mathrm{hc}}{\nu}, \qquad (2)$$

*where $V_c$ is average flow speed of the jet, $h_c$ is characteristic linear dimension, in our case – jet thickness, $\nu \sim 0{,}0006$ m$^2$/s is the kinematic coefficient of viscosity of the air in the jet with the parameters described in [1].*

*For flows with the closest geometric configuration, the critical value $Re_{cr} \sim 420$ [5]. Then it follows from (2): for the flow of the retaining jet to be laminar, it is necessary to reduce the gap between the support and the wall by at least 2 times, that is, up to the value h ~ 0,9 mm given in [1]. And this restriction is immutable.*

*We recall that the above theoretical calculations are based on a number of assumptions that determine the stability of the air cushion. Moreover, the NASA report [6] on the Hyperloop problem notes that it is the presence of forvacuum that contributes to formation of a steady flow of air under the air support, and the flow does not break up into separate movements of individual molecules. The movement of the support relative to the wall of the pipe only leads to curvature of the cushion by frictional forces in the direction opposite to the direction of motion, but again does not lead to destruction of the cushion [1].*

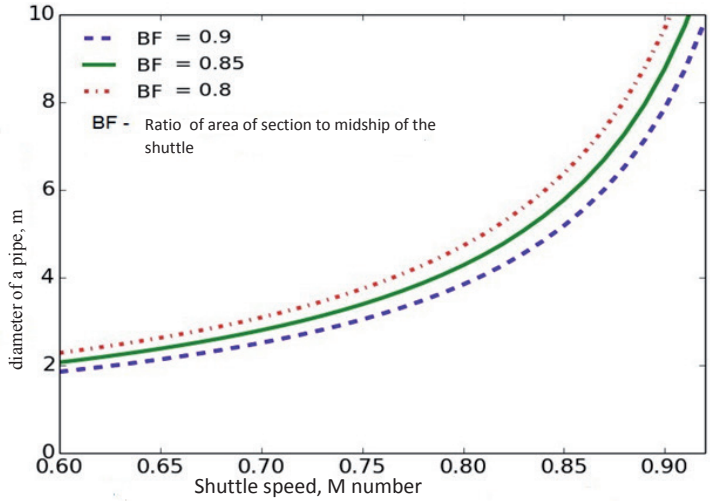
*To verify the correctness of these statements, not only reliable numerical simulation is needed, but also a series of experiments in forvacuum with moving ACV, which is new in science and technology.*

***2) Autonomous cooling system.***

*Since the shuttle moves in an environment close to the vacuum state, and various units and systems operate on the shuttle, an on-board autonomous cooling system is required.*

*The task of creating such a system is noteworthy, because previously on all passenger vehicles the heat transfer has been lead to the environment.*

*The fact is that during the shuttle movement a large amount of heat is released (about 100 MJ per 100 km of the track), which should be removed from compressors, air cushion supports, air conditioners and other operating units, otherwise they will be heated to temperatures of 700°C. Since the shuttle moves in the forvacuum, then it is extremely*




***Pic. 8. Dependence of the number M, achievable by the shuttle, on the diameter of the pipe in which it moves (preliminary calculations [6]).***

*problematic to realize heat transfer to the environment, firstly, the total heat capacity of the forvacuum is small, and secondly (even if the first was possible), the second shuttle going beyond the first would move in an unbalanced mode – in preheated to more than 100°C forvacuum. And so the increase will be observed cumulatively for the third, fourth, fifth... shuttle.*

*To avoid the cumulative heat effect, a single network of heat exchangers is installed on the shuttle, through pipelines connected to the central heat exchanger, in which there is a water supply $m_{water}$ = 290 kg.*

*The design of the cooling system in the initial configuration presupposes the heating of water to 100°C, steam generation and further heating of the steam to 125°C. The total heat capacity of such a system:*

$$Q_{sh} = m_{water} (C_{water}\Delta T_1 + C_{steam} + C_{p\ steam}\Delta T_2), \qquad (3)$$

*where $C_{water}$ = 4180 J/(kg K) is specific heat capacity of water;*

*$\Delta T_1$ = 75 K – change in water temperature when heated to 100°C;*

*$C_{steam}$ = 2260 kJ/K is specific heat of steam formation;*

*$C_{p\ steam}$ = 2020 kJ /(kg K) is specific heat capacity of water steam;*

*$\Delta T_2$ = 25 K is change in steam temperature when heated to 125°C.*

*Calculation of the heat capacity of such a cooling system gives $Q_{sh}$ = 760 MJ, and this is sufficient to ensure the movement of the shuttle in a 660 km non-stop section (comparable to the distance from Moscow to St. Petersburg). And the reserve is set for safety in case of emergency situations, when shuttle traffic stops and passengers wait for evacuation in shuttles much longer than planned, and the life support system (air-conditioning) must work without failures.*

*However, [1] does not explicitly state that water as a coolant passes from a liquid state to a steam state, although the word «steam» is used. In order for the cooling system to work in this case, it must be divided into subsystems: in one there is heating of the cooling water, in the other – cooling by evaporation, in the third – heating of water steam. At present, there are no aggregates of this level of complexity; it is much easier to increase the pressure in the system and the amount of coolant without converting it to another state.*

*In addition, as rightly noted [6], containers with superheated steam would increase the length of the shuttle by several tens of meters.*

*Therefore, in order to simplify the functioning of the transport system in the light of the cooling problem of a moving shuttle, intermediate stations are mandatory, and they are envisaged by the project at every 110 km. In one such section of the path, up to 100 MJ is released, and this amount of heat can be completely absorbed by this water supply without evaporation.*

*When stopping at these stations, the cooling system must be recharged: an empty water tank and a hot water tank are replaced respectively with a full cold water tank and an empty tank.*

*However, let's see how this will affect the characteristics of the shuttle's motion (Pic. 6).*

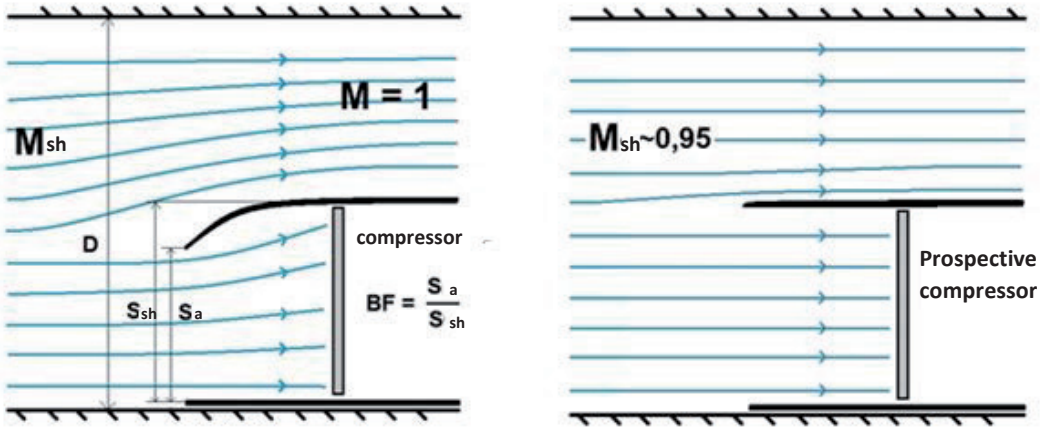
*In both cases, the total area under the curve gives a path of 550 km. At the same time, as can be seen, the need for intermediate stops significantly reduces the average speed of the shuttle movement – up to 750 km / h. And then the real comparison of speeds, in contrast to the advertising one (Pic. 1), should correspond to Pic. 7.*

*Thus, Hyperloop does not have a revolutionary gain in the speed of transporting passengers, as stated in the concept [1], and the constant acceleration and braking is extremely detrimental to the comfort of the trip.*

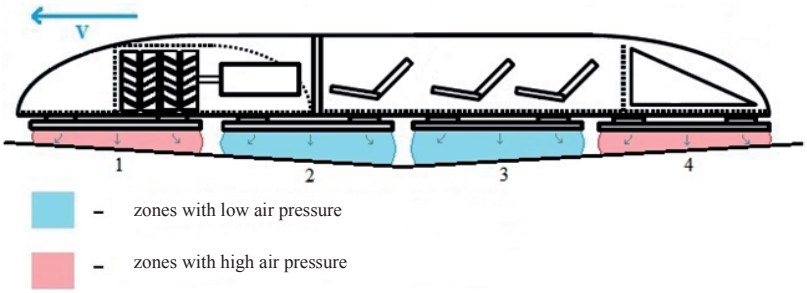
*However, it should be noted that the shuttle can be redesigned to ensure non-stop traffic. In this case, its mass will increase by about 10 %, which will lead to a slight change in other parameters and characteristics of the movement and significantly complicate the technique of recharging the cooling system (instead of a tank with water of 290 kg, a tank with 1500 kg of water will be installed, also heated during the process up to almost temperature of boiling water).*

***3) Transonic movement of bodies in a channel with a compressible medium.***

*Long-term movement of the body in a pipe with a compressible medium at a speed close to the speed*




*Pic. 9. Adaptation of Hyperloop existing axial compressors and the required advanced compressor.*




*Pic. 10. Formation of air cushions when the shuttle moves along a curved trajectory (example No. 1).*

*of sound (the speed of propagation of disturbances) is a new technical problem, which was not previously required to be solved, since there are no transport systems that include such a movement.*

*In [1] it is stated that in the version with purely passenger shuttles the pipe has an internal diameter of 2,23 m (or a cross-sectional area of 3,9 sq.m), while the shuttle is about 1 m (1,4 sq. m is respectively shuttle maximum cross-section).*

*This ratio of the shuttle diameters to the pipe is optimal for the transonic motion of a piston of diameter d in a hollow cylinder with a wall diameter D filled with a compressible medium (conditionally, the «syringe» problem). Let us consider the qualitative aspect of this phenomenon.*

*When the piston moves in a compressible medium, it experiences additional resistance associated with the effect of the walls: $X = X_a + X_{add}$, where X is the total resistance, $X_a$ is the aerodynamic and viscous resistance of the medium, $X_{add}$ is the additional resistance caused by the influence of the pipe walls.*

*If d/D ~ 1, then there are two solutions for $X_{add}$ to obtain the optimum piston speed: the piston moves at a speed much lower than the speed of sound in this medium, and the piston moves with supersonic speed. In the first case, the medium flows smoothly around the piston. In the second case, perturbations from the motion of the piston do not propagate upstream. At intermediate values of speed, however, the contribution of additional resistance is quite weighty: the piston is forced to «push» most of the compressible medium ahead of itself according to the principle of a syringe. This phenomenon can be observed, for example, in the metro: when a train arrives at the station, a very long and intense wind blows from the tunnel first.*

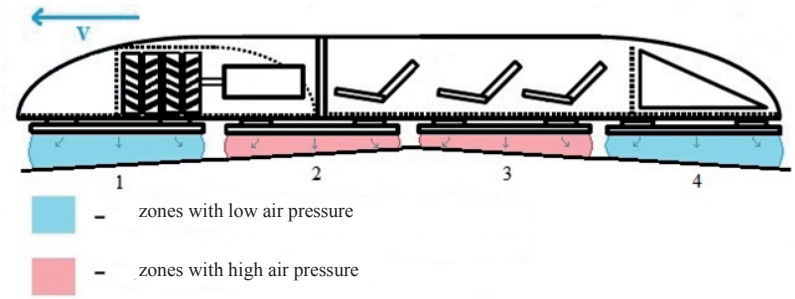
*If, however, d/D<<1 (in the limit D→∞), then the effect of the walls on the piston is practically zero and normal flow around the body by the medium is observed.*

*Obviously, for d/D < 1 in our case, there is an intermediate conditional relation d/D separating the flow according to the principles the «wall effect is present» and the «wall effect is practically absent». In [1] it is indicated that this intermediate value can be obtained from the theoretical work of Arthur Kantrowitz. For Hyperlooop, d/D ≈ 0,6 at a pipe pressure of 100 Pa.*

*This ratio of diameters should be observed to minimize the effect of compressibility and frictional forces that arise from interaction of walls of the track and the shuttle, even despite forvacuum.*

*In [6] they refer to their own calculations, which show that for real air intakes where air retardation is required in front of the compressor, the pipe diameter should be increased to at least 4 m provided that the shuttle achieves a speed corresponding to the Mach number M = 0,8 (~1000 km/h, Pic. 8).*

*The above NASA calculations are based on the assumption that the air intake is built on the principle of a diffuser, and the compressor is axial, so it is necessary to slow the flow of air before its first stage. This is due to the fact that existing axial compressors, due to structural and other requirements, have a limitation on the number M of the incoming flow M < 0,75. At the same time, compressors of a different type (for example,*




***Pic. 11. Formation of air cushions during the movement of the shuttle along a curvilinear trajectory (example No. 2).***

*centrifugal ones) are able to work stably at large numbers M of the incoming flow. Moreover, the question is whether it is possible to create principally new compressors designed for highly specialized conditions in Hyperloop (Pic. 9).*

*Thus, to answer the question about which d/D ratio is to be chosen, and what is the dependence of achievable M on the diameter D, additional experiments, including experimental design, are required. Without this, the average speed of the shuttles will be even lower than 750 km/h.*

***4) Stability of shuttle hovering.***

*The most difficult technical problem to be solved when creating Hyperloop, is the stability of shuttle hovering.*

*The characteristics of the shuttle, given in [1] and other sources, were calculated assuming that the shuttle moves rectilinearly over a flat surface, and its weight is evenly distributed over all 28 supports.*

*Let us consider the real case of the motion of the shuttle, namely, motion along a curved trajectory. This can be the descent, lifting, turning of the pipeline or the natural curvature of the pipes under the influence of their own weight, due to thermal expansion, subsidence under the concrete supports, fatigue failure or deformation of concrete supports and pipe fastenings to these supports against multiple impact of a 15 ton impact load while shuttle is moving, pipe vibrations and other causes.*

*Let the considered section be the lifting of the shuttle (or the deflection of the pipe downwards). For simplicity, we assume that there are 4 supports. When the shuttle moves, regardless of whether the bend of the pipe is smooth or stepped, as in Pic. 10, there is a redistribution of air pressures under the supports.*

*Without going into the complicated equations of motion of the shuttle, let us explain the qualitative aspect of the phenomenon. The shuttle overcame the straight section, and it needs to start shifting upwards. To give the shuttle vertical acceleration, air pressure should increase in air cushions due to air compression, in the example shown – under supports 1 and 4. This compression occurs due to reduction in thickness of the gap between the pipe and the support. At the same time, the gap between the supports 2–3 and the wall increases, and the gas pressure below them decreases.*

*That is, at a certain moment the following pattern is observed: the pressure under supports 1 and 4 increases and blocks the flow of compressed air from the cylinder under these supports, at the same time the pressure under supports 2 and 3 decreases.*

*In other words, when moving on the curved section, only a part of the supports in which the further formation of the air cushion is blocked becomes holding or retaining, while the remaining supports lose their holding properties.*

*If the curvature of the trajectory does not disappear within the next 0,005 seconds (the time when the air support overcomes the distance equal to its length), the shuttle simply «goes down» from the air cushions 1 and 4 supporting it and touches the pipe wall with the support 1.*

*An estimate of the magnitude of the vertical displacement for the extreme supports, at which the intake of compressed air is blocked, gives 0,3 mm, or ~ 30 % of the mean value of the hover height of 0,9 mm. For a 30 m shuttle this corresponds to* **an allowable track displacement of 1 mm per 100 m of track**, *or a trajectory displacement of 0,011° (in another way, the radius of curvature of the trajectory is about 150 km).*

*A similar picture can be seen when the pipe is bent upwards (Pic. 11).*

*Is it possible to create a track with strength characteristics that could ensure compliance with these requirements for the trajectory?*

*Let's consider two possible causes of curvature of a track as an illustration.*

*<u>The first reason.</u> We calculate the value of the maximum deflection $y_{max}$ of a steel pipe of length L = 30 m (this value corresponds to the step of installing concrete supports) and a wall thickness of 2 cm lying on two supports [7]:*

$$y_{max} = -\frac{5}{384}\frac{qL^4}{EJ},$$

*where q ≈ 10,5 kg/cm is the distributed load during the passage of the shuttle;*

*$E \approx 2{,}1 \cdot 10^6$ kg/sq.cm is the modulus of elasticity of steel;*

$J = \frac{\pi}{64}\left(D_{ext}^2 - D_{int}^2\right)$ *is moment of inertia of the pipe, where*

*$D_{ext}$, $D_{int}$ are external and internal diameters of the pipe, respectively.*

*After substituting these numerical values, we get $y_{max}$ = 1,2 cm, which is 40 times higher than the allowable trajectory deviation value – the tracks require multiple amplification.*

*<u>The second reason</u>. Short-term periodic and at the same time fairly strong vertical impacts on concrete supports that arise when a 15-ton shuttle pass, will lead to gradual ramming of the ground beneath them, which is not uniform due to the heterogeneity of the ground. In some cases, subsidence will also be difficult to be identified (the*

*situation is comparable with the deflection of rails under a moving train: at rest, the rails are straight, and when the train passes, they bend). In order to avoid the negative consequences of this factor, a larger backup tube strengthening will be required.*

*If we take into account another factor affecting the operation of transport, the expansion of bodies with heating, we get the following. The coefficient of linear expansion of concrete is 0,00001 m/(m•K). With a daily temperature variation of 10°C and a concrete support height of more than 10 m, this gives a daily change in its height, and hence a height difference of 1 mm.*

*Therefore, for laying of the Hyperloop route, it is necessary to provide much more complex engineering structures that could automatically ensure the deviation of the trajectory of the route by values not exceeding 1 mm / 100 m of the track at any time of the day of any season.*

*As stated above, the latter of these problems is critical for the system as a whole, since increasing the hover height is physically impossible due to the Reynolds number restriction. Therefore, a separate research of the very possibility of automatic control (ACS) by the shuttle is required when traveling along a curved trajectory. Elon Musk's report on creation of such a system, as well as the necessity of its existence, does not mention it.*

*At this stage of development of Hyperloop only the basic requirements that this ACS should satisfy can be formulated:*

*– accuracy of measuring the position of the shuttle in the vertical plane – no more than 0,2 mm;*

*– speed of measurement and supply of control actions to the control bodies– no more than 0,005 s.*

*Possible control bodies for the shuttle can be additional air supports capable of short-term, one-time increases in pressure below them. To do this, excess air after the compressor (0,29 kg / s) should be compressed significantly more than up to 11000 Pa, and be collected in a separate cylinder. Requirements to the curvature of the trajectory will not disappear, but will only decrease in proportion to the degree of compression of the additional air.*

*Another way to solve the problem would be magnetic levitation, used in trains on magnetic cushion (maglev). But then the Hyperloop project is reborn, in fact, into the same maglev, but over-complicated by the presence of pipes and everything related to providing forvacuum in these pipes, although it gives a gain in energy costs for the movement of shuttles. The speed of modern trains on magnetic cushion is far from 1000 km / h including due to the retention of the train on the trajectory. And if the cost of construction of the maglev route reaches 100 million USD / km, what will be the cost of the maglev in the vacuum pipe, and how feasible the project economy will be (according to Pic. 1) that is a question requiring a separate study.*

**Conclusion.** *The analysis of the project Hyperloop outlines the range of technical problems that need to be solved before the construction of a full-fledged transport system. They include:*

*– creation of reliable high-speed locks in the places of passage of the shuttle from station to track and back;*

*– checking the ability of a complex of vacuum pumps to effectively combat air leaks and maintain a working pressure of 100 Pa in an object with a total capacity of more than 2 cubic km;*

*– searching for stability of the supporting air cushion under forvacuum conditions, taking into account the high speed of movement;*

*– obtaining an experimental base for calculation of the critical Reynolds number for volume-symmetric flows with a configuration corresponding to the shape of the retaining jet;*

*– creation of a reliable autonomous cooling system, taking into account the requirement of its recharging at the station for the shortest possible time;*

*– adaptation of existing or development of compressors of a new type capable of stable operation with an inlet flow number M of not less than 0,95;*

*– study of fatigue strength characteristics of steel pipe and retaining supports under conditions of their short-term intensive periodic loading by mass of about 15 tons;*

*– confirmation of stability of hovering of a shuttle resting on an air cushion, while moving along a curved trajectory and under conditions of natural bending of the pipe.*

*Without solving these problems, the issue of feasibility of the Hyperloop project with the stated technical and economic characteristics will remain open for discussion.*

## REFERENCES


1. Report «Hyperloop Preliminary Design Study Technical Section». [Electronic resource]: http://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha-20130812.pdf. Last accessedhttp://teslamotors.com/ 06.02.2017.

2. Dzenzersky, V. A., Omelyanenko, V. I., Vasiliev, S. V., Matin, V. I., Sergeev, S. A. High-speed magnetic transport with electrodynamic levitation [*Vysokoskorostnoj magnitnyj transport s elektrodinamicheskoj levitaciej*]. Kharkov, Publishing house of Kharkov Polytechnic Institute, 2001, 481 p.

3. Jerzy Ben. Models and amateur ships on an air cushion [*Modeli i ljubitel'skie suda na vozdushnoj podushke*]. Leningrad, Sudostroenie publ., 1983, 128 p.

4. Problems of the design of small ships on an air cushion [*Voprosy proektirovanija malyh sudov na vozdushnoj podushke*]. *Katera i jahty*, 1965, Iss. 4. [Electronic resource]: http://www.barque.ru/shipbuilding/1965/design_considerations_small_hovercraft/. Last accessed 06.02.2017.

5. Fedyaevsky, K. K., Voytkunsky, Ya.I., Fadeev, Yu. I. Hydromechanics [*Gidromehanika*]. Leningrad, Sudostroenie publ., 1968, 568 p.

6. Jeffrey C. Chin, Justin S. Gray, Scott M. Jones, Jeffrey J. Berton. «Open-source conceptual sizing models for the Hyperloop Passenger Pod». NASA Glenn Research Center, Cleveland, OH, 2015, p. 18.

7. Pisarenko, G. S., Yakovlev, A. P., Matveev, V. V. Reference book on the resistance of materials [*Spravochnik po soprotivleniju materialov*]. Kiev, Naukova dumka publ., 1975, 704 p.



Information about the authors:
**Smirnov, Andrey V.** – Ph.D. (Eng), deputy head of the department of Central Aerohydrodynamic Institute n.a. A. E. Zhukovske (TsAGI), Zhukovsky, Moscow region, Russia, smirnov@tsagi.ru.
**Egoshin, Sergey F.** – engineer of Central Aerohydrodynamic Institute n.a. A. E. Zhukovske (TsAGI), Zhukovsky, Moscow region, Russia, sergey4791@yandex.ru.


Article received 06.02.2017, accepted 15.03.2017.

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ ФОРУМ В ЛЕЙПЦИГЕ

International Transport Forum | Global dialogue for better transport

**31 мая 2017 года министр транспорта России М. Соколов выступил на министерском круглом столе «Транспорт и климат». В работе круглого стола также приняли участие министры транспорта Аргентины, Республики Корея, Швеции, Туниса и Украины.**

Максим Соколов проинформировал коллег о том, что 2017 год в России объявлен годом экологии. Реализуется стратегический подход к решению климатической проблемы – приняты Климатическая доктрина Российской Федерации, национальные программы, законодательные и нормативные акты, административные процедуры. В этом контексте принимаются меры, направленные на снижение выбросов загрязняющих веществ, внедрение проектного подхода в управлении, новых энергоэффективных транспортных средств, повышение качества топлива, развитие электрического и немоторизованного транспорта.

Как федеральными, так и муниципальными властями предпринимаются



МИР ТРАНСПОРТА, том 15, № 3, С. 83–85 (2017)

меры по обновлению подвижного состава. К примеру, правительство Москвы в настоящее время реализует программу крупномасштабного обновления трамвайного парка – ежегодно вводится в строй порядка 100 трёхсекционных вагонов.

Министерством транспорта РФ и Программой развития ООН при содействии Глобального экологического фонда начиная с 2012 года совместно реализуется проект «Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах России». Проект направлен на снижение выбросов в атмосферу парниковых газов посредством улучшения планирования и управления городским транспортом, создания эффективных систем мониторинга и продвижения экологически чистых видов транспорта.

В этот же день на полях форума М. Соколов провел ряд двусторонних встреч. В частности, он встретился с министром дорог и транспорта Монголии Ганбатом Данга, министром транспорта Аргентины Гильермо Дитрихом, министром сообщения Латвии Улдисом Аугулисом, министром транспорта КНР Ли Ксиопином и директором департамента транспорта ЕЭК ООН Евой Молнар, директором департамента транспорта ЭСКАТО Ли Ювеем.

Заместитель министра транспорта РФ Николай Асаул принял участие в пленарном заседании «Управление транспортом в глобальной цифровой экономике». Он сообщил, что Министерство транспорта РФ значительное внимание уделяет развитию новых форм информатизации и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, внедрению инновационных разработок и технологий, совершенствованию нормативной правовой базы, регулирующей данные процессы. При этом ведётся активное развитие цифровизации транспортной отрасли, изменяющее бизнес-модели. Тенденция цифровизации отрасли включает такие основные направления развития, как «интернет вещей», большие массивы данных и мобильное цифровое взаимодействие с клиентом.

С 2007 года развернута работа по созданию отраслевой государственной системы мониторинга и управления транспортным комплексом. Технический ввод системы состоялся 1 января 2017 года. По мнению замминистра, её полноценная реализация позволит повысить эффективность управления процессом регулирования.

Одним из приоритетных направлений является создание интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях и на федеральных трассах, что определено одним из целевых индикаторов Транспортной стратегии Российской Федерации. Создание и развитие отдельных сервисов повышают эффективность и безопасность перевозок грузов и пассажиров, позволяют интегрировать различные автономные сервисы и ресурсы в единое информационное пространство – в область ИТС.

Справочно: Международный транспортный форум International Transport Forum ОЭСР является межправительственной организацией с 56 странами-членами. Он выступает в качестве стратегического мозгового центра с целью помочь сформулировать транспортную политику на глобальном уровне и способствовать экономическому росту, охране окружающей среды, социальной интеграции и сохранению жизни и благополучия человека. В осуществление своей миссии Международный транспортный форум собирает статистику, проводит совместные программы исследований и организует ежегодный саммит, который объединяет министров и ведущих представителей промышленности, гражданского общества и научных кругов к участию в дебатах о стратегии развития транспорта.

**По материалам пресс-службы Министерства транспорта России**
**Фото Сергей ЗОЛЬНИКОВ ●**

# INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM IN LEIPZIG

**On May 31, 2017 Minister of Transport of Russia M. Sokolov spoke at the ministerial round table «Transport and Climate». The ministers of transport of Argentina, the Republic of Korea, Sweden, Tunisia and Ukraine also took part in the round table.**

Maxim Sokolov informed his colleagues that the year 2017 in Russia was declared the year of ecology. A strategic approach to the solution of the climate problem is being implemented – the Climate Doctrine of the Russian Federation, national programs, legislative and regulatory acts, and administrative procedures have been adopted. In this context, measures are being taken to reduce pollutant emissions, apply the project management approach, introduce new energy efficient vehicles, improve fuel quality, develop electric and non-motorized transport.

Both federal and municipal authorities are taking measures to update the vehicles' fleet and rolling stock. For example, the Government of Moscow is currently implementing a program of large-scale renovation of the tram fleet – about 100 three-sectional cars are put into operation annually.

The Ministry of Transport of the Russian Federation and the United Nations Development Program with the assistance of the Global Environment Facility have been implementing the project «Reducing Emissions of Greenhouse Gases from Road Transport in Russian Cities» since 2012. The project aims to reduce greenhouse gas emissions by improving urban planning and management by creating effective monitoring and promotion systems for environmentally friendly modes of transport.

On the same day, on the margins of the forum, M. Sokolov held a number of bilateral meetings. In particular, he met with Minister of Roads and Transport of Mongolia Ganbat Danga, Minister of Transport of Argentina Guillermo Dietrich, Minister of Transport of Latvia Uldis Augulis, Minister of Transport of the People's Republic of China Li Xiaopeng and Director of the UNECE Transport Division Eva Molnar, Director of the ESCAP Transport Division Yuwei Li.

Deputy Minister of Transport of the Russian Federation Nikolay Asaul took part in the plenary session «Transport Management in the Global Digital Economy». He said that the Ministry of Transport of the Russian Federation pays particular attention to development of new forms, informatization and operation of transport infrastructure facilities, introduction of innovative developments and technologies, and improvement of the regulatory framework governing these processes. At the same time, digitalization of the transport industry is actively developing, changing business models. The trend of digitalization of the industry includes such basic directions of development as «Internet of things», big data and mobile digital interaction with the client.

Since 2007, work has been initiated to establish an industry-specific public system for monitoring and managing the transport complex. Technical introduction of the system took place on January 1, 2017. According to the deputy minister, its full implementation will increase the effectiveness of the management of the regulatory process.

One of the priority directions is creation of intelligent transport systems in urban agglomerations and federal highways, and this is one of the target indicators of the Transport Strategy of the Russian Federation. Creation and development of individual services increase the efficiency and safety of cargo and passenger transportation and creation of technologies, enable the integration of various stand-alone services and resources into a single information space – the ITS area.

For reference: The OECD International Transport Forum is an intergovernmental organization with 56 member countries. It acts as a strategic think tank to help formulate transport policies at the global level and promote economic growth, environmental protection, social integration and preservation of human life and well-being.

In carrying out its mission, the International Transport Forum collects statistics, conducts joint research programs and organizes an annual summit that brings together ministers and leading representatives of industry, civil society and academia to participate in the targeted debate on tomorrow's transport development strategy.

**Based on the materials of the Press Service of the Ministry of Transport of Russia**
**Photos by Sergey ZOLNIKOV ●**



● WORLD OF TRANSPORT AND TRANSPORTATION, Vol. 15, Iss. 3, pp. 83–85 (2017)

УДК 625.7/.8:528.7

# Диагностика состояния автодороги с помощью беспилотного летательного аппарата

Николай ГРИГОРЕНКО
Nikolai I. GRIGORENKO

Евгений ЯНЧУК
Evgeny E. YANCHUK

***Григоренко Николай Иванович*** *– кандидат технических наук, научный консультант АО «Роботэкс», Москва, Россия.*
***Янчук Евгений Евгеньевич*** *– кандидат технических наук, главный конструктор АО «Роботэкс», Москва, Россия*

**Diagnostics of the Road Condition Using an Unmanned Aerial Vehicle**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 90)*

***С ростом требований к долговечности, надёжности и безопасности автомобильных дорог и их инфраструктуры совершенствуются и способы контроля за этой сферой транспортной жизни. В том числе и с применением беспилотных летательных аппаратов, средствами аэрофотосъёмки, помогающими выполнять слежение за объектами подконтрольной системы. Авторы статьи знакомят с разработанной ими методикой непрерывного автоматизированного мониторинга, которая реализована в Подмосковье. Широкие функциональные возможности комплекса БПЛА подтверждены для целого ряда диагностических и технологических задач.***

*Ключевые слова: автомобильная дорога, геотехнический мониторинг, диагностика полотна, инфраструктуры, геомассива, беспилотный летательный аппарат, аэрофотосъёмка.*

Современный автотранспортный комплекс характеризуется всё большей насыщенностью своей инфраструктуры различными объектами и инженерными сооружениями (мосты, эстакады, путепроводы, тоннели и т.п.). Они находятся в разнообразных гидро- и геологических условиях, в районах с высокой контрастностью климатических особенностей, повышенной сейсмической активностью и опасностью оползневых процессов. При этом состояние геомассивов, непосредственно прилегающих к автомобильным дорогам и их инфраструктуре, в значительной мере определяет уровень безопасности объектов, причём как при эксплуатации, так и на этапах проектно-изыскательских и строительных работ.

Актуальность обозначенной тематики возрастает пропорционально темпам строительства автодорожной сети. Требования к долговечности сооружений автотранспортной инфраструктуры растут вместе с конструктивной сложностью и ужесточением условий их эксплуатации, в значительной степени зависящих от надёжности прилегающих геомассивов. В связи с этим контроль за состоянием

сооружений и геомассивов всё более становится неотъемлемой частью обеспечения всех стадий жизненного цикла объектов.

Недостатком использования классических методов диагностики и мониторинга является необходимость проведения измерений в ручном режиме с последовательным обходом точек контроля и обязательным экспертным анализом полученных данных. Однако периодические измерения и осмотры фрагментов геомассивов и состояния автомобильной дороги не дают полноценного представления о динамике развивающихся в них процессов, а применение высокоточного специализированного оборудования требует привлечения высококвалифицированных специалистов, что зачастую бывает экономически не эффективно. Нужна адекватная задачам и в то же время малозатратная организация постоянного контроля при проектировании, строительстве и эксплуатации каждого сооружения [1].

Авторами реализуется программа по созданию автоматизированных систем непрерывного мониторинга состояния всех элементов автомобильной дороги и её инфраструктуры. За последние годы достигнут заметный прогресс в развитии способов контроля с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), производителем которых является российская компания. Комплекс БПЛА позволяет вести оперативный дистанционный мониторинг как собственно автомобильных дорог, так и прилегающих территорий для получения данных высокого и сверхвысокого разрешения (рис. 1, 2). С помощью информации, получаемой с беспилотного аппарата, координируется работа наземного комплекса, поскольку на основе материалов крупномасштабной съёмки появляется возможность влиять на ситуацию в местах обнаружения значительных нарушений.

Беспилотники в сравнении со спутниковой или традиционной аэрофотосъёмкой имеют ряд преимуществ: возможность получать снимки на высоте 100–500 метров, фиксировать мельчайшие элементы любой поверхности размером в несколько сантиметров. Поэтому выполнение полёта по заданной местности в автоматическом или полуавтоматическом режиме позволяет рассчитывать на высокоточные изображения с привязкой к географическим координатам.

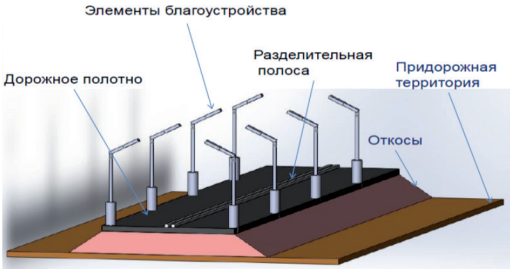



***Рис. 1. Структура участка местности с автомобильной дорогой.***

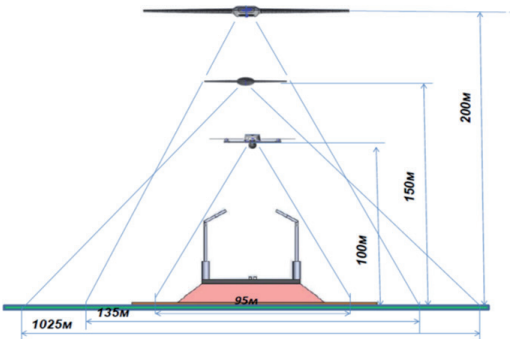



***Рис. 2. Аэросъёмка автотрассы различными типами БПЛА.***

Решение подобных задач в интересах как государственных, так и коммерческих структур. Эффективность использования аппаратно-программного комплекса БПЛА была подтверждена исследованиями, проводившимися на подотчётной компании «Мосавтодор» территории. В Подмосковье она отвечает за ремонт и содержание региональных автомобильных дорог, протяжённость которых составляет 14,5 тыс. км.

В ходе мониторинга были получены цифровые фотоснимки в координатном пространстве. На их основе составлены фотопланы участков автомобильной дороги. Фрагмент фотоплана, полученного с высоты 300 метров, представлен на рис. 3. Съёмка обеспечивает достаточно широкую полосу захвата вдоль автодороги с получением изображений развязок, придорожной полосы и прилегающих к трассе объектов муниципальной инфраструктуры. Однако в данном случае разрешающая способность снимков не соответствует требованиям детального дешифрирования дефектов

*Рис. 3. Ортофотоплан участка дороги с геопривязкой.*

*Рис. 4. Поперечные дефекты дорожного полотна.*

дорожного покрытия и мелких эрозионных форм, расположенных вблизи дорожного полотна. Эту проблему решает съёмка с высоты 150–90 м с пространственным разрешением порядка 2 см на пиксель.

По результатам дешифрирования материалов аэрофотосъёмки в специальной программе получены фотосхема автодороги и ряд тематических карт (площадных дефектов, экзогенных процессов и др.). С помощью аэросъёмки достоверно определяются площадные, линейные и точечные дефекты размером 2 см и крупнее, в частности она позволяет обнаружить поперечные трещины (рис. 4) на дорожном покрытии. На базе тематических картографических материалов, полученных средствами ГИС, планируется составление прогнозных карт рисков появления дефектов и разрушения дорожного полотна, а также изучение динамики их изменений в связи с развитием экзогенных процессов.

Создание тематической карты и схемы дорожного полотна дает возможность оперативно получать статистические данные распределения плотностей дефектов дорожного полотна для определенного участка трассы (рис. 5). Так, например, выявлены участки, имеющие более высокую плотность дефектов.

Одним из перспективных направлений использования аэросъёмки с БПЛА является оперативный мониторинг прогнозирования состояния дорожного полотна. По материалам аэрофотосъёмки хорошо дешифрируются экзогенные процессы, протекающие в районе расположения автомобильной дороги. Постоянный мониторинг с БПЛА и применение ГИС позволят оценить скорость развития и направление таких процессов, а в ряде случаев – установить причины их возникновения.

На основе результатов мониторинга был выработан перечень мероприятий по содержанию дорожного покрытия, земляного полотна и других элементов автомобильной дороги, что способствовало повышению эффективности работы «Мосавтодора» за счёт оперативного контроля на всех этапах производственного процесса и своевременного принятия управленческих решений.

Полученные результаты подтвердили действенность применения комплекса БПЛА для решения следующих задач:

• ведения оперативного мониторинга состояния дорожного полотна;

***Рис. 5. Распределение плотностей дефектов дорожного полотна.***

• контроля за строительными и ремонтными работами на дорогах;

• обнаружения дефектов дорожного полотна и определения их параметров;

• получения материалов цифровой съёмки в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах;

• получения трёхмерной модели дороги по стереопарам;

• выполнения фиксации маршрутов аэросъёмки с отображением в ГИС;

• формирования банка данных аэросъёмки;

• получения информации о состоянии дорожного полотна, в том числе определения геометрических параметров (продольных и поперечных уклонов, радиусов кривых в плане и профиле, высотных отметок, видимости, пройденного пути);

• получения видеоинформации для дорог и искусственных сооружений с формированием банка видеоданных;

• фиксирования объектов инженерного обустройства;

• определения параметров транспортного потока.

## ВЫВОДЫ

Проведенная работа показала, что предлагаемая технология применения БПЛА является современным и экономически эффективным средством исследования состояния автомобильных дорог и прилегающих территорий, а также может быть составным элементом для формировании интеллектуальных транспортных систем при создании единого информационного пространства в будущих мультимодальных сетях.

В комплексе БПЛА заложена возможность расширения функциональных возможностей за счёт включения в его состав георадара, лазерного оборудования и пр.

Предусмотренная методика позволяет проводить сбор данных, осуществлять накопление, передачу, актуализацию информации о состоянии грунтов подстилающих и прилегающих геомассивов на всех стадиях жизненного цикла объектов (проектно-изыскательских работ, проектирования сооружений и автодорожной инфраструктуры, их строительства, эксплуатации, содержания и реконструкции) с применением технологий ГЛОНАСС/GPS, цифровых трёхмерных математических моделей.

Следует отметить, что изложенный подход к многофункциональному геотехническому мониторингу дорожных объектов с использованием последних достижений в области передовых информационных технологий и беспилотных полётов является актуальным и востребованным. На этой основе будут решаться задачи обеспечения качества проектирования, строительства и эксплуатации дорог, а также безопасности дорожного движения и экологии среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузахметова Э. К., Григоренко Н. И. Поднятие научного уровня технического сопровождения проектирования, строительства и реконструкции инженерных сооружений // Технические науки.– 2016.– № 2.– С. 64–66.

2. Концепция Федерального закона «Интеллектуальная транспортная система Российской Федерации». [Электронный ресурс]: http://tpprf.ru/ru/interaction/committee/komtran/laws/66327/. Доступ 16.08.2016.



Координаты авторов: **Григоренко Н. И.** – gri-nik@mail.ru, **Янчук Е. Е.** – robotex.su@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 16.08.2016, принята к публикации 03.12.2016.

# DIAGNOSTICS OF THE ROAD CONDITION USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

***Grigorenko, Nikolai I.,*** *JSC Robotex, Moscow, Russia.*
***Yanchuk, Evgeny E.,*** *JSC Robotex, Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

Along with growing requirements for durability, reliability and safety of roads and their infrastructure, tools to control technical conditions of roads are being improved, involving operation of unmanned aerial vehicles that help to monitor the road infrastructure with the help of aerial photography. The authors of the article introduce a method of continuous automated monitoring developed by them, which is implemented in Moscow region. The wide functional capabilities of the UAV are confirmed for a number of diagnostic and technological tasks.

*Keywords: automobile road, geotechnical monitoring, diagnostics of roadway, infrastructure, geomass, unmanned aerial vehicle, aerial photography.*

**Background.** *The modern motor transport complex is characterized by an increasingly saturated infrastructure: various objects and engineering facilities (bridges, overhead roads, overpasses, tunnels, etc.). They are in a variety of hydro- and geological conditions, in areas with highly contrasted climatic features, increased seismic activity and the danger of landslide processes. At the same time, the state of geomasses immediately adjacent to roads and their infrastructure largely determines the level of safety of the facilities, both during operation and at the stages of design, survey and construction work.*

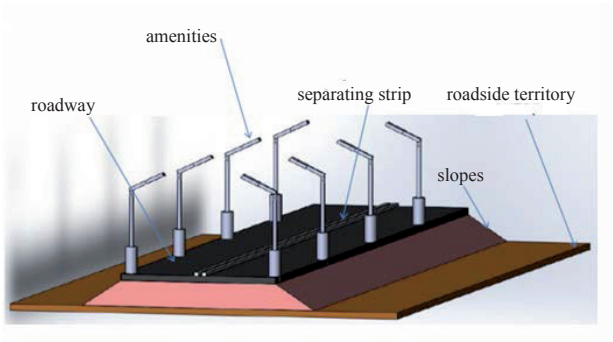
*The relevance of the above topics increases in proportion to the pace of construction of the road network. Requirements for durability of structures of road infrastructure grow along with the structural complexity and tightening of their operating conditions, largely dependent on reliability of adjacent geomasses. In this regard, monitoring the state of structures and geomasses is increasingly becoming an integral part of the provision of all stages of the life cycle of objects.*

*The drawback of the use of classical diagnostic and monitoring methods is the need to perform manual measurements with sequential bypass of inspection points and mandatory expert analysis of the data obtained. However, periodic measurements and inspections of fragments of geomasses and the state of the highway do not give a full idea of the dynamics of the processes developing in them, and the use of high-precision specialized equipment requires the involvement of highly qualified specialists, which is often not economically effective. We need adequate and at the same time low-cost organization of constant monitoring during design, construction and operation of each structure [1].*

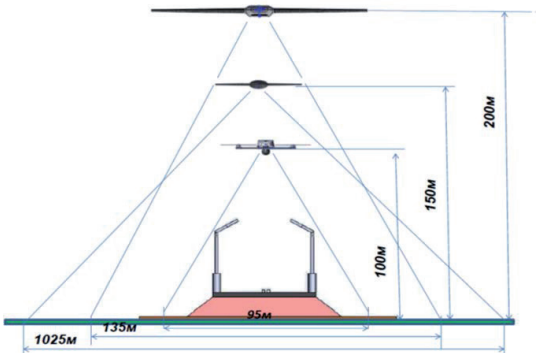
**Objective.** *The objective of the authors is to consider the use of unmanned aerial vehicles (UAV) for diagnostics of the road condition.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach, graph construction.*

**Results.** *The authors are implementing a program to create automated systems for continuous monitoring of the state of all elements of the highway and its infrastructure. In recent years, noticeable progress has been made in the development of control methods using unmanned aerial vehicles*

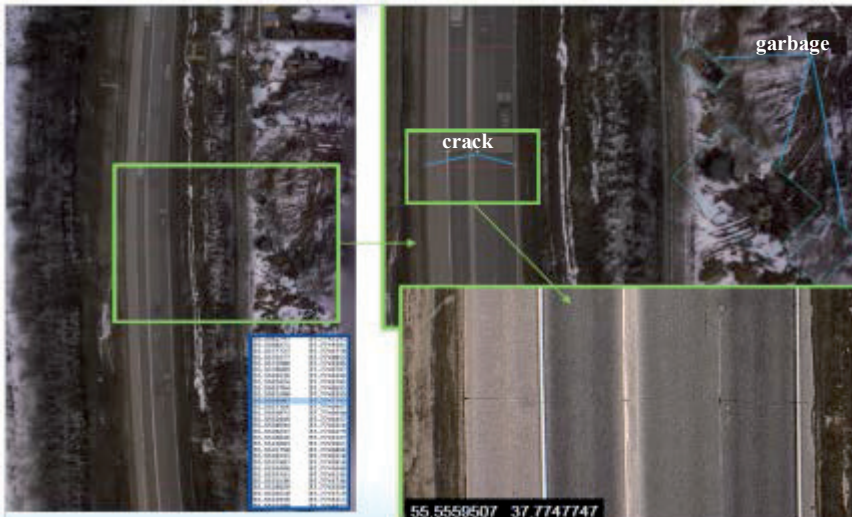



***Pic. 1. The structure of a section of terrain with an automobile road.***




***Pic. 2. Aerial survey of the motorway by various types of UAV.***

***Pic. 3. Orthophotomap of the road section with georeferencing.***




***Pic. 4. Transverse defects of the roadway.***

*(UAVs), the manufacturer of which is a Russian company. The UAV system allows for operative remote monitoring of both highways and adjacent territories to obtain high and ultrahigh resolution data (Pic. 1, 2). With the help of the information received from the unmanned vehicle, the ground complex is coordinated, because on the basis of materials of large-scale survey, it becomes possible to influence the situation in places where significant violations are detected.*

*Unmanned aerial vehicles in comparison with satellite or traditional aerial photography have a number of advantages: the ability to take pictures at an altitude of 100–500 meters, fix the smallest elements of any surface of a few centimeters in size. Therefore, performing a flight over a given terrain in automatic or semi-automatic mode allows to rely on highly accurate georeferenced images.*

*The solution of such problems is in the interests of both state and commercial structures. The efficiency of using the UAV hardware and software complex was confirmed by studies conducted on the territory reporting to the company «Mosavtodor». In Moscow region it is responsible for repair and maintenance of regional highways, the length of which is 14,5 thousand km.*

*During the monitoring, digital photos were taken in the coordinate space. On their basis, the photoplanes of the sections of the motor road were compiled. A fragment of the photographic plan obtained from a height of 300 meters is shown in Pic. 3. The survey provides a sufficiently wide capture band along the road, with images of interchanges, a roadside and adjacent municipal infrastructure. However, in this case, the resolution of images does not meet the requirements for detailed interpretation of road surface defects and small erosion forms located near the roadway. This problem is solved by shooting from a height of 150–90 m with a spatial resolution of about 2 cm per pixel.*

*Based on the results of the interpretation of aerial photography materials, a special photo scheme of the highway and a number of thematic maps (area defects, exogenous processes, etc.) were obtained in a special program. With the help of aerial photography, area, linear and point defects of 2 cm in size and larger are reliably determined, in particular, it allows detecting transverse cracks (Pic. 4) on the road pavement. Based on the thematic cartographic materials received by the GIS, it is planned to compile forecast maps of the risks of defects and destruction of the roadway as well as study the dynamics of their changes in connection with development of exogenous processes.*

*The creation of a thematic map and a roadway scheme makes it possible to quickly obtain statistical data on distribution of density of roadway defects for a certain section of the route (Pic. 5). Thus, for*

***Pic. 5. Distribution of density of defects of a roadway.***

*example, areas with a higher defect density were identified.*

*One of the promising areas for using aerial photography with UAV is an operational monitoring for forecasting the condition of the roadway. Based on aerial photographs, exogenous processes proceeding in the vicinity of the road are well interpreted. Continuous monitoring with UAVs and the application of GIS will allow to assess the speed of development and direction of such processes, and in some cases – to establish the causes of their occurrence.*

*Based on the results of the monitoring, a list of measures was developed to maintain the pavement, the roadbed and other elements of the highway, which contributed to increasing the operational efficiency of «Mosavtodor» through operational control at all stages of the production process and timely management decisions.*

*The obtained results confirmed the effectiveness of the UAV complex application for solving the following problems:*

- *maintenance of operative monitoring of a condition of a roadway;*
- *control over construction and repair work on roads;*
- *detecting defects of the roadbed and determining their parameters;*
- *obtaining digital imaging materials in the visible, infrared and ultraviolet ranges;*
- *obtaining a 3D-model of the road using stereopairs;*
- *fixing of aerial survey routes with mapping into GIS;*
- *formation of an aerial survey data base;*
- *obtaining information about the condition of the roadway, including the determination of geometric parameters (longitudinal and transverse slopes, the radii of curves in the plan and profile, elevations, visibility, distance traveled);*
- *obtaining video information for roads and artificial structures with the formation of a bank of video data;*
- *fixing of engineering facilities;*
- *determination of parameters of the transport flow.*

**Conclusions.** *The performed work showed that the proposed technology of UAV application is a modern and cost-effective means of studying the state of highways and adjacent territories, and it can also be an integral element for formation of intelligent transport systems when creating a single information space in future multimodal networks.*

*In the UAV complex, the possibility of expanding the functional capabilities due to the inclusion in its composition of GPR, laser equipment, etc.*

*The provided methodology allows for data collection, accumulation, transmission, updating of information on the state of the soils of underlying and adjacent geomasses at all stages of the life cycle of facilities (design and survey works, design of structures and road infrastructure, construction, operation, maintenance and reconstruction) using GLONASS / GPS technologies, digital three-dimensional mathematical models.*

*It should be noted that the outlined approach to multifunctional geotechnical monitoring of road facilities using the latest achievements in the field of advanced information technologies and unmanned flights is relevant and in demand. On this basis, the tasks of ensuring the quality of design, construction and operation of roads, as well as road safety and the environment will be addressed.*

## REFERENCES

1. Kuzakhmetova, E. K., Grigorenko, N. I. Raising the scientific level of technical support for design, construction and reconstruction of engineering structures [*Podnjatie nauchnogo urovnja tehnicheskogo soprovozhdenija proektirovanija, stroitel'stva i rekonstrukcii inzhenernyh sooruzhenij*]. *Tehnicheskie nauki*, 2016, Iss. 2, pp. 64–66.

2. The concept of the Federal Law «Intellectual Transport System of the Russian Federation» [*Koncepcija Federal'nogo zakona «Intellektual'naja transportnaja sistema Rossijskoj Federacii»*]. [Electronic resource]: http://tpprf.ru/en/interaction/committee/komtran/laws/66327/. Last accessed 16.08.2016.

Information about the authors:
**Grigorenko, Nikolai I.** – Ph.D. (Eng), scientific consultant of JSC Robotex, Moscow, Russia, gri-nik@mail.ru.
**Yanchuk, Evgeny E.** – Ph.D. (Eng), chief designer of JSC Robotex, Moscow, Russia, robotex.su@yandex.ru.

Article received 16.08.2016, accepted 03.12.2016.

# VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ «ТРАНСПОРТ СИБИРИ»

**26 мая 2017 года министр транспорта России М. Соколов принял участие в работе VI международного форума «Транспорт Сибири», а также осмотрел специализированную выставку индустрии транспорта, транспортной и складской логистики, инфраструктурных проектов дорожно-транспортного комплекса «TransSiberia 2017».**

В ходе осмотра выставки министр посетил стенд ОАО «РЖД», на котором протестировал тренажер для машинистов поездов. Глава Минтранса также ознакомился с новинками российского автопрома, представленными корпорацией «АвтоВАЗ», деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения, в частности, с инновационными устройствами по фиксации скорости проезжающих автомобилей. Он также побеседовал с представителями транспортных вузов – СГУВТ и СГУПС, осмотрел экспозицию новосибирского аэропорта «Толмачево», где представители аэропорта рассказали о перспективах развития воздушной гавани.

Участники форума обсудили вопросы обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте, развитие современных транспортно-логистических технологий, новых маршрутов и инфраструктуры, безопасность дорожного движения, развитие внутреннего водного и общественного пассажирского транспорта, ремонт и содержание автомобильных дорог.

В этот же день состоялось всероссийское селекторное совещание по вопросу реализации приоритетного проекта «Безопасные и качественные дороги».

**По материалам пресс-службы Министерства транспорта России ●**

# 6TH INTERNATIONAL FORUM «TRANSPORT OF SIBERIA»

**On May 26, 2017 Minister of Transport of Russia M. Sokolov took part in 6th International Forum «Transport of Siberia», and also visited a specialized exhibition of the transport industry, transport and warehouse logistics, infrastructure projects of the road and transport complex «TransSiberia 2017».**

During the inspection of the exhibition, the Minister visited the exposition desk of JSC Russian Railways, where he tested the simulator for train drivers. The head of the Ministry of Transport also got acquainted with the novelties of the Russian car industry represented by the AvtoVAZ corporation, the activities aimed at ensuring road safety, in particular, with innovative devices for fixing the speed of passing cars. He also talked with representatives of transport universities, Siberian university of inland water transport and Siberian university of railway engineering, inspected the exposition of the Novosibirsk airport Tolmachevo, where the airport representatives reported on the prospects for development of the air harbor.

The forum participants discussed issues of ensuring security in railway transport, development of modern transport and logistics technologies, new routes and infrastructure, road safety, development of inland water and public passenger transport, repair and maintenance of highways.

On the same day, the all-Russian conference call on implementation of the priority project «Safe and qualitative roads» was held.

**Based on the materials of the Press Service of the Ministry of Transport of Russia ●**

УДК 621.182:656.2

# Модернизация тепловой системы железнодорожных станций

Артур ДМИТРЕНКО
Artur V. DMITRENKO

Максим ГАЙТРОВ
Maxim Yu. GAITROV

*Дмитренко Артур Владимирович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
*Гайтров Максим Юрьевич – магистрант МИИТ, Москва, Россия.*

**Modernization of Heat Supply System of Railway Stations**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 99)*

***Авторами рассмотрен вопрос о необходимости модернизации системы теплоснабжения железнодорожных станций в рамках основных ориентиров энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года. Основной парк котельных оборудован техникой прежних лет выпуска, которая по некоторым параметрам не соответствует стандартам экологичности, безопасности и эффективности. В статье представлены основные показатели котельных нового типа. Приведен сравнительный анализ характеристик новой и прежней котельной как энергетического комплекса, определено соответствие достигаемых показателей ориентирам энергетической стратегии РФ.***

*Ключевые слова: железнодорожная станция, тепловая система, модернизация, энергетическая эффективность, паровые котлы, блочно-модульные котельные, КПД, реорганизация системы.*

Современные объекты стационарной энергетики транспортной системы (как энергетического комплекса) испытывают на себе те же трудности, что и перестраивающаяся под рыночные требования российская экономика. Железнодорожные станции и их тепловые сети должны удовлетворять основным требованиям энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года [1–3]. Главные ориентиры стратегии: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность экономики, бюджетная эффективность энергетики, экологическая безопасность энергетики. В этой связи, любой пример реальной модернизации – повод проверить и оценить правильность её основных направлений, эффективность достигаемых технических, экологических и экономических результатов.

## 1. КОТЕЛЬНЫЕ, ПОДЛЕЖАЩИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ

Типичные котельные отапливают производственные и административные помещения, подают пар и горячее водоснабжение для комплекса производственно-технических зданий железнодорожных потре-

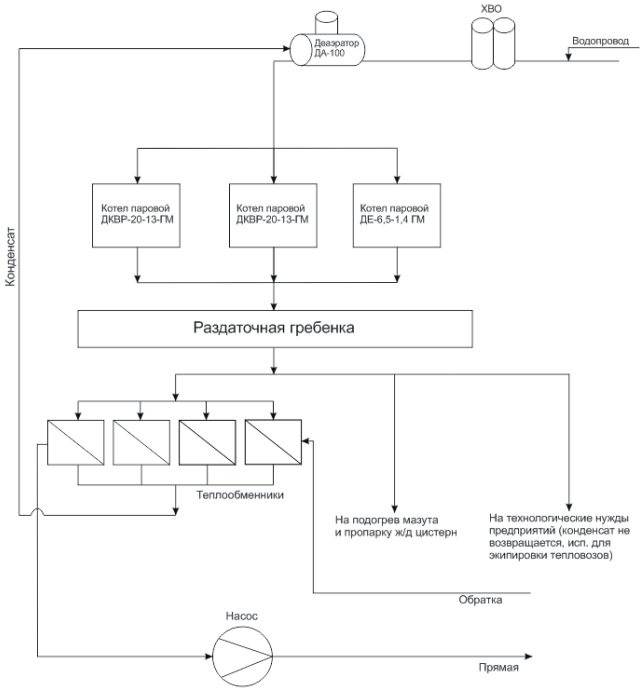



***Рис. 1. Тепломеханическая схема мазутной котельной.***

бителей. Обычно в стандартной котельной установлены паровые котлы типа ДКВР-20–13 1975 года выпуска – 2 шт. и Е-6,5–1,4 ГМ 1992 года – 1 шт. В качестве топлива ими используется мазут. Резервное топливо не предусмотрено. Вспомогательное оборудование котельных имеет высокий процент износа.

Система теплоснабжения потребителей предприятия двух/трехтрубная (две трубы – подача/обратка теплофикационной воды на отопление, вентиляцию; третья труба – передача пара на технологические нужды без возврата конденсата). Передача пара и теплофикационной воды осуществляется по трубопроводам с надземным (около 95 %) и подземным типом прокладки, футерованных тепловой изоляцией из минеральной ваты (60 %), асбестовой крошки и пенополимерной изоляции (10 %). Общая протяженность таких тепловых сетей 9 085 метров, общая протяженность паропроводов 7 105 метров.

Мазутное хозяйство – комплекс устройств, обеспечивающих приемку, хранение и подачу необходимого количества мазута в котельную и подготовку его для сжигания в топках котлов. Мазут может быть основным топливом, резервным (например, в зимнее время), аварийным, растопочным, когда основным является сжигаемое в пылевидном состоянии твёрдое топливо. Для подачи мазута к котлам применяют три схемы: циркуляционную (при использовании высоковязких мазутов, когда котельная работает постоянно на мазуте и кратковременно на газе); тупиковую (при сжигании маловязких мазутов, когда котельная работает на стабильных нагрузках, превышающих средние); комбинированную (при работе котельной на переменных нагрузках и частых переходах с газового топлива на мазут). Регулирование подачи мазута (давления) осуществляется с помощью клапана с импульсом по производительности котлов или давлению пара в котле.

Как видно из таблицы 1, в стандартной котельной установлено три котла общей тепловой мощностью 46,5 т/ч. Как написано выше, резервное топливо не предусмотрено. Большая протяженность и изношенность сетей влекут за собой большие затраты на энергоресурсы и обслуживание. Котел ДКВР для удобства обслуживания оснащён лестницами и площадками. Паровой котел ДКВР-20–13 ГМ – вертикально-водотрубный котёл с экранированной топочной камерой и кипятильным пучком, которые выполнены по конструктивной схеме «Д». Отличительной чертой данной схемы является боковое расположение

Таблица 1

**Основное оборудование стандартной котельной**

| № п/п | Тип котла | Тип горелок (топок) | Вид топлива | Год ввода в эксплуатацию | Проектная мощность т/час | Давление кг/см$^2$ | Температура пр/обр °С | КПД |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | ДКВР-20–13 ГМ | форсун. | мазут | 1972 | 20 | 13 | 130 | 89 % |
| 2 | ДКВР-20–13 ГМ | форсун. | мазут | 1973 | 20 | 13 | 130 | 89 % |
| 3 | Е-6,5–1,4 ГМ | форсун. | мазут | 1992 | 6,5 | 10 | 130 | 89 % |

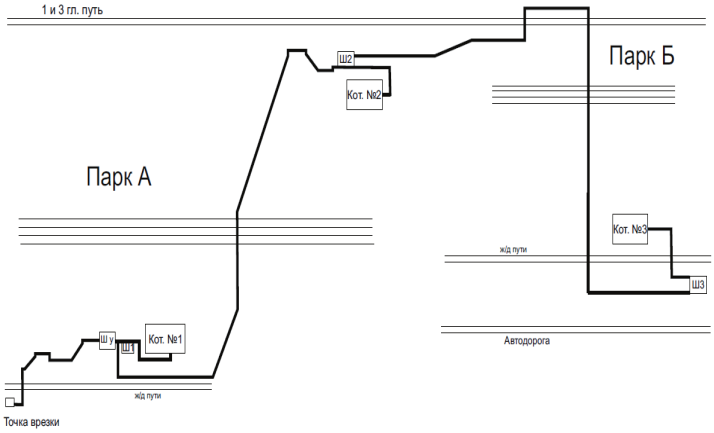



***Рис. 2. Новая модульная схема теплоснабжения железнодорожных станций.***

конвективной части котла относительно топочной камеры.

Таким образом, анализ существующей схемы теплоснабжения показал, что большая протяженность, изношенность оборудования и сетей делают неизбежными большие затраты на энергоресурсы и обслуживание. И значит, модернизация требует не только замены оборудования, но и существенной перестройки всей тепловой системы станции.

## 2. РЕОРГАНИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ СИСТЕМЫ ТИПИЧНОЙ СТАНЦИИ

Эффективность модернизации достигается по-разному [4–6]. В столичном регионе пошли на закрытие мазутных котельных для уменьшения потерь на транспортировке тепловой энергии, повышения эффективности теплогенерации и снижения себестоимости выработки тепловой энергии. В рамках реализации мероприятий ресурсосбережения предусмотрено строительство трех газовых блочно-модульных котельных (рис. 2): котельную № 1 «Десна-1900» тепловой мощностью 1,9 МВт предлагается установить в районе парка «А»; котельная № 2 (Центральная котельная) тепловой мощностью 9,0 МВт будет находиться рядом со складом топлива станции; котельная № 3 мощностью 1,0 МВт рассчитана на зону «В». Новая система теплоснабжения предназначена для производства тепловой энергии в виде горячей воды на отопительно-вентиляционные, технологические нужды и горячее водоснабжение и обеспечения ими объектов железнодорожной инфраструктуры станции.

Внедряемые блочно-модульные котельные работают в автоматическом режиме без обслуживающего персонала. Сигнализация об аварийной ситуации передается посредством SMS-сообщений на сотовые телефоны аварийно-диспетчерского персонала. Модули № 1 и № 3 работают только в зимнее время (сезонные) на отопление. Модуль № 1 отводит тепло к 12 зданиям, модуль № 2 – к 32 зданиям, модуль № 3 – к 14 зданиям. Периодический осмотр и обслуживание котельной производится аварийно-диспетчерским персоналом из штата ликвидируемой котельной, размещение которого предусматривается в существующих производственно-бытовых помещениях действующего предприятия. Основные характеристики модульных котельных даны в таблице 2.

Как видно, принимаемый вариант модернизации обеспечивает рост технической

**Таблица 2**

**Основные технические характеристики новых модульных котельных**

| № п/п | Наименование параметра | Ед. изм. | Котельные | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | № 1 | № 2 | № 3 |
| 1 | Марка блочно-модульной установки | – | БКУ-1900 | БКУ-9000 | БКУ-1000 |
| 2 | Категория котельной по надёжности теплоснабжения | – | вторая | вторая | вторая |
| 3 | Номинальная тепловая мощность | – | 1900 | 9000 | 1000 |
| 4 | Основной вид топлива | – | природный газ | природный газ | природный газ |
| 5 | Тепловая схема котельных | – | двухконтурная | двухконтурная | двухконтурная |
| 6 | Тип котлов | – | водогрейные | водогрейные | водогрейные |
| 7 | Котловой контур | – | закрытый | закрытый | закрытый |
| 8 | Давление исходной воды | Мпа | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 9 | Коэффициент полезного действия, не менее | % | 92 | 92 | 92 |

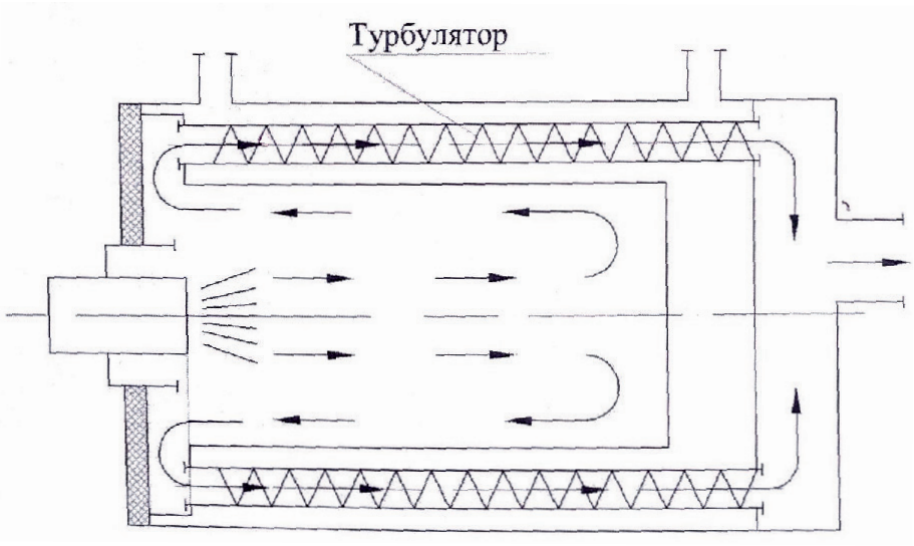



***Рис. 3. Схема движения газов в котле.***

эффективности путем увеличения КПД до 92 %. Основная причина увеличения КПД котлов заключается в новом их устройстве. Котел Polykraft Duotherm [7], водогрейный жаротрубно-дымогарный с реверсивной топкой, выполнен в блочном варианте. Эффективность котельной увеличивается и за счёт новой системы распыла топлива – форсунки, обеспечивающей лучшее смесеобразование при работе на газовом топливе. Данная форсунка в случае работы на резервном горючем даёт необходимую тонкость распыла дизельного топлива перед его поджигом, создавая тем самым лучшую полноту сгорания смеси и более экологичный выхлоп по сравнению с прежним мазутным оборудованием. Эффективность котла увеличивается за счёт искусственной интенсификации теплопередачи путем установки турбулятора (рис. 3). Кроме того, новые котельные оборудованы датчиками аварий технологического оборудования и контроля содержания CH и CO, а также перекрытия трубопровода подачи газа клапаном при аварийной ситуации, что существенно повышает безопасность котельных. Обмуровка котла облегченная, с использованием минераловатных матов. Обшивка металлическая. Котёл работает на природном газе или лёгком жидком топливе (в зависимости от типа горелочного устройства). Конструкция выполнена в газоплотном исполнении и работает под наддувом.

Экономическая эффективность модернизации обусловлена снижением эксплуатационных расходов котельных, результаты даны в таблице 3.

Таблица 3

**Результаты снижения эксплуатационных расходов**

| № п/п | Показатели | Единица измерения | Величина показателя до внедрения (базовая система отопления) | Величина показателя после внедрения (новая система отопления) | Изменение показателя, (–снижение) (+увеличение) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Годовые затраты на оплату труда с учётом отчислений на социальные нужды | руб. | 8 115 448,39 | – | -8 115 448,39 |
| 1.1. | Годовые затраты на оплату труда котельной | руб. | 6 242 652,61 | – | -6242652,61 |
| 1.1.1. | Годовой фонд рабочего времени котельной за отчётный период | часы | 31 536,00 | – | -31 536,00 |
| 1.2. | Годовые расходы на отчисления на социальные нужды котельной | руб. | 1 872 795,78 | – | -1 872 795,78 |
| 2 | Топливо | руб. | 36 904 692,00 | 16 609 313,99 | -20 295 378,01 |
| 2.1. | на прочие нужды | руб. без НДС | 36 904 692,00 | 16 609 313,99 | -20 295 378,01 |
| 2.1.1. | мазут | руб. без НДС | 36 904 692,00 | – | -36 904 692,00 |
| 2.1.1.1. | мазут | тонны | 6 150,78 | – | -6 150,78 |
| 2.1.1.2. | природный газ | руб. без НДС | – | 16 609 313,99 | 16 609 313,99 |
| 2.1.1.3. | природный газ | $м^3$ | – | 3 194 098,84 | 3 194 098,84 |
| 3 | Прочие материальные затраты | руб. без НДС | 2 030 000,00 | 1 000 000,00 | -1 030 000,00 |
| 3.1. | Годовые затраты на содержание склада мазута | руб. без НДС | 700 000,00 | – | -700 000,00 |
| 3.2. | Годовые затраты на ремонт и техническое обслуживание котельной | руб. без НДС | 1 330 000,00 | 1 000 000,00 | -330 000,00 |
| 4 | ИТОГО снижение расходов | руб. без НДС | 47 050 140,39 | 17 609 313,99 | -29 440 826,40 |

## ВЫВОДЫ

В результате рассмотрения вопроса о модернизации тепловой системы (котельной) железнодорожной станции определено, что требуется не только замена изношенного оборудования, но и реорганизация всей тепловой системы станции. Кроме того, эффективность источника тепла модернизированной котельной, определяется изменением рода топлива, на котором работают котлы. КПД новых котельных на дизельном топливе на 3 % (92 %) выше, чем у котельных, работающих на мазуте (89 %).

То есть предполагаемая модернизация котельной железнодорожной станции соответствует основным ориентирам энергетической системы, которая должна удовлетворять требованиям энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность экономики, бюджетная эффективность энергетики, экологическая безопасность энергетики. Следует, однако, отметить возможные пути дополнительных инноваций в виде утилизации энергии выхлопных газов котельной с последующим образованием замкнутого энергетического цикла.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Распоряжение правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р.– М., 2009.– 144 с.
2. Энергетическая стратегия России до 2035 года. Корректировка.– М., 2014.– 25 с.
3. Вода К. Р., Квашнин Ю. Д. Энергетическая безопасность: национальные, региональные и международные аспекты. Сборник статей.– М.: ИМЭМО РАН, 2013.– 121 с.
4. Васильев А. В., Антропов Г. В., Баженов А. И. и др. Повышение надежности жаротрубных водогрейных котлов // Промышленная энергетика.– 1998.– № 7.– С. 45–54.
5. Колесников А. И. Энергоаудит котельных: сопоставим результаты // Энергосбережение.– 2001.– № 4.– С. 65–67.
6. Андрющенко А. И., Аминов Р. З., Хлебалин Ю. М. Теплофикационные установки и их использование.– М.: Высшая школа, 1989.– 255 с.
7. Котел Polykraft Duotherm. [Электронный ресурс]: http://prom-kotel.ru/equipment/spare_boilers/polykraft/ duotherm//. Доступ 26.06.2017.


Координаты авторов: **Дмитренко А. В.** – ammsv@yandex.ru, **Гайтров М. Ю.** – gmdoss@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 26.04.2017, принята к публикации 26.06.2017.

# MODERNIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEM OF RAILWAY STATIONS

***Dmitrenko, Artur V.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Gaitrov, Maxim Yu.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article considers the need to modernize the heat supply system of railway stations within the framework of the main guidelines of the energy strategy of the Russian Federation until 2030. The main park of boiler rooms is equipped with the aged machinery that by some features does not meet the standards of environmental friendliness, safety and efficiency. The article presents the main indicators of boiler rooms of a new type. The comparative analysis of the characteristics of the new and former boiler rooms as of an energy complex is suggested. The conformity of the proposed indicators to the guidelines of the energy strategy of the Russian Federation and subsequent innovations is determined. One of the conclusions of the authors is that in addition to replacing the equipment, it is necessary to conduct decentralization of the station's heat supply system.

*Keywords:* *energy efficiency, operating costs, steam boilers, reserve fuel, fuel oil, diesel, block-modular boiler rooms, efficiency.*

**Background.** *Modern problems of stationary power engineering of transport system of railways (as an energy complex) pose the task of the evolutionary process of its modernization in general and of boiler equipment in particular, not only as a source of thermal energy, but also as of a particular energy system. Railway stations must meet the basic requirements of the energy strategy of the Russian Federation until 2030 [1–3]. The main targets of the strategy are: energy security; energy efficiency of the economy; budgetary efficiency of energy consumption; ecological safety of power engineering. In this regard, it becomes urgent to review the ongoing modernization with definition of its main directions and technical, environmental and economic indicators to be achieved.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider modernization of heat supply system of railway stations.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach, mathematical methods, scientific description.*

**Results.**

**1. Boiler rooms subject to modernization.**

*Typical boiler rooms heat industrial and administrative premises, supply steam and hot water for a complex of production and technical buildings of railway consumers. Typically, in a standard boiler room, steam boilers of the type DKVR-20–13 of 1975 year of production – 2 pcs and E-6,5–1,4 GM of 1992 year of production – 1 pcs are installed. They use fuel oil. Reserve power source is not provided. The auxiliary equipment of the boiler rooms has a high percentage of wear.*

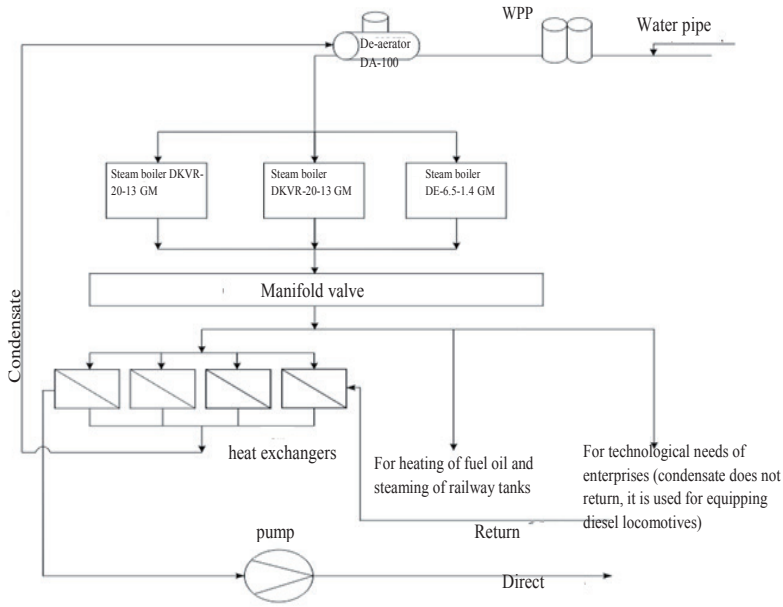
*The heat supply system for consumers of the enterprise is two / three-tube (two pipes – supply/ return of heating water for heating, ventilation, the third pipe – transfer of steam for technological needs without return of condensate). The transfer of steam and heating water is carried out through pipelines with overground (about 95 %) and underground type of gasket lined with thermal insulation of mineral wool (60 %), asbestos crumb and foam polymer insulation (10 %). The total length of such heat networks is 9 085 meters, the total length of the pipelines is 7 105 meters. Fuel oil facilities is a complex of devices that ensure acceptance, storage and supply of the necessary amount of fuel oil in the boiler room, and its preparation for combustion in boiler furnaces. Fuel oil can be main fuel, reserve (for example, in winter), emergency, ignition, when the main one is a solid fuel burnt in a pulverized state. To supply fuel oil to the boilers, three schemes are used: circulating (using high-viscosity fuel oil, when the boiler room works constantly on fuel oil and for a short time on gas); dead-end (when burning low-viscosity fuel oil, when the boiler room works on stable loads exceeding the average); combined (when the boiler room works on variable loads and frequent transitions from gas to fuel oil). The regulation of the supply of fuel oil (pressure) is carried out by means of a valve with a pulse through the capacity of the boilers or the vapor pressure in the boiler.*

*As can be seen from the table above, three boilers with a total thermal output of 46,5 t/h are installed in the boiler room. As it is written above, there is no reserve fuel. The large extent and deterioration of the networks entail large expenditures on energy resources and maintenance. The DKVR boiler is*

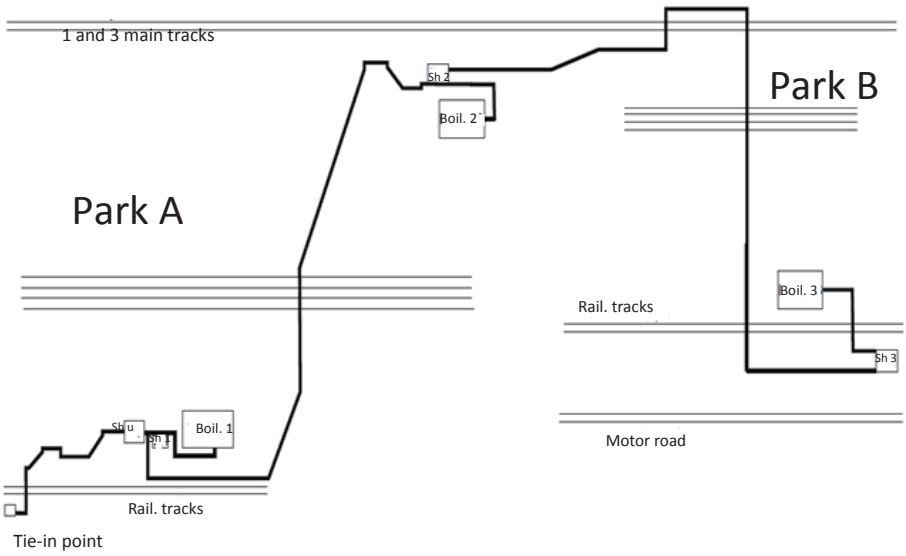
**Table 1**

**Main equipment**

| № | Type of a boiler | Type of burners (furnaces) | Type of fuel | Year of commissioning | Design capacity t/h | Pressure kg/cm$^2$ | Temperature dir/ret °C | Efficiency |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | DKVR-20–13 GM | Spray burner | Fuel oil | 1972 | 20 | 13 | 130 | 89 % |
| 2 | DKVR-20–13 GM | Spray burner | Fuel oil | 1973 | 20 | 13 | 130 | 89 % |
| 3 | E-6,5–1,4 GM | Spray burner | Fuel oil | 1992 | 6,5 | 10 | 130 | 89 % |




***Pic. 1. Thermomechanical scheme of fuel oil boiler room.***




***Pic. 2. A new modular heat supply scheme for railway stations.***

*equipped with stairs and platforms for convenient maintenance. Steam boiler DKVR-20–13 GM is a vertical water tube boiler with a shielded combustion chamber and a boiling beam, which are made according to the design scheme «D». A distinctive feature of this scheme is lateral location of the convective part of the boiler relative to the combustion chamber*

*Thus, an analysis of the existing heat supply scheme has shown that a large length, deterioration of equipment and networks entail large expenditures on energy resources and maintenance. Therefore, modernization requires not only the replacement of equipment, but the need for decentralization of the station's heat supply system.*

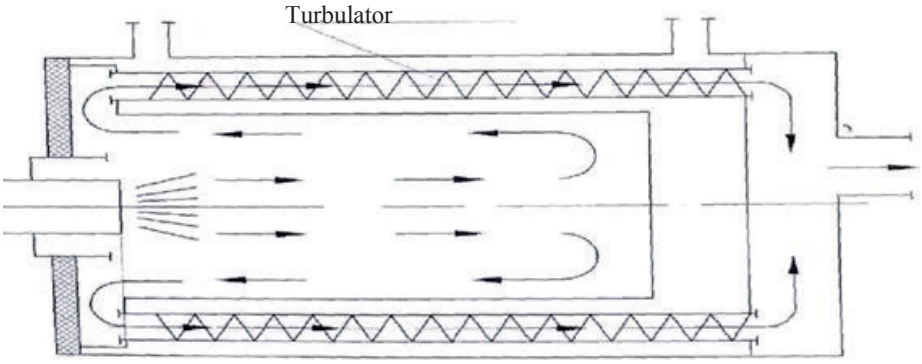
**2. Modernization of heat supply system of a typical station**

*The technological and ecological efficiency of modernization [4–6] could be achieved through different approaches. In the city of Moscow it was decided to proceed with the closure of fuel oil boiler rooms to reduce losses in transportation of thermal energy, improve the efficiency of heat generation and reduce the cost of generating heat. In the framework of the resource saving actions it is envisaged to build three gas block-modular boiler rooms, shown in Pic. 2: Boiler room No. 1 «Desna-1900» with a heat capacity of 1,9 MW is proposed to be installed in the area of the park «A»; Boiler room No. 2 (Central boiler room) with a heat capacity of 9,0 MW is proposed to be*

**Table 2**

**Main technical characteristics of new boiler rooms**

| № | Name of a parameter | Meas. units | Boiler rooms | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | № 1 | № 2 | № 3 |
| 1 | Brand of block-model installation | – | BKU-1900 | BKU-9000 | BKU-1000 |
| 2 | Boiler room category according to reliability of heat supply | – | second | second | second |
| 3 | Nominal heat output | – | 1900 | 9000 | 1000 |
| 4 | Main type of fuel | – | natural gas | natural gas | natural gas |
| 5 | Thermal scheme of boiler rooms | – | two-circuit | two-circuit | two-circuit |
| 6 | Type of boilers | – | hot water | hot water | hot water |
| 7 | Boiler circuit | – | closed | closed | closed |
| 8 | Initial water pressure | MPa | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 9 | Coefficient of efficiency, not less than | % | 92 | 92 | 92 |




***Pic. 3. Scheme of movement of gases in the boiler.***

*installed next to the fuel depot of the Desna-9000 station; Boiler room No.3 with a rated capacity of 1,0 MW is proposed to install for steam consumers «B». The new heat supply system is designed to produce heat energy in the form of hot water for heating and ventilation, technological needs and hot water supply to provide the railway infrastructure of the station with them.*

*The implemented block-modular boiler rooms operate in an automatic mode without maintenance personnel. The alarm signaling about the emergency situation is transmitted via SMS messages to the cellular phones of emergency dispatch personnel. Module № 1 and № 3 work only in winter (seasonal) for heating. Module No. 1 removes heat to 12 buildings, module No. 2 removes heat to 32 buildings, Module No. 3 removes heat to 14 buildings. Periodic inspection and maintenance of the boiler room is carried out by emergency dispatch personnel from the staff of the liquidated boiler room, the location of which is envisaged in the existing production and service premises of the operating enterprise. The main characteristics of modular boiler rooms are given in Table 2.*

*Apparently, the adopted modernization option provides an increase in technical efficiency, by increasing the efficiency to 92 %. The main reason for increasing the efficiency of the boilers is the new boiler arrangement. Boiler Polykraft Duotherm [7] water-heating fire-fumigation with reversible furnace is made in block design. The efficiency of the boiler room is increased due to the new fuel atomization system – spray burner, which provides the best mixture formation when working on gas fuel. This spray burner, in the case of operation on reserve fuel, provides the necessary fineness of the spraying of diesel fuel before its ignition, thus ensuring a better combustion completeness of the mixture and a more eco-friendly exhaust, in comparison with the previous fuel oil equipment. Also, the efficiency of the boiler increases due to the use of artificial intensification of heat transfer by installing a turbulator in the boiler. In addition, the new boiler rooms are equipped with alarms for technological equipment and monitoring the content of CH and CO, closing the pipeline gas supply with a valve in an emergency situation, which significantly increases the safety of boiler rooms. The lining of the boiler is lightweight, using mineral wool mats. The shell of the boiler is metallic. The boiler operates on natural gas or light fuel oil (depending on the type of a burner). The design of the boiler is made in a gas-tight design and operates under supercharging.*

*The economic efficiency of modernization is explained by a decrease in the operating costs of the boiler rooms, the results are given in the table.*

Table 3

**Results of reduction of operating costs**

| № | Indicators | Measurement unit | Value of the indicator before introduction (basic heating system) | Value of the indicator after introduction (new heating system) | Change of the indicator, (–decrease) (+increase) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Annual labor costs, including social contributions | rub. | 8 115 448,39 | – | –8 115 448,39 |
| 1.1. | Annual expenses for labor payment of the boiler room | rub. | 6 242 652,61 | – | –6242652,61 |
| 1.1.1. | Annual fund of working hours of the boiler room for a reporting period | hours | 31 536,00 | – | –31 536,00 |
| 1.2. | Annual expenses for allocations for social needs of the boiler room | rub. | 1 872 795,78 | – | –1 872 795,78 |
| 2 | Fuel | rub. | 36 904 692,00 | 16 609 313,99 | –20 295 378,01 |
| 2.1. | for other needs | rub.without VAT | 36 904 692,00 | 16 609 313,99 | –20 295 378,01 |
| 2.1.1. | fuel oil | rub.without VAT | 36 904 692,00 | – | –36 904 692,00 |
| 2.1.1.1. | fuel oil | tons | 6 150,78 | – | –6 150,78 |
| 2.1.1.2. | natural gas | rub.without VAT | – | 16 609 313,99 | 16 609 313,99 |
| 2.1.1.3. | natural gas | $m^3$ | – | 3 194 098,84 | 3 194 098,84 |
| 3 | Other material costs | rub.without VAT | 2 030 000,00 | 1 000 000,00 | –1 030 000,00 |
| 3.1. | Annual expenses for maintenance of a fuel oil warehouse | rub.without VAT | 700 000,00 | – | –700 000,00 |
| 3.2. | Annual costs for repair and maintenance of the boiler room | rub.without VAT | 1 330 000,00 | 1 000 000,00 | –330 000,00 |
| 4 | TOTAL reduction of costs | rub.without VAT | 47 050 140,39 | 17 609 313,99 | –29 440 826,40 |

**Conclusion.** *As a result of consideration of the issue of modernization of the heat supply system (boiler room) of the railway station, it is determined that not only replacement of worn equipment is required, but also decentralization of the thermal system of the entire station. In addition, the efficiency of the heat source of the modernized boiler room is determined by the change in the type of fuel on which boilers operate. The efficiency of new boiler rooms with diesel fuel is 3 % (92 %) higher than that of boiler rooms operating on fuel oil (89 %). That is, the proposed modernization of the boiler room of the railway station corresponds to the main provisions of the energy system, which must meet the requirements of the energy strategy of the Russian Federation until 2030: energy security; energy efficiency of the economy; budgetary efficiency of energy consumption; ecological safety of power engineering. It should be noted, however, that there are ways of additional innovations in the form of utilization of the exhaust energy of the boiler room with subsequent formation of a closed energy cycle.*

## REFERENCES


1. Energy strategy of Russia for the period until 2030. Order of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009 No. 1715-r [*Energeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda. Rasporjazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 13 nojabrja 2009 goda № 1715-r*]. Moscow, 2009, 144 p.

2. Energy strategy of Russia until 2035. Adjustment [*Energeticheskaja strategija Rossii do 2035 goda. Korrektirovka*]. Moscow, 2014, 25 p.

3. Voda, K. R., Kvashnin, Yu. D. Energy Security: National, Regional and International Aspects. Digest of articles [*Energeticheskaja bezopasnost': nacional'nye, regional'nye i mezhdunarodnye aspekty. Sbornik statej*]. Moscow, IMEMO RAS publ., 2013, 121 p.

4. Vasiliev, A. V., Antropov, G. V., Bazhenov, A. I. [*et al*]. Increase of reliability of fire-tube water-heating boilers [*Povyshenie nadezhnosti zharotrubnyh vodogrejnyh kotlov*]. *Promyshlennaja energetika*, 1998, Iss. 7, pp. 45–54.

5. Kolesnikov, A. I. Energy audit of boiler rooms: let's compare the results [*Energoaudit kotel'nyh: sopostavim rezul'taty*]. *Energosberezhenie*, 2001, Iss. 4, pp. 65–67.

6. Andryushchenko, A. I., Aminov, R. Z., Khlebalin, Yu. M. Heating plants and their use [*Teplofikacionnye ustanovki i ih ispol'zovanie*]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1989, 255 p.

7. Boiler Polykraft Duotherm. [Electronic resource]: http://prom-kotel.ru/equipment/spare_boilers/polykraft/duotherm/. Last accessed 26.06.2017.



Information about the authors:
**Dmitrenko, Artur V.** – D.Sc. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, ammsv@yandex.ru.
**Gaitrov, Maxim Yu.** – Master's student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, gmdoss@yandex.ru.


Article received 26.04.2017, accepted 26.06.2017.

# МОДИФИКАЦИЯ ПОЕЗДОВ «ЛАСТОЧКА»

Генеральный директор ОАО «Федеральная пассажирская компания» (дочернее общество ОАО «РЖД») Петр Иванов, генеральный директор АО «Группа Синара» Михаил Ходоровский и главный исполнительный директор департамента мобильности «Сименс АГ» Йохен Айкхольт подписали соглашение о намерениях по созданию нового поколения пассажирских электропоездов «Ласточка» дальнего следования. Подписание состоялось в рамках Петербургского международного экономического форума в присутствии президента ОАО «РЖД» Олега Белозёрова.

Стороны намерены рассмотреть возможность изготовления электропоездов «Ласточка» для эксплуатации на маршрутах пассажирских перевозок АО «ФПК». Для этого планируется согласовать проект технического задания на электропоезда «Ласточка» различных модификаций для эксплуатации на различных маршрутах дальнего следования, а также проработать возможность приобретения подвижного состава по лизинговым схемам.

Производство электропоездов будет осуществляться на ООО «Уральские локомотивы» (совместное предприятие АО «Группа Синара» и компании «Сименс АГ»).

В настоящее время АО «ФПК» арендует электропоезда «Ласточка» для эксплуатации на маршрутах Москва–Орел, Москва–Курск, Москва–Нижний Новгород, Санкт-Петербург–Петрозаводск, Адлер–Краснодар. Курсирование новых поездов может быть организовано как по действующим маршрутам, пользующимся популярностью у пассажиров, так и по новым, которые будут определены после анализа потенциального пассажиропотока.

**По материалам пресс-службы ОАО «РЖД»** ●

# NEW LASTOCHKA MODIFICATIONS

Pyotr Ivanov, Managing Director of OAO Federal Passenger Company, a subsidiary of Russian Railways, Mikhail Khodorovsky, Managing Director of CJSC Sinara Group, and Jochen Eickholt, Chief Executive Officer of the Mobility Department of Siemens AG, have signed an agreement on their intention to create a new generation of Lastochka [swallow] long distance electric passenger trains.

The signing took place in the framework of the St. Petersburg International Economic Forum in the presence of Oleg Belozerov, President of OJSC Russian Railways.

The three parties intend to consider the possibility of manufacturing Lastochka electric trains to operate on the passenger transportation routes of the Federal Passenger Company.

For this purpose, it is planned to agree the draft technical assignment for Lastochka electric trains with various modifications for operation on different long-distance routes and also to study the possibility of purchasing rolling stock under leasing schemes.

At present, the Federal Passenger Company rents Lastochka electric trains for operation on the routes between Moscow–Orel, Moscow–Kursk, Moscow–Nizhny Novgorod, St. Petersburg–Petrozavodsk and Adler–Krasnodar.

The new trains could be used both along existing routes which are already popular with passengers and on new ones following an analysis of potential passenger traffic.

The Ural Locomotives Limited Liability Company, a joint venture of the Sinara Group and Siemens AG, will manufacture the electric trains.

**Based on press releases of JSC Russian Railways** ●

УДК 629.4.015

# Эксперимент с проскальзыванием колёсных пар локомотива

Анна ГОРДЕЕВА
Anna A. GORDEEVA

Пётр НОВОСЕЛЬЦЕВ
Petr V. NOVOSELTSEV

Юрий КУПЦОВ
Yuri A. KUPTSOV

***Новосельцев Пётр Викторович*** *– кандидат технических наук, доцент Улан-Удэнского института железнодорожного транспорта (филиал ИрГУПС), Улан-Удэ, Россия.*
***Гордеева Анна Александровна*** *– аспирант УУИЖТ (филиал ИрГУПС), Улан-Удэ, Россия.*
***Купцов Юрий Алексеевич*** *– ст. преподаватель УУИЖТ (филиал ИрГУПС), Улан-Удэ, Россия.*

**Experiment with Sliding of Locomotive Wheel Sets**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 108)*

***Экспериментальные исследования, представленные в статье, выявили, что возникающая в процессе ведения по рельсам железнодорожного состава неравномерность движения отдельных его частей приводит к появлению толчков, которые могут стать причиной проскальзывания. Особенностью предлагаемого способа контроля ситуации является то, что определяется абсолютное движение локомотива по отношению к неподвижной системе, устанавливается его скорость, по изменению которой вычисляется проскальзывание, поскольку как раз уменьшение скорости при движении в режиме тяги указывает на возникновение отклонений.***

*Ключевые слова: железная дорога, локомотив, колесо, рельс, касательная сила тяги, скорость, ускорение, сила инерции, сила сопротивления, скорость проскальзывания абсолютная и относительная.*

Среди работ, посвященных исследованию проскальзывания колесных пар, одна из наиболее известных принадлежит Н. Н. Меншутину [1]. В ней описаны масштабные эксперименты, проведенные в реальных условиях эксплуатации локомотива в конце 1950-х годов. И тогда было установлено, что относительная скорость проскальзывания, равная 1,5–2 %, соответствует максимуму по сцеплению и не зависит от скорости движения локомотива. Особенностью тех экспериментов стало то, что скорость проскальзывания определялась на основе сравнения скоростей движения двух колесных пар, одна из которых была нагружена тяговым моментом, а у другой тяговый двигатель был выключен.

В целом ряде исследований рассматриваются самые разные вопросы теории и практики сцепления и проскальзывания [2, 3]. В работе [4] утверждается, что скорость проскальзывания колесной пары существенно зависит от технического состояния рельсового пути, в частности его продольной жёсткости.

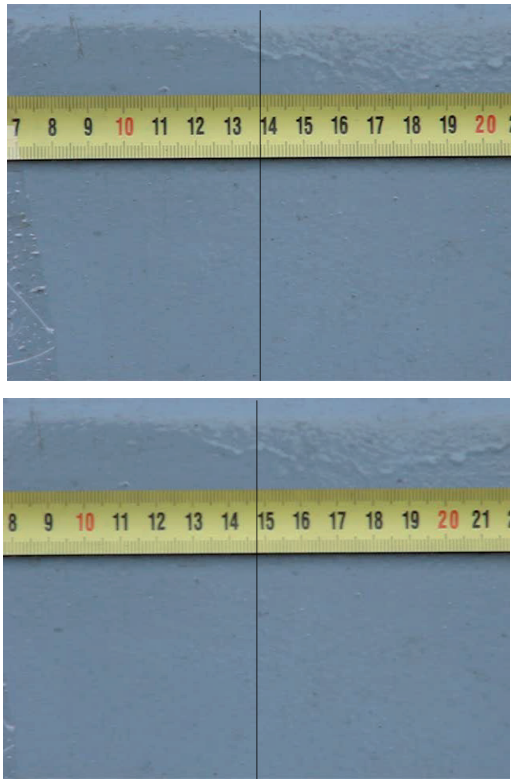



***Рис. 1. Снимки положения локомотива через 0,25 с.***

В нашем случае предлагается способ исследования проскальзывания колесных пар локомотива, состоящий в следующем:

– экспериментально определяется закон абсолютного движения локомотива относительно неподвижной системы координат:

$$S' = f_1(t), \qquad (1)$$

где $S'$ – перемещение локомотива, м;

– затем, на основе этой зависимости (1), фиксируется скорость локомотива (м/с):

$$V' = \frac{dS'}{dt} = f_2(\mathrm{t})\ ; \qquad (2)$$

– далее определяется ускорение локомотива как величина изменения скорости (м/с$^2$):

$$a' = \frac{dV'}{dt} = f_3(\mathrm{t})\ ; \qquad (3)$$

– выявляются участки, на которых ускорение отрицательное (то есть возникает проскальзывание).

Ниже приводится пример исследования проскальзывания, выполненного на путях станции Улан-Удэ на прямом горизонтальном участке при температуре +8°С в сухую погоду. Испытанию подвергался грузовой состав массой 4370 тонн с локомотивом ВЛ-80$^{Р}$ при трогании с места.

Работа выполнялась в заданной последовательности:

– на корпусах локомотива и первого вагона были укреплены мерные ленты с ценой деления 1 мм (рис. 1);

– против них, на неподвижных опорах, были укреплены две цифровые камеры;

– по звуковому сигналу машиниста на отправление цифровые камеры были включены и выполнена цифровая запись перемещений локомотива и первого вагона (на рис. 1 представлены два снимка мерной ленты через промежуток времени 0,25 с).

Таким образом, путь, пройденный локомотивом за это временя:

$\Delta S' = 147{,}5 – 138{,}2 = 9{,}3$ мм $= 0{,}0093$ м.

Средняя скорость локомотива в этом промежутке времени:

$$V' = \frac{\Delta S'}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta S'}{\Delta t} = \frac{0{,}0093}{0{,}25} = 0{,}0372 \text{ м/с.}$$

Просматривая покадрово видеозапись, производим считывание основных параметров:

– время $t_i$ данного кадра;

– соответствующую кадру координату $S_i'$ положения локомотива и координату $S_i''$ положения первого вагона;

**Таблица 1**

| Время | Перемещение локомотива | Перемещение вагона | Разница перемещений локомотива и вагона | Скорость локомотива | Скорость вагона | Ускорение локомотива | Ускорение вагона |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t, (сек) | $S_i'$, (м) | $S_i''$, (м) | $S_i'$ - $S_i''$, (м) | $V_i'$, (м/с) | $V_i''$, (м/с) | $a_i'$, (м/с²) | $a_i''$, (м/с²) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,004 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 0,001 | 0 | 0,001 | 0,008 | 0,004 | 0,016 | 0,016 |
| 0,5 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,018 | 0,004 | 0,04 | 0 |
| 0,75 | 0,0075 | 0,002 | 0,0055 | 0,028 | 0,004 | 0,04 | 0 |
| 1 | 0,0145 | 0,003 | 0,0115 | 0,028 | 0,008 | -5,6E-17 | 0,016 |
| 1,25 | 0,0215 | 0,005 | 0,0165 | 0,016 | 0,016 | -0,048 | 0,032 |
| 1,5 | 0,0255 | 0,009 | 0,0165 | 0,026 | 0,024 | 0,04 | 0,032 |
| 1,75 | 0,032 | 0,015 | 0,017 | 0,022 | 0,028 | -0,016 | 0,016 |
| 2 | 0,0375 | 0,022 | 0,0155 | 0,03 | 0,02 | 0,032 | -0,032 |
| 2,25 | 0,045 | 0,027 | 0,018 | 0,056 | 0,024 | 0,104 | 0,016 |
| 2,5 | 0,059 | 0,033 | 0,026 | 0,08 | 0,028 | 0,096 | 0,016 |
| 2,75 | 0,079 | 0,04 | 0,039 | 0,096 | 0,032 | 0,064 | 0,016 |
| 3 | 0,103 | 0,048 | 0,055 | 0,128 | 0,068 | 0,128 | 0,144 |
| 3,25 | 0,135 | 0,065 | 0,07 | 0,14 | 0,08 | 0,048 | 0,048 |
| 3,5 | 0,17 | 0,085 | 0,085 | 0,132 | 0,12 | -0,032 | 0,16 |
| 3,75 | 0,203 | 0,115 | 0,088 | 0,12 | 0,136 | -0,048 | 0,064 |
| 4 | 0,233 | 0,149 | 0,084 | 0,116 | 0,136 | -0,016 | 2,22E-16 |
| 4,25 | 0,262 | 0,183 | 0,079 | 0,096 | 0,14 | -0,08 | 0,016 |
| 4,5 | 0,286 | 0,218 | 0,068 | 0,1 | 0,112 | 0,016 | -0,112 |
| 4,75 | 0,311 | 0,246 | 0,065 | 0,104 | 0,112 | 0,016 | 4,44E-16 |
| 5 | 0,337 | 0,274 | 0,063 | 0,116 | 0,108 | 0,048 | -0,016 |

– время $t_{i+1}$ следующего кадра;

– соответствующую кадру координату $S_{i+1}'$ положения локомотива и координату $S_{i+1}''$ положения первого вагона.

Далее вычисляем среднюю скорость локомотива и вагона в промежутке времени от $t_i$ до $t_{i+1}$:

$$V_i' = \frac{S_{i+1}' - S_i'}{\Delta t}, \quad V_i'' = \frac{S_{i+1}'' - S_i''}{\Delta t}. \qquad (4)$$

Затем считываем с видеозаписи координаты локомотива $S_{i+2}'$ и вагона $S_{i+2}''$ в момент времени $t_{i+2}$.

После этого вычисляем среднюю скорость локомотива и вагона в промежутке времени от $t_{i+1}$ до $t_{i+2}$:

$$V_{i+1}' = \frac{S_{i+2}' - S_{i+1}'}{\Delta t}, \quad V_{i+1}'' = \frac{S_{i+2}'' - S_{i+1}''}{\Delta t}. \qquad (5)$$

Находим ускорение локомотива и вагона на этом интервале времени:

$$a_{i+1}' = \frac{V_{i+1}' - V_i'}{\Delta t}, \quad a_{i+1}'' = \frac{V_{i+1}'' - V_i''}{\Delta t}. \qquad (6)$$

Производим вычисления в программе Excel и результаты сводим в таблицу 1.

При сравнении предыдущей и последующих скоростей локомотива $V_i'$ и $V_{i+1}'$ возможны варианты.

1-й вариант: $V_i' > V_{i+1}'$.

В этом случае ускорение локомотива направлено в сторону движения, а сила инерции противоположна ему. На основании принципа Даламбера имеем:

$$F_k - R - F = 0, \quad (7)$$

где $F_k$ – касательная сила тяги; $R$ – сила сопротивления; $F$ – сила инерции.

Преобразуем уравнение (7):

$F_k - R = F$.

Вывод: локомотив движется с ускорением в нормальном режиме тяги.

2-й вариант: $V_i' < V_{i+1}'$.

Здесь ускорение локомотива,

$$a' = -\frac{V_{i+1}' - V_i'}{\Delta t},$$

будет отрицательным и направлено противоположно направлению движения. Сила инерции в этом случае совпадает с направлением движения. Основываясь на принципе Даламбера, получим:

$$F_k - R + F = 0; \quad (8)$$

$$F_k - R = -F. \quad (9)$$

Значит, касательная сила тяги меньше силы сопротивления движению. Равенство (8) может быть удовлетворено, когда:

– уменьшается касательная сила тяги $F_k$, то есть происходит проскальзывание;

– увеличивается сила сопротивления движению $R$.

Предположим, что сила $F_k$ не изменилась. Тогда сила сопротивления будет $R = F_k + F$. Это маловероятно. Остаётся предположить, что уменьшилась касательная сила тяги и возникло проскальзывание.

Анализируя результаты таблицы 1, можно сделать следующие выводы:

1. Если ускорения локомотива и первого вагона положительны (в таблице при $t = 3{,}25$ с), то они движутся в нормальном режиме тяги. В этом случае касательная сила тяги $F_k = R + F$. Сила инерции состава становится частью силы $R$ сопротивления его движению. Проскальзывания нет.

2. Если ускорение локомотива отрицательно, а ускорение первого вагона положительно (например, при $t = 3{,}5$ с), то касательная сила тяги $F_k = R - F$. При этом сила сопротивления увеличивается за счёт силы инерции состава, касательная сила тяги уменьшается за счёт проскальзывания, а абсолютная величина скорости проскальзывания предстанет как

$$V_c = V_{3,25}' - V_{3,5}' = 0{,}140 - 0{,}132 = 0{,}012 \text{ м/с}.$$

Необходимо отметить, что $V_c$ есть некоторая усредненная скорость проскальзывания всех колесных пар локомотива, величина в определенной степени условная, однако весьма значимая для практики ведения поезда.

Относительную скорость проскальзывания ориентировочно можно принять равной:

$$v_c = \frac{V_c}{V_i'} = \frac{0{,}012}{0{,}14} \cdot 100\ \% = 8{,}57\ \%.$$

И есть смысл вспомнить: в работе [1] указывалось, что при малых скоростях относительная скорость проскальзывания более 2 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый способ позволяет с достаточной точностью определять абсолютную и относительную скорости проскальзывания колесных пар локомотива и на его основе разработать устройство для автоматического предотвращения боксования.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Меншутин Н. Н. Исследование скольжения колесной пары электровоза для реализации силы тяги в эксплуатационных условиях // Труды ВНИИЖТ.– 1960.– Вып. 188.– С. 113–132.

2. Минов Д. К. Теория процесса реализации сил сцепления при электрической тяге и способы повышения их использования // Проблемы повышения эффективности работы транспорта. Вып. 1.– М.: АН СССР, 1953.– С. 7–129.

3. Казаринов А. В. Измерение эксплуатационного уровня смещения колес с рельсами в тормозных режимах на грузонапряженных участках Сибири и Забайкалья // Вестник НИИЖТ.– 2010.– № 3.– С. 14–20.

4. Новосельцев В. П., Новосельцев П. В., Гордеева А. А. Влияние продольной жесткости пути на проскальзывание колесной пары локомотива по рельсу // Мир транспорта.– 2013.– № 4.– С. 34–38.

5. Купцов Ю. А., Новосельцев П. В. Исследование взаимодействия грузового железнодорожного состава и локомотива на основе натурных экспериментов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.– 2009.– № 2.– С. 77–81.




Координаты авторов: **Новосельцев П. В.** – nov-pv@mail.ru, **Гордеева А. А.** – uuf.vpo@mail.ru, **Купцов Ю. А.** – yourakupcov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 06.12.2016, принята к публикации 22.03.2017.

# EXPERIMENT WITH SLIDING OF LOCOMOTIVE WHEEL SETS

***Novoseltsev, Petr V.,*** *Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia.*

***Gordeeva, Anna A.,*** *Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia.*

***Kuptsov, Yuri A.,*** *Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia.*

## ABSTRACT

Experimental studies presented in the article have revealed that the unevenness of movement of the individual parts of the train during its driving along the rails leads to appearance of shocks that could cause sliding. The peculiarity of the proposed method of controlling the situation is that the absolute motion of the locomotive with respect to the fixed system is determined, its speed is set, according to the change of which sliding is calculated, since just decrease in speed when driving in traction mode indicates the occurrence of deviations.

*Keywords: railway, locomotive, wheel, rail, tangential traction force, speed, acceleration, inertia force, drag force, absolute and relative sliding speed.*

**Background.** *Among the works devoted to the study of sliding of wheel sets, one of the most famous belongs to N. N. Menshutin [1]. It describes the scale experiments conducted in the real operating conditions of the locomotive in the late 1950s. And then it was found that the relative sliding rate, equal to 1,5–2 %, corresponds to the maximum in adhesion and does not depend on speed of the locomotive. The peculiarity of those experiments was that the sliding speed was determined on the basis of a comparison of speeds of two wheel sets, one of which was loaded by the traction moment, while the other had a traction motor switched off.*

*In a number of studies, various problems of the theory and practice of adhesion and sliding are considered [2, 3]. In work [4] it is asserted that the speed of sliding of a wheel set depends essentially on the technical condition of the track, in particular its longitudinal stiffness.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider sliding of locomotive wheel sets on the experimental basis.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, experiment, mathematical apparatus, comparative analysis.*

**Results.** *In our case, we propose a method for studying the sliding of wheel sets of a locomotive, consisting of the following:*

*– the law of the absolute motion of a locomotive relative to a fixed coordinate system is determined experimentally:*

$$S' = f_1(t), \qquad (1)$$

*where S′ is displacement of a locomotive, m;*

*– then, based on this dependence (1), locomotive speed (m / s) is fixed:*

$$V' = \frac{dS'}{dt} = f_2(\mathrm{t})\ ; \qquad (2)$$

*– further, acceleration of a locomotive is determined as a magnitude of change in speed (m / s²):*

$$a' = \frac{dV'}{dt} = f_3(\mathrm{t}); \qquad (3)$$

*– areas are identified on which acceleration is negative (that is, sliding occurs).*

*Below is an example of a study of sliding performed on Ulan-Ude station tracks in a straight horizontal section at a temperature of +8°C in dry weather. The freight train was tested with a mass of 4370 tons with the locomotive VL-80ᴾ while starting.*

*The work was carried out in the following sequence:*

*– on the bodies of the locomotive and the first car, measuring tapes with sensitivity of 1 mm were fixed (Pic. 1);*

*– against them, on fixed supports, two digital cameras were fixed;*

*– according to the sound signal of the driver for departure, digital cameras were switched on and digital recording of movement of the locomotive and the first car (Pic. 1 shows two photographs of the measuring tape after a time interval of 0,25 s).*

*Thus, the distance covered by the locomotive over this time:*

*ΔS′ = 147,5–138,2 = 9,3 mm = 0,0093 m.*

*Average speed of the locomotive in this time interval:*

$$V' = \frac{\Delta S'}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta S'}{\Delta t} = \frac{0{,}0093}{0{,}25} = 0{,}0372\ m/\mathrm{s}.$$

*Looking through the frame-by-frame video recording, we make reading of the main parameters:*

*– time $t_i$ of this frame;*

*– the corresponding coordinate $S_i'$ of the position of the locomotive and the coordinate $S_i''$ of the position of the first car;*

*– time $t_{i+1}$ of the next frame;*

*– the corresponding coordinate $S_{i+1}'$ of the position of the locomotive and the coordinate $S_{i+1}''$ of the position of the first car.*

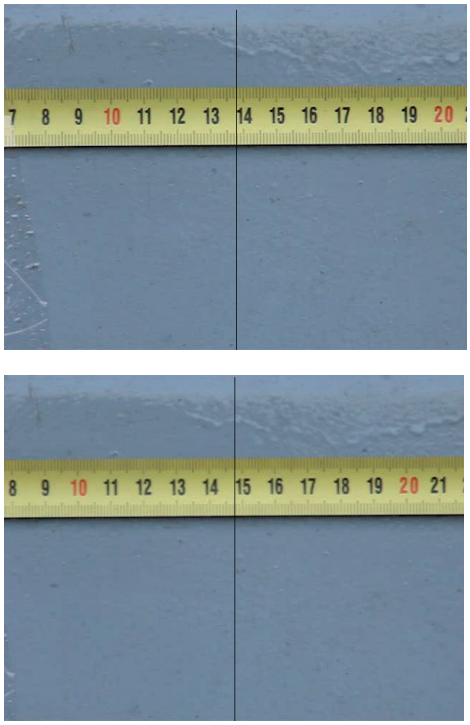
*Next, we calculate average speed of the locomotive and the car in the time interval from $t_i$ to $t_{i+1}$:*

$$V_i' = \frac{S_{i+1}' - S_i'}{\Delta t}, \qquad V_i'' = \frac{S_{i+1}'' - S_i''}{\Delta t}. \qquad (4)$$

*Then we read from the video recording the coordinates of the locomotive $S_{i+2}'$ and the car $S_{i+2}''$ at time $t_{i+2}$.*

*After that we calculate average speed of the locomotive and the car in the time interval from $t_{i+1}$ to $t_{i+2}$:*

$$V_{i+1}' = \frac{S_{i+2}' - S_{i+1}'}{\Delta t}, \qquad V_{i+1}'' = \frac{S_{i+2}'' - S_{i+1}''}{\Delta t}. \qquad (5)$$




***Pic. 1. Photographs of locomotive position in 0,25 s.***

*We find acceleration of the locomotive and the car in this time interval:*

$$a'_{i+1} = \frac{V_{i+1}' - V_i'}{\Delta t},$$

$$a''_{i+1} = \frac{V_{i+1}'' - V_i''}{\Delta t}. \qquad (6)$$

*We perform calculations in Excel and summarize the results in Table 1.*

*When comparing the previous and subsequent speeds of the locomotive $V_i'$ and $V_{i+1}'$ the following options are possible.*

*1st option: $V_i' > V_{i+1}'$.*

*In this case, acceleration of the locomotive is directed towards movement, and inertia force is opposite to it. Based on the d'Alembert principle, we have:*

$F_k - R - F = 0$ *(7)*

*where $F_k$ is tangential traction force; R is resistance force; F is inertia force.*

*We transform the equation (7):*

$F_k - R = F$.

*Conclusion: the locomotive moves with acceleration in the normal traction mode.*

*2nd option: $V_i' < V_{i+1}'$.*

*Here acceleration of the locomotive,*

$$a' = -\frac{V_{i+1}' - V_i'}{\Delta t},$$

*will be negative and directed opposite to the direction of motion. The inertia force in this case coincides with the direction of motion. Based on the principle of d'Alembert, we get:*

$F_k - R + F = 0$; *(8)*

$F_k - R = -F$. *(9)*

*Hence, tangential traction force is less than resistance to motion. The equation (8) can be satisfied when:*

*– tangential traction force decreases $F_k$, i.e. sliding occurs;*

*– resistance to motion R increases.*

*Suppose that the force $F_k$ has not changed. Then the resistance force will be $R = F_k + F$. This is unlikely, therefore it remains to assume that the tangential traction force has decreased and sliding has occurred.*

*Analyzing the results of Table 1, we can draw the following conclusions:*

*1. If acceleration of the locomotive and the first car are positive (in the table at t = 3,25 s), then they move in normal traction mode. In this case, the tangential traction force $F_k = R+F$. The inertia force of the train becomes part of the force R of resistance to its motion. There is no sliding.*

*2. If acceleration of the locomotive is negative, and acceleration of the first car is positive (for example, at t = 3,5 s), then the tangential traction force $F_k = R-F$. In this case, the resistance force increases due to the inertia force of the train, tangential traction force decreases due to sliding, and the absolute value of sliding speed appears as*

$$V_c = V'_{3,25} - V'_{3,5} = 0,140 - 0,132 = 0,012\ m/\mathrm{s}.$$

*It should be noted that $V_c$ is some average speed of sliding of all locomotive wheel sets, a value to some extent conditional, but very significant for the practice of conducting the train.*

*The relative speed of sliding can roughly be taken as:*

$$v_c = \frac{V_c}{V_i'} = \frac{0,012}{0,14} \cdot 100\% = 8,57\%.$$

*And it makes sense to recall: in [1] it was pointed out that at low speeds the relative sliding speed is more than 2 %.*

**Conclusion.** *The proposed method makes it possible to determine with absolute accuracy the absolute and relative rates of sliding of wheel sets of*

**Table 1**

| Time | Locomotive movement | Car movement | Difference in movements of locomotive and car | Locomotive speed | Car speed | Locomotive acceleration | Car acceleration |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t, (sec) | $S_i'$, (m) | $S_i''$, (m) | $S_i' - S_i''$, (m) | $V_i'$, (m/s) | $V_i''$, (m/s) | $a_i'$, (m/s$^2$) | $a_i''$, (m/s$^2$) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,004 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 0,001 | 0 | 0,001 | 0,008 | 0,004 | 0,016 | 0,016 |
| 0,5 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,018 | 0,004 | 0,04 | 0 |
| 0,75 | 0,0075 | 0,002 | 0,0055 | 0,028 | 0,004 | 0,04 | 0 |
| 1 | 0,0145 | 0,003 | 0,0115 | 0,028 | 0,008 | -5,6E-17 | 0,016 |
| 1,25 | 0,0215 | 0,005 | 0,0165 | 0,016 | 0,016 | -0,048 | 0,032 |
| 1,5 | 0,0255 | 0,009 | 0,0165 | 0,026 | 0,024 | 0,04 | 0,032 |
| 1,75 | 0,032 | 0,015 | 0,017 | 0,022 | 0,028 | -0,016 | 0,016 |
| 2 | 0,0375 | 0,022 | 0,0155 | 0,03 | 0,02 | 0,032 | -0,032 |
| 2,25 | 0,045 | 0,027 | 0,018 | 0,056 | 0,024 | 0,104 | 0,016 |
| 2,5 | 0,059 | 0,033 | 0,026 | 0,08 | 0,028 | 0,096 | 0,016 |
| 2,75 | 0,079 | 0,04 | 0,039 | 0,096 | 0,032 | 0,064 | 0,016 |
| 3 | 0,103 | 0,048 | 0,055 | 0,128 | 0,068 | 0,128 | 0,144 |
| 3,25 | 0,135 | 0,065 | 0,07 | 0,14 | 0,08 | 0,048 | 0,048 |
| 3,5 | 0,17 | 0,085 | 0,085 | 0,132 | 0,12 | -0,032 | 0,16 |
| 3,75 | 0,203 | 0,115 | 0,088 | 0,12 | 0,136 | -0,048 | 0,064 |
| 4 | 0,233 | 0,149 | 0,084 | 0,116 | 0,136 | -0,016 | 2,22E-16 |
| 4,25 | 0,262 | 0,183 | 0,079 | 0,096 | 0,14 | -0,08 | 0,016 |
| 4,5 | 0,286 | 0,218 | 0,068 | 0,1 | 0,112 | 0,016 | -0,112 |
| 4,75 | 0,311 | 0,246 | 0,065 | 0,104 | 0,112 | 0,016 | 4,44E-16 |
| 5 | 0,337 | 0,274 | 0,063 | 0,116 | 0,108 | 0,048 | -0,016 |

*the locomotive and on its basis to develop a device for automatic prevention of sliding.*

## REFERENCES


1. Menshutin, N. N. Research of sliding of a wheel set of an electric locomotive for realization of traction force under operating conditions [*Issledovanie skol'zhenija kolesnoj pary elektrovoza dlja realizacii sily tjagi v ekspluatacionnyh uslovijah*]. *Trudy VNIIZhT*, 1960, Iss. 188, pp. 113–130.

2. Minov, D. K. Theory of process of realization of adhesion forces in electric traction, and ways to increase their use. Problems of increasing the efficiency of transport [*Teorija processa realizacii sil sceplenija pri elektricheskoj tjage i sposoby povyshenija ih ispol'zovanija. Problemy povyshenija effektivnosti raboty transporta*]. Iss. 1. Moscow, Academy of Sciences of the USSR, 1953, p. 7–129.

3. Kazarinov, A. V. Measurement of the operational level of displacement of wheels with rails in braking modes on freight-stressed sections of Siberia and Zabaikalie [*Izmerenie ekspluatacionnogo urovnja smeshhenija koles s rel'sami v tormoznyh rezhimah na gruzonaprjazhennyh uchastkah Sibiri i Zabajkal'ja*]. *Vestnik NIIZhT*, 2010, Iss. 3, pp. 14–20.

4. Novoseltsev, V. P., Novoseltsev, P. V., Gordeeva, A. A. Impact of longitudinal stiffness of rail track on the sliding of locomotive wheel pair. *World of Transport and Transportation*, Vol. 11, 2013, Iss. 4, pp. 34–38.

5. Kuptsov, Yu. A., Novoseltsev, P. V. Research of interaction of freight train and locomotive on the basis of full-scale experiments [*Issledovanie vzaimodejstvija gruzovogo zheleznodorozhnogo sostava i lokomotiva na osnove naturnyh eksperimentov*]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*, 2009, Iss. 2, pp. 77–81.



Information about the authors:
**Novoseltsev, Petr V.** – Ph.D. (Eng), associate professor of Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia, nov-pv@mail.ru.
**Gordeeva, Anna A.** – Ph.D. student of Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia, uuf.vpo@mail.ru.
**Kuptsov, Yuri A.** – senior lecturer of Ulan-Ude Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Ulan-Ude, Russia, yourakupcov@mail.ru.


Article received 06.12.2016, accepted 22.03.2017.

# ЭКОНОМИКА • ECONOMICS


**ВАКУУМНЫЙ ПОЕЗД** 112

*Поиск конкурентной ниши.*

**КОРПОРАТИВНЫЕ ФИНАНСЫ** 122

*Особенности синдицированных кредитов. Сделки заёмщиков и инструментарий.*

**АЛЬТЕРНАТИВА** 132

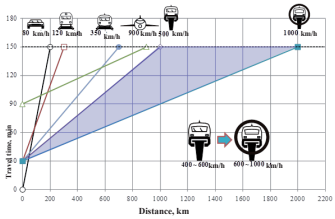
*Выгоды безбалластного варианта.*

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ** 142

*Солнечная энергия: экономична ли она?*

**VACUUM TRAIN** 112

*In search of competitive niche.*



**CORPORATE FINANCES** 122

*Features of participation loans. Transactions of recipients and their tools.*

**ALTERNATIVE** 132

*Advantages of ballastless variant.*

**EFFICIENCY** 142

*Solar power: is its cost / income ratio sufficient?*

УДК 629.438.4

# Вакуумный поезд: поиск ниши на рынке перевозок пассажиров

Сергей НЕСТЕРОВ
Sergey B. NESTEROV

Иван ВОРОБЬЁВ
Ivan A. VOROBIEV

Рим КОНДРАТЕНКО
Rim O. KONDRATENKO

***Нестеров Сергей Борисович*** *– доктор технических наук, зам. генерального директора по научной работе НИИВТ им. С. А. Векшинского, Москва, Россия.*
***Воробьёв Иван Александрович*** *– кандидат экономических наук, генеральный директор НИИВТ им. С. А. Векшинского, Москва, Россия.*
***Кондратенко Рим Олегович*** *– кандидат технических наук, начальник отдела НИИВТ им. С. А. Векшинского, Москва, Россия.*


**Vacuum Train: Finding a Niche in the Passenger Transportation Market**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 118)*

***Необходимость и выгодность создания транспортной системы со скоростями, кратными 1000 км/ч (до 6000 км/ч), постоянно обсуждаются мировым научным сообществом. Сегодня единственным способом повышения скорости рельсового транспорта до таких значений видится в замене системы колесо-рельс на систему магнитного подвеса и замене естественной среды на искусственно созданную, в которой аэродинамическое сопротивление для транспорта будет мало. В статье рассматриваются ниши транспортного рынка, которые может занять вакуумный поезд в конкурентной борьбе с высокоскоростным и воздушным транспортом.***

*Ключевые слова: вакуумный поезд, сравнительный анализ, конкуренция, поиск ниши, маглев, воздушный транспорт, железнодорожный транспорт, высокоскоростные поезда.*

По оценкам ООН, число жителей планеты к 2050 году достигнет 9,2 млрд. Это рекордно высокая цифра, учитывая, что в 2009 году показатель был 6,8 млрд, а в 1950 году всего 2,5 млрд. Притом 70 % землян теснятся в городах, спасать сообщение между которыми призваны теперь высокоскоростные транспортные сети.

Американская транснациональная нефтегазовая корпорация ExxonMobil прогнозирует, что к 2040 году спрос на транспортные услуги увеличится более чем на 40 %, в основном за счёт деловых путешественников.

Масштаб территории России и ближайших стран, протяжённость их потенциальных магистралей вынуждают искать способы увеличения скоростных характеристик транспорта [1–3]. Так, например, протяжённость трассы Москва–Пекин составляет 7769 км (и поездка при проектируемых скоростях высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) займёт не менее 32,8 часа).

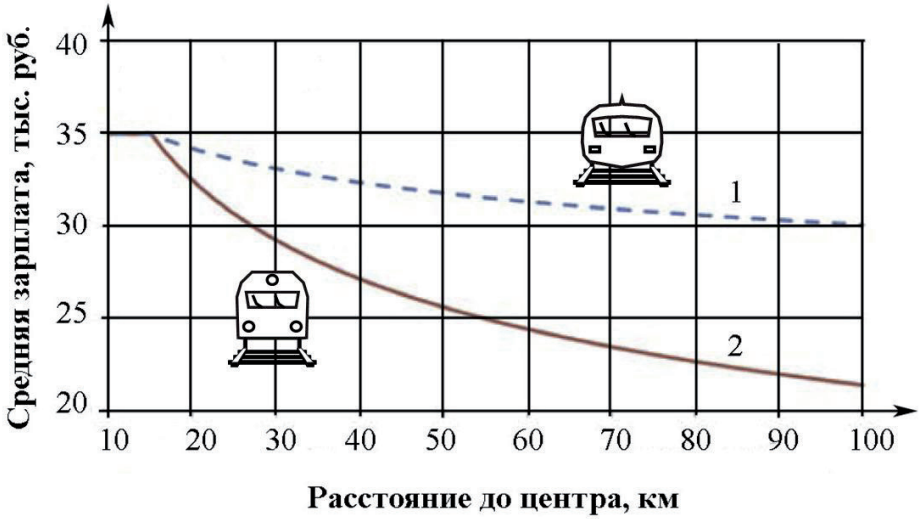



***Рис. 1. Оцененная зависимость зарплата доход-расстояние:***
***1 – Европа (Германия, Швеция, Нидерланды); 2 – Московская область.***
***Источник данных – Росстат [1].***

Стоит отметить и транспортные проблемы на малых расстояниях. Сегодня в Москве и Московской области на рынке труда сохраняется существенное неравенство между центром мегаполиса и его периферией. Очевидно, инструменты интеграции рынков труда (одним из которых является развитая система транспорта) не работают с такой же эффективностью, как на рынках труда европейских мегаполисов.

Сравнительные графики рассчитанной зависимости доход-расстояние до центра для Подмосковья и Европы представлены на рис. 1.

С повышением эффективности общественного транспорта следует ожидать интеграции рынков труда и сглаживания кривой доход-расстояние. В идеале, когда наша транспортная система по развитию догонит европейский уровень, про-

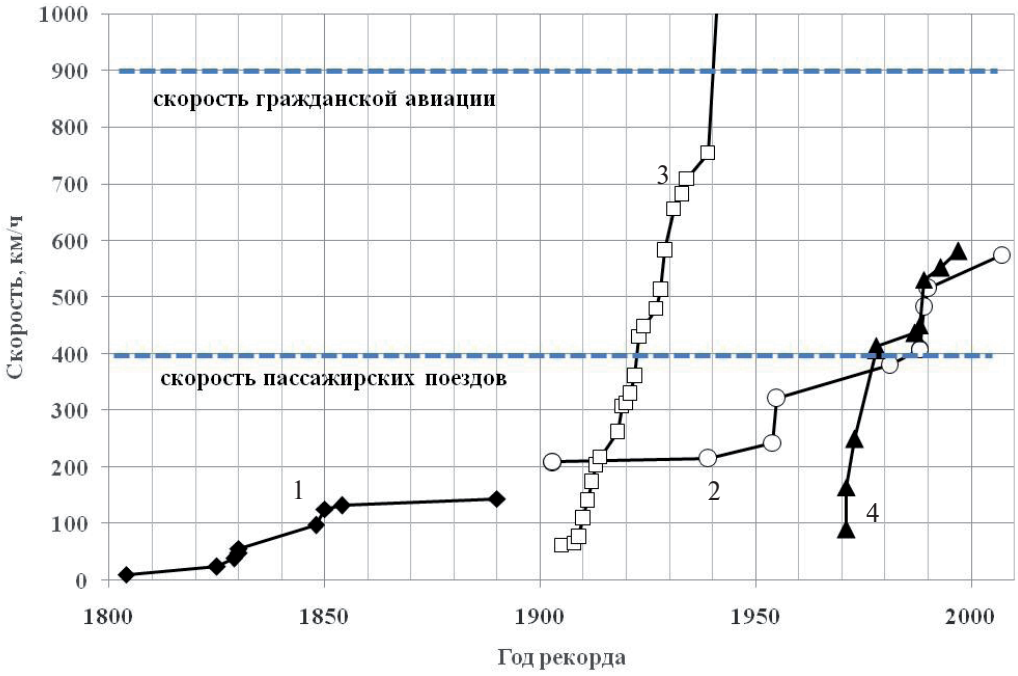



***Рис. 2. Рекорды скорости для некоторых видов транспорта (до 2010 года): 1 – паровоз; 2 – электровоз и тепловоз; 3 – гражданская авиация; 4 – поезда на основе магнитной левитации.***

изойдет перераспределение людей в пространстве, московская агломерация с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями расширится, плотность населения в среднем и дальнем Подмосковье вырастет. В пределе развитие транспортной сети до европейского уровня способно уменьшить эластичность дохода по времени в пути до европейского, что увеличит зарплаты в среднем Подмосковье в 1,5 раза.

Скоростные характеристики транспортного средства, будь то самолет, поезд, автомобиль, зависят от его способности изменяться, приспосабливаться к окружающей среде:

– менять геометрическую форму (форма фюзеляжа самолета, форма скоростного поезда изменены в угоду аэродинамике);

– менять форму движения своих частей (изменение стреловидности, предкрылки и закрылки у самолета);

– менять трансмиссию (замена у поезда системы колесо-рельс на систему магнитной левитации для снижения трения о рельсы).

Однако бывают случаи, когда дальнейшее приспособление к условиям окружающей среды невозможно или является слишком трудоёмким (рис. 2).

Например, обычная скорость в гражданской авиации – около 850 км/ч, хотя рекорды скорости для самолётов составляют несколько тысяч км/ч, а поезда перевозят пассажиров со скоростями 80–350 км/ч, хотя рекорд скорости приближается к 600 км/ч.

В обоих случаях повышению скорости мешает аэродинамическое сопротивление. Оно растет как квадрат скорости, а энергозатраты – как куб скорости. Допустим, при увеличении скорости в 2 раза аэродинамическое сопротивление возрастает в 4 раза, а энергозатраты – в 8 раз.

Возможное решение этой проблемы для рельсового транспорта – замена окружающей среды на искусственно созданную, в которой аэродинамическое сопротивление будет мало, например, поместив состав в трубопровод с пониженным давлением. Данное решение не является новым, оно было предложено более ста лет назад, первые в мире опыты с перемещением тела в вакуумной трубе за счёт электромагнитного поля поставил в 1911–1913 годах в Томском технологическом институте российский профессор Борис Вейнберг. К тому же не такое уж оно и оригинальное, ведь человек – единственное существо на Земле, которое не приспосабливается к окружающей среде, а меняет её под себя.

«Не могу забыть того ошеломляющего впечатления, которое произвёл на холодную петербургскую публику этот смелый и оригинальный проект, когда изобретатель в блестящей лекции нарисовал перед слушателями картину будущей борьбы с пространством», – писал в «Занимательной физике» Я. И. Перельман [4].

Рассмотрим ниши, которые может занять вакуумный поезд.

**1. Метрополитен.** Ниша не может быть занята. Предельная скорость сообщения между подземными станциями, которую смогут в будущем обеспечивать технически более совершенные, чем сегодня, вагоны метрополитена, не превысит 50 км/ч [5]. Она ограничена предельно допустимыми для пассажира ускорениями и замедлениями вагонов, условиями стабильности и безопасности движения поездов и т. п. Под стабильностью движения здесь понимается возможность для поездов устойчиво реализовывать заложенную в график движения скорость сообщения даже при случайных задержках на станциях. При задержке на станции поезд должен обеспечить нагон упущенного времени непосредственно на следующем перегоне. Если ему не удастся этого сделать, то на следующей станции его будет ожидать большее, чем обычно, количество пассажиров и вероятность очередной задержки возрастет. Следствием такой ситуации может стать сбой графика движения.

Внеплановые задержки поездов на станциях в часы-пик происходят регулярно и составляют от 5 до 10 секунд. Необходимость иметь 10-секундный запас времени хода на нагон случайных опозданий в наибольшей степени ограничивает возможность построения графика движения поездов со скоростями сообщения более 50 км/ч.

**Таблица 1**

**Городской экспресс Москва–Новая Москва (40 км)**

| | Вакуумный поезд | Маглев | ВСМ |
|---|---|---|---|
| Расстояние между остановками, км | 40 | 40 | 40 |
| Ускорение при разгоне, м/с$^2$ | 1 | 1 | 1 |
| Максимальная скорость, км/ч | 720 | 603 | 350 |
| Время в пути, мин | 7 | 7,5 | 8,5 |
| Время высадки-посадки, мин | 5 | 5 | 5 |
| Путь разгона, торможения (принимается равным), км | 20 | 7,8 | 4,7 |

**Таблица 2**

**Межрегиональное сообщение с остановками каждые 100 км**

| | Вакуумный поезд | Маглев | ВСМ |
|---|---|---|---|
| Общее расстояние, км | 1000 | 1000 | 1000 |
| Расстояние между остановками, км | 100 | 100 | 100 |
| Ускорение при разгоне, м/с$^2$ | 1 | 1 | 1 |
| Максимальная скорость, км/ч | 1000 | 603 | 350 |
| Время в пути между остановками, мин | 10,6 | 15,5 | 18,7 |
| Общее время в пути, включая время высадки-посадки, мин/ч | 161/2,6 | 210/3,5 | 242/4 |
| Время высадки-посадки, мин | 5 | 5 | 5 |
| Путь разгона, торможения (принимается равным), км | 38,6 | 7,8 | 4,7 |
| Время разгона, торможения (принимается равным), мин | 4,6 | 2,1 | 1,6 |

**2. Городской экспресс и аэроэкспресс.** Ниша не может быть занята. Сегодня появляются новости о возможности применения вакуумного поезда в качестве аэроэкспресса [6]. Такой вид транспорта нужен для обеспечения ускоренных транспортных связей с крупными пригородными районами, аэропортами или городами-спутниками с минимальным числом остановок на маршруте. Например: городской экспресс Москва–Новая Москва, расстояние 40 км. Однако из-за небольшого расстояния между остановками время в пути для вакуумного поезда будет сопоставимо с ВСМ или маглев. Эта ниша прекрасно подходит для них, а проблему шума можно решить более экономичным способом – установкой звукоизоляционных щитов (таблица 1).

**3. Пригородные электропоезда.** Ниша не может быть занята. Пригородные электропоезда предназначены для транспортных связей городов с ближайшими пригородами, а также между соседними населенными пунктами, они рассчитаны на расстояния примерно до 200 км. Среднее расстояние между остановками на маршрутах, обслуживаемых пригородными электропоездами, обычно от 2,5 до 5,0 км. По причине малого расстояния между остановками эта ниша тоже не может быть занята вакуумным поездом.

**4. Межрегиональные электропоезда** (местные)**.** Ниша может быть занята частично. Межрегиональные поезда применяются на маршрутах пригородного и дальнего сообщений с устойчивым пассажиропотоком на расстояния от 100 до 1000 км между городами с остановками только в крупных населенных пунктах или без промежуточных остановок. В таблице 2 – вариант межрегионального сообщения с остановками каждые 100 км и дальностью 1000 км.

**5. Поезда дальнего следования.** Ниша может быть занята. Поезда такого типа следуют на расстояния от 700 км с остановками только в крупных населенных пунктах или без промежуточных остановок на маршруте. В таблице 3 показан вариант дальнего поезда, следующий на расстояние 1000 км без остановок. Это может быть маршрут между крупными городами с большим населением, например, Москва–Санкт-Петербург, Москва–Казань и др. Тем самым будет создана транспортная инфраструктура нового поколения, которая тесно свяжет мегаполисы и регионы РФ.

Таблица 3

**Поезда дальнего следования (1000 км)**

| | Вакуумный поезд | Маглев | ВСМ |
|---|---|---|---|
| Общее расстояние, км | 1000 | 1000 | 1000 |
| Расстояние между остановками, км | 1000 | 1000 | 1000 |
| Ускорение при разгоне, м/с$^2$ | 1 | 1 | 1 |
| Максимальная скорость, км/ч | 1000 | 603 | 350 |
| Время в пути между остановками, мин/ч | 55,4/0,92 | 135,4/2,3 | 173/2,9 |
| Общее время в пути, включая время высадки-посадки, мин/ч | 85,4/1,4 | 165,4/2,6 | 203/3,4 |
| Время высадки-посадки, мин | 30 | 30 | 30 |
| Путь разгона, торможения (принимается равным), км | 38,6 | 7,8 | 4,7 |
| Время разгона, торможения (принимается равным), мин | 4,6 | 2,1 | 1,6 |

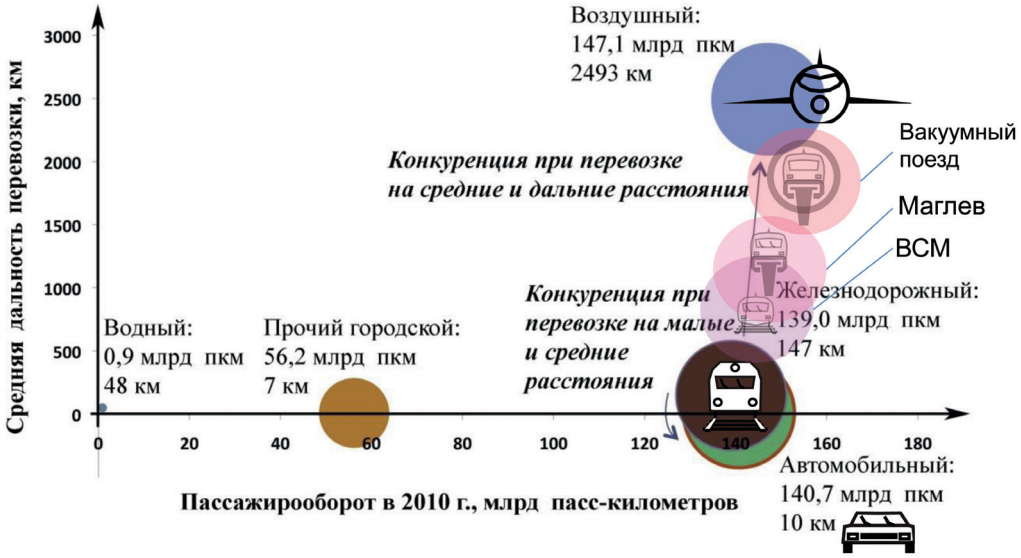



***Рис. 3. Межвидовая конкуренция на пассажирском транспорте. Источник данных – Росстат [1].***

В итоге рассматриваемая транспортная система с учётом специфики разгона может заполнить ниши:

1. Недорогих высокоскоростных перевозок с большим пассажиропотоком на средние расстояния (100–1000 км). При этом конкуренция будет как с воздушным, так и пригородным высокоскоростным транспортом (рис. 3, 4).

2. Высокоскоростных перевозок на дальние расстояния (от 1000 км/ч). При этом конкуренция будет с воздушным транспортом (рис. 3, 4).

Следует заметить, что можно использовать один путь для всех перевозок. Различие только в графике движения и оснащении вагонов.

Несмотря на очевидные перспективы применения вакуумного поезда, в некоторых нишах транспортной инфраструктуры в России, в отличие от США, проект воспринимается весьма скептически, отчасти это связано с отсутствием подробного технико-экономического анализа новой системы и связанных с этим рисков. Данные вопросы в настоящее время только начинают прорабатываться [7, 8].

## ВЫВОДЫ

Наш предварительный анализ показывает, что при создании транспортной системы протяженностью 1000 км около 90 % всех затрат уйдёт именно на проектирова-

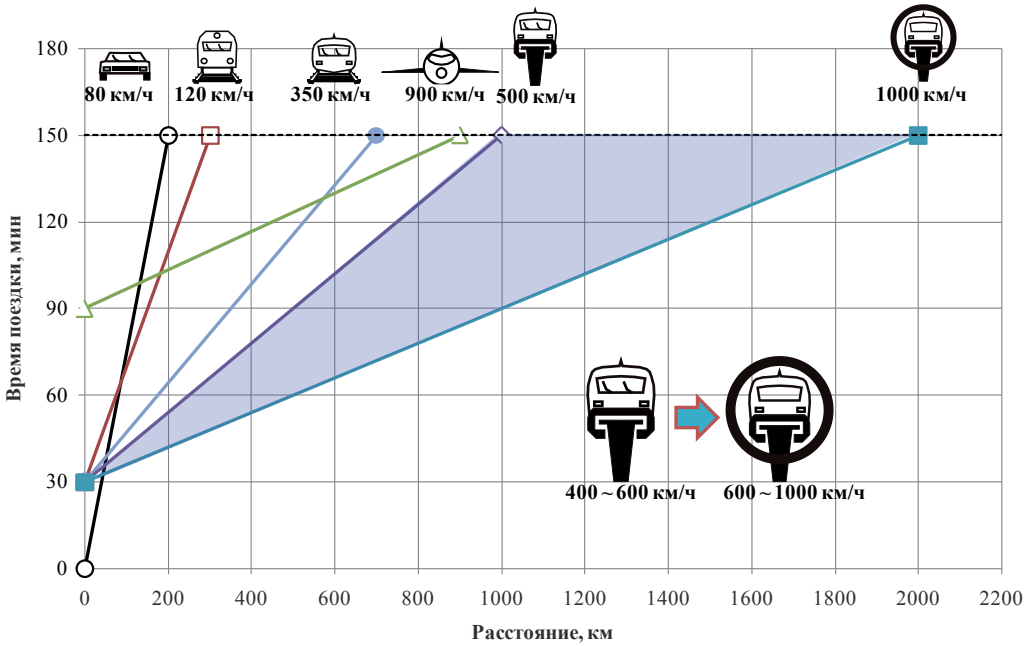



***Рис. 4. Рациональные сферы применения пассажирского транспорта на основе магнитной левитации в разреженной среде. Слева направо в соответствии с пиктограммами наверху рисунка: 1 – личный автомобиль; 2 – скорый рельсовый наземный транспорт; 3 – высокоскоростной рельсовый транспорт; 4 – авиация; 5 – маглев; 6 – вакуумный поезд.***

ние и прокладку вакуумного трубопровода. Поэтому без внедрения новых, действительно высокотехнологичных решений в этой области, основанных, в частности, на снижении массы трубопровода, с сохранением простоты изготовления конструкции, прочностных характеристик и герметичности, данный проект не выйдет за рамки тестового трека.

В этой связи необходима дальнейшая кооперация компетентных предприятий в области магнитолевитационного, аэрокосмического, железнодорожного транспорта, а также специалистов по вакуумной и криогенной технике, аэродинамике с целью подтверждения или опровержения реализуемости поставленных задач в конструировании и непосредственном создании вакуумно-левитационной транспортной системы, оценки её экономической целесообразности сегодня и в ближайшем будущем, а также с целью развития самой идеи и дополнения новыми техническими решениями с учётом технологического прогресса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка крупных инфраструктурных проектов. Задачи и решения // rzd.ru: сайт – Российские железные дороги. 2013. [Электронный ресурс]: http://rzd.ru/dbmm/download?vp=1&load=y&col_id=121&id=71716. Доступ 11.10.2016.

2. РФПИ и РЖД обсуждают пилотные проекты по применению технологии Hyperloop // РИА Новости. 2016. [Электронный ресурс]: http://ria.ru/economy/20160622/1449639464.html. Доступ 11.10.2016.

3. В России работают над аналогами вакуумного поезда Hyperloop // РИА Новости. 2016. [Электронный ресурс]: http://ria.ru/economy/20160520/1436931658.html. Доступ 11.10.2016.

4. Перельман Я. И. Занимательная физика. [Электронный ресурс]: http://www.eduspb.com/public/books/nauch_pop_uch/perelman_fizika1.pdf. Доступ 11.10.2016.

5. Гаврилов Я. И., Мнацаканов В. А. Вагоны метрополитена с импульсными преобразователями.– М.: Транспорт, 1986.– 230 с.

6. Hyperloop в Москве могут пустить в аэропорты и в Новую Москву// РИА Новости. 2016. [Электронный ресурс]: http://ria.ru/moscow/20160617/1449031333.html. Доступ 11.10.2016.

7. В России планируют создать концепцию системы «летающих» поездов // РИА Новости. 2016. [Электронный ресурс]: http://ria.ru/science/20160318/1392431702.html. Доступ 11.10.2016.

8. Власти Москвы поручили изучить возможность применения Hyperloop в столице // РИА Новости. 2016. [Электронный ресурс]: http://ria.ru/economy/20160617/ 1449031025.html. Доступ 11.10.2016.

Координаты авторов: **Нестеров С. Б.** – sbnesterov@niivt.ru, **Воробьёв И. А.** – Vorobiev@niivt.ru, **Кондратенко Р. О.** – r.kondratenko@niivt.ru.

Статья поступила в редакцию 11.10.2016, принята к публикации 22.12.2016.

# VACUUM TRAIN: FINDING A NICHE IN THE PASSENGER TRANSPORTATION MARKET

***Nesterov, Sergey B.,*** *JSC Scientific Research Institute of Vacuum Technology named after S. A. Vekshinsky, Moscow, Russia.*

***Vorobiev, Ivan A.,*** *JSC Scientific Research Institute of Vacuum Technology named after S. A. Vekshinsky, Moscow, Russia.*

***Kondratenko, Rim O.,*** *JSC Scientific Research Institute of Vacuum Technology named after S. A. Vekshinsky, Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The necessity and profitability of creating a transport system with speeds that are multiples of 1000 km / h (up to 6000 km / h) is constantly being discussed by the world scientific community. Today, the only way to increase the speed of rail transport to such values is seen in replacing the wheel-rail system with a magnetic suspension system and replacing the natural environment with an artificially created one, in which the aerodynamic resistance for transport will be small. The article considers the niche of the transport market, which can be occupied by a vacuum train in a competitive struggle with high-speed and air transport.

*Keywords: vacuum train, comparative analysis, competition, niche search, maglev, air transport, railway transport, high-speed trains.*

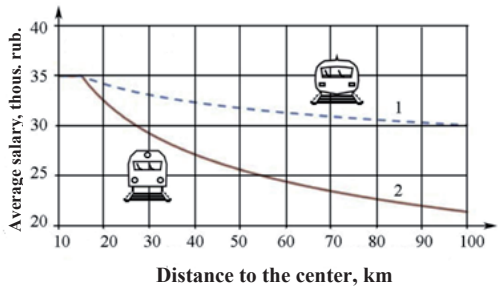
**Background.** *According to UN estimates, the number of inhabitants of the planet will reach 9,2 billion by 2050. This is a record high figure, considering that in 2009 the figure was 6,8 billion, in 1950 it was 2,5 billion. In addition, 70 % of earthlings are crowded in cities, to save the communication between which high-speed transport networks are now called.*

*The American transnational oil and gas corporation ExxonMobil forecasts that by 2040 the demand for transportation services will increase by more than 40 %, mainly due to business travelers.*

*The scale of the territory of Russia and the nearest countries, the length of their potential highways force us to seek ways to increase the speed characteristics of transport [1–3]. For example, the length of Moscow–Beijing route is 7769 km (and the journey at projected speeds of the high-speed railway (HSR) will take at least 32,8 hours).*

*The problems at short distances are worth noting. Today, in Moscow and the Moscow region, a significant inequality between the center of the megapolis and its periphery remains at the labor market. Obviously, labor market integration tools (one of which is a developed transport system) do not work with the same efficiency as in the labor markets of European megacities.*

*Comparative graphs of the calculated dependence income–distance to the center for Moscow region and Europe are shown in Pic. 1.*




***Pic. 1. Estimated dependence salary (income) – distance: 1 – Europe (Germany, Sweden, Netherlands); 2 – Moscow region. The data source is Rosstat [1].***

*With the improvement of public transport efficiency, one should expect the integration of labor markets and the smoothing of the income–distance curve. Ideally, when the development of our transport system overtakes the European level, there will be a redistribution of people in space, the Moscow agglomeration with intensive production, transportation and cultural ties will expand, the population density in the middle and far areas of Moscow region will increase. In the limit, the development of the transport network to the European level can reduce the income elasticity of the time en route to the European level, which will increase the average salary in the middle areas of Moscow region by 1,5 times.*

*Speed characteristics of a vehicle, be it an airplane, train, car, depend on its ability to change, adapt to the environment:*

*– to change the geometric shape (the shape of the aircraft fuselage, the shape of the high-speed train is changed to suit aerodynamics);*

*– to change the shape of the movement of its parts (change in sweep, slats and flaps of the aircraft);*

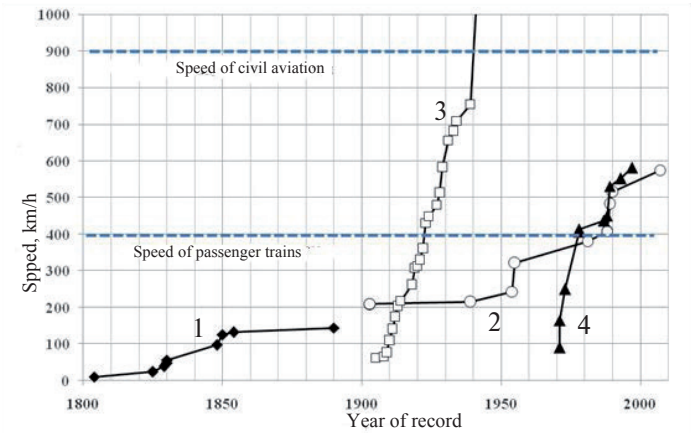
*– to change the transmission (replacement of the wheel-rail system by the magnetic levitation system to reduce the friction on the rails).*

*However, there are cases when further adaptation to environmental conditions is impossible or too time-consuming.*

*For example, the usual speed in civil aviation is about 850 km/h, although the speed records are above several thousand km/h, and the trains carry passengers at speeds of 80–350 km/h, although the speed record is near 600 km/h.*

*In both cases, the increase in speed is impeded by aerodynamic drag. It grows as a square of speed, and energy costs as a speed cube. Let's say that with an increase in speed by 2 times, the aerodynamic drag will increase by 4 times, and the energy consumption – by 8 times.*

*A possible solution to this problem for rail transport is the replacement of the environment by an artificially created one, in which the aerodynamic resistance will be small, for example, by placing the train in a pipeline with a reduced pressure. This solution is not new, it was proposed more than a hundred years ago, the first experiment in the world with the movement of the body in a vacuum tube due to the electromagnetic field was put in 1911–1913 by*




***Pic. 2. Speed records for some types of transport (until 2010): 1 – train; 2 – electric locomotive and diesel locomotive; 3 – civil aviation; 4 – maglev trains.***

**Table 1**

**City express Moscow–New Moscow (40 km)**

| | Vacuum train | Maglev | HSR |
|---|---|---|---|
| Distance between stops, km | 40 | 40 | 40 |
| Time rate of change, m/s$^2$ | 1 | 1 | 1 |
| Maximum speed, km/h | 720 | 603 | 350 |
| Travel time, min | 7 | 7,5 | 8,5 |
| Embarkation-disembarkation time, min | 5 | 5 | 5 |
| Distance of speeding-up, braking (assumed equal), km | 20 | 7,8 | 4,7 |

*the Russian professor Boris Veinberg at the Tomsk Institute of Technology. In addition, it is not so as a man is the only creature on Earth that does not adapt to the environment, but changes it for himself.*

*«I cannot forget that stunning impression that this bold and original project made on the cold Petersburg public when the inventor in a brilliant lecture drew a picture of the future struggle against space before the audience», Ya.I. Perelman wrote in «Entertaining Physics» [4].*

*Let's consider the niches that a vacuum train can take.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider possibilities for using a vacuum train in the Russian passenger transportation market.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, economic analysis, comparative method, statistical analysis.*

**Results.**

**1. The Metropolitan. The niche cannot be occupied.** *The limiting speed of communication between underground stations, which in the future subway cars, which will be technically better than today, will be able to provide, will not exceed 50 km / h [5]. It is limited to the maximum permissible for the passenger acceleration and deceleration of cars, the conditions of stability and safety of train traffic, etc. The stability of traffic here means the possibility for trains to realize the speed of the traffic logged in the traffic graph steadily, even with occasional delays at the stations. If the train is delayed, the train must ensure that the lost time is overtaken directly at the next haul. If it fails to do this, then at the next station more passengers will wait for it than usually, and the probability of another delay will increase. A consequence of this situation may be a traffic schedule failure. Unplanned train delays at stations during peak hours occur regularly and range from 5 to 10 seconds. The need to have a 10-second run-time reserve for overtaking random delay in the most restricts the possibility of plotting the schedule of trains with speeds of more than 50 km / h.*

**2. City express and aeroexpress. The niche cannot be occupied.** *Today, there are news about the possibility of using a vacuum train as an aeroexpress [6]. This type of transport is needed to provide accelerated transport links with large suburban areas, airports or satellite towns with a minimum number of stops on the route. For example: city express Moscow–New Moscow, distance 40 km. However, due to the short distance between stops, the travel time for the vacuum train will be comparable to HSR or maglev. This niche is perfect for them, and the problem of noise can be solved in a more economical way – installation of soundproof shields (Table 1).*

**3. Suburban electric trains. The niche cannot be occupied.** *Suburban electric trains are designed for transport connections of cities with the nearest suburbs, as well as between neighboring settlements, they are designed for distances of up to about 200 km. The average distance between stops on the routes served by suburban electric trains is usually from 2.5 to 5.0 km. Due to the small distance between stops, this niche cannot be occupied by a vacuum train either.*

**4. Interregional electric trains (local). The niche can be partially occupied.** *Interregional trains are used on routes of suburban and long-distance traffic with stable passenger flow for distances from 100 to 1000 km between cities with stops only in large populated areas or without intermediate stops. Table 2 shows a variant of an interregional communication with stops every 100 km and a distance of 1000 km.*

**5. Long-distance trains. The niche can be occupied.** *Trains of this type move to a distance of 700 km with stops only in large settlements or without intermediate stops on the route. Table 3 shows a variant of a long-distance train following a distance of 1000 km without stopping. This can be a route*

**Table 2**

**Interregional communication with stops every 100 km**

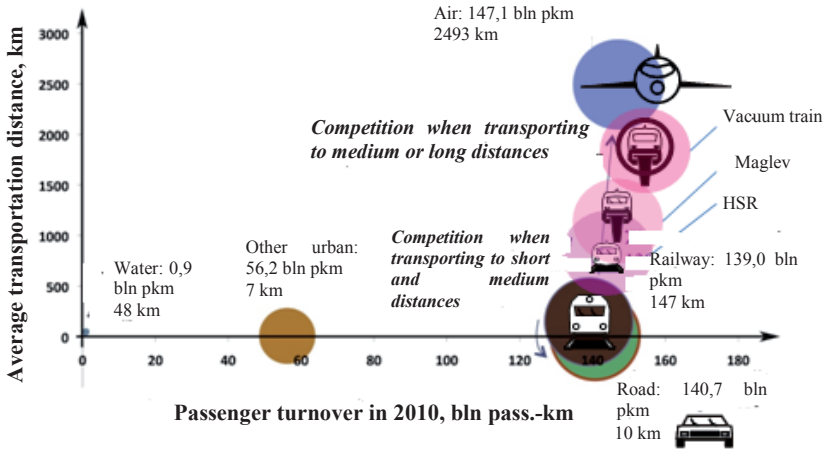
| | Vacuum train | Maglev | HSR |
|---|---|---|---|
| Total distance, km | 1000 | 1000 | 1000 |
| Distance between stops, km | 100 | 100 | 100 |
| Time rate of change, m/s$^2$ | 1 | 1 | 1 |
| Maximum speed, km/h | 1000 | 603 | 350 |
| Travel time between stops, min | 10,6 | 15,5 | 18,7 |
| Total travel time, including time for embarkation-disembarkation, min/h | 161/2,6 | 210/3,5 | 242/4 |
| Embarkation-disembarkation time, min | 5 | 5 | 5 |
| Distance of speeding-up, braking (assumed to be equal), km | 38,6 | 7,8 | 4,7 |
| Time of speeding-up, braking (assumed to be equal), min | 4,6 | 2,1 | 1,6 |

**Table 3**

**Long-distance trainsя(1000 km)**

| | Vacuum train | Maglev | HSR |
|---|---|---|---|
| Total distance, km | 1000 | 1000 | 1000 |
| Distance between stops, km | 1000 | 1000 | 1000 |
| Time rate of change, m/s$^2$ | 1 | 1 | 1 |
| Maximum speed, km/h | 1000 | 603 | 350 |
| Travel time between stops, min | 55,4/0,92 | 135,4/2,3 | 173/2,9 |
| Total travel time, including time for embarkation-disembarkation, min/h | 85,4/1,4 | 165,4/2,6 | 203/3,4 |
| Embarkation-disembarkation time, min | 30 | 30 | 30 |
| Distance of speeding-up, braking (assumed to be equal), km | 38,6 | 7,8 | 4,7 |
| Time of speeding-up, braking (assumed to be equal), min | 4,6 | 2,1 | 1,6 |

***Pic. 3. Interspecific competition in passenger transport. The data source is Rosstat [1].***




*between large cities with large population, for example, Moscow–Saint Petersburg, Moscow–Kazan, etc. This will create a new generation transport infrastructure that will closely connect megacities and regions of the Russian Federation.*

**As a result, the considered transport system taking into account the specificity of speeding-up can occupy the niches of:**

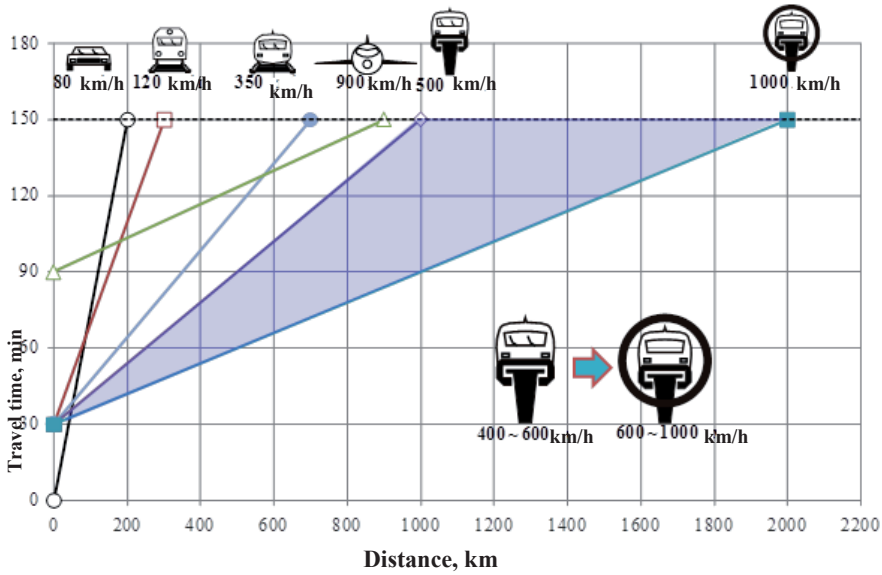
*1. Inexpensive high-speed transportation with a large passenger flow for medium distances (100–1000 km). At the same time, competition will be with both air and suburban high-speed transport (Pic. 3, 4).*

*2. High-speed transportation for long distances (from 1000 km/h). At the same time, competition will be with air transport (Pic. 3, 4).*

*It should be noted that it is possible to use one track for all transportation. The difference is only in the traffic schedule and equipment of cars.*

*Despite the obvious prospects for the use of a vacuum train, in some niches of the transport infrastructure, in Russia, unlike the US, the project is perceived very skeptically, partly due to the lack of detailed technical and economic analysis of the new system and the associated risks. These issues are only just beginning to be worked out [7, 8].*

**Conclusions.** *Our preliminary analysis shows that when creating a transport system with a length of 1000 km, about 90 % of all costs will go specifically to the design and laying of a vacuum pipeline. Therefore, without the introduction of new, really*




***Pic. 4. Rational areas for the use of passenger transport on the basis of magnetic levitation in rare medium. From left to right in accordance with pictograms on top of the picture: 1 – personal car; 2 – speed rail ground transport; 3 – high-speed rail transport; 4 – aviation; 5 – maglev; 6 – vacuum train.***

*high-tech solutions in this area, based, in particular, on reducing the weight of the pipeline, while maintaining the simplicity of construction, strength characteristics and tightness, this project will not go beyond the test track.*

*In this regard, further cooperation is needed between competent enterprises in the field of magnetic levitation, aerospace, railway transport, as well as specialists in vacuum and cryogenic engineering, aerodynamics with the aim of confirming or refuting the feasibility of the tasks set in the design and direct creation of a vacuum-levitation transport system, evaluation of its feasibility today and in the near future, as well as for the purpose of developing the idea itself and supplementing it with new technical solutions taking into account the technological progress.*

## REFERENCES


1. Evaluation of large infrastructure projects. Tasks and solutions [*Ocenka krupnyh infrastrukturnyh proektov. Zadachi i reshenija*]. *rzd.ru: website – Russian Railways, 2013*. [Electronic resource]: http://rzd.ru/dbmm/download?vp=1&load=y&col_id=121&id=71716. Last accessed 11.10.2016.

2. RFPI and Russian Railways discuss pilot projects on the use of Hyperloop technology [*RFPI i RZhD obsuzhdajut pilotnye proekty po primeneniju tehnologii Hyperloop*]. *RIA Novosti*, 2016. [Electronic resource]: http://ria.ru/economy/20160622/1449639464.html. Last accessed 11.10.2016.

3. In Russia works on analogues of the vacuum train Hyperloop are in progress [*V Rossii rabotajut nad analogami vakuumnogo poezda Hyperloop*]. *RIA Novosti*, 2016. [Electronic resource]: http://ria.ru/economy/20160520/1436931658.html. Last accessed 11.10.2016.

4. Perelman, Ya. I. Entertaining physics [*Zanimatel'naja fizika*]. [Electronic resource]: http://www.eduspb.com/public/books/nauch_pop_uch/perelman_fizika1.pdf. Last accessed 11.10.2016.

5. Gavrilov, Ya. I., Mnatsakanov, V. A. Metro cars with pulse converters [*Vagony metropolitena s impul'snymi preobrazovateljami*]. Moscow, Transport publ., 1986, 230 p.

6. Hyperloop in Moscow can go to airports and to New Moscow [*Hyperloop v Moskve mogut pustit' v ajeroporty i v Novuju Moskvu*]. *RIA Novosti*, 2016. [Electronic resource]: http://ria.ru/moscow/20160617/1449031333.html. Last accessed 11.10.2016.

7. In Russia it is planned to create the concept of a system of «flying» trains [*V Rossii planirujut sozdat' koncepciju sistemy «letajushhih» poezdov*]. *RIA Novosti*, 2016. [Electronic resource]: http://ria.ru/science/20160318/1392431702.html. Last accessed 11.10.2016.

8. Moscow authorities instructed to study the possibility of using Hyperloop in the capital city [*Vlasti Moskvy poruchili izuchit' vozmozhnost' primenenija Hyperloop v stolice*]. *RIA Novosti*, 2016. [Electronic resource]: http://ria.ru/economy/20160617/1449031025.html. Last accessed 11.10.2016.



Information about the authors:
**Nesterov, Sergey B.** – D.Sc. (Eng), Deputy General Director for Research at JSC Scientific Research Institute of Vacuum Technology n.a. S. A. Vekshinsky, Moscow, Russia, sbnesterov@niivt.ru.
**Vorobiev, Ivan A.** – Ph.D. (Econ), General Director of Scientific Research Institute of Vacuum Technology n.a. S. A. Vekshinsky, Moscow, Russia, Vorobiev@niivt.ru.
**Kondratenko, Rim O.** – Ph.D. (Eng), head of the department of Scientific Research Institute of Vacuum Technology n.a. S. A. Vekshinsky, Moscow, Russia, r.kondratenko@niivt.ru.



Article received 11.10.2016, accepted 22.12.2016.

УДК 336.71

# Финансирование компаний синдицированными кредитами

Алексей ТАРАСОВ

Aleksey A. TARASOV

***Тарасов Алексей Аркадьевич*** *– кандидат экономических наук, ведущий программы Executive MBA, кафедра «Количественные методы в менеджменте» Института бизнеса и делового администрирования Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Москва, Россия.*

**Financing of Companies with Syndicated Loans**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 128)*

***В статье анализируются особенности синдицированных кредитов для транспортных компаний. Рассматриваются цели, на которые заёмщики из транспортной отрасли привлекают средства, и требования к предоставлению финансовых и информационных материалов в рамках сделки. Представлены ключевые этапы процесса привлечения синдицированного кредита и функции основных его участников, при этом критерием успешности выступает соответствие полученных результатов целям операции и установленным срокам.***

*Ключевые слова: экономика, финансирование транспортных компаний, синдицированное кредитование, долговой рынок, корпоративные финансы, условия сделки, финансовый менеджмент.*

Для заёмщиков из транспортной отрасли рынок синдицированного кредитования является важным источником привлечения денежных средств. Синдицированный кредит привлекается с долгового рынка путем синдикации среди широкой базы инвесторов [1]. Коммуникация и платежи между кредиторами и заёмщиком осуществляются через агента по кредиту (что упрощает административную и операционную нагрузку на вовлеченные стороны).

В рамках синдицированного кредита банки-партнёры заёмщика предоставляют существенный объём средств, превышающий возможности двустороннего банковского кредита, на различные цели (включая инвестиции и сделки по слияниям и поглощениям).

## 1. ЦЕЛИ И ИСТОЧНИКИ

Компании транспортной отрасли привлекают финансирование для различных целей. Основные из них:

• Бридж-финансирование (краткосрочное). Проводится, если компании нужно срочно привлечь существенный объём средств перед привлечением син-

дицированного кредита или размещением на рынках капитала выпуска облигаций или акций, а также для расчётов по сделкам при слиянии и поглощении.

• Общекорпоративные цели (среднесрочное). Указываются, когда привлеченные средства корпорация будет использовать на пополнение оборотного капитала и создание запаса ликвидности.

• Рефинансирование текущей задолженности (средне- и долгосрочное). Целью являются: (1) увеличение среднего срока кредитного портфеля; (2) привлечение кредитов по более выгодным ставкам; (3) диверсификация источников финансирования привлечением средств от инвесторов, не являющихся текущими кредиторами.

• Финансирование сделок по слияниям и поглощениям (долгосрочное). Такого рода сделки могут включать приобретения российских и международных корпораций, являющихся конкурентами (в целях горизонтальной интеграции, роста доли рынка) или участниками одной транспортной цепочки (для предложения услуг по мультимодальным перевозкам).

• Финансирование инвестиционной программы (долгосрочное). Включает капитальные затраты, модернизацию подвижного состава, приобретение новых транспортных активов, инвестиции в технологии.

• Проектное финансирование (долгосрочное). Специальный вид для развития бизнеса, когда средства предоставляются для реализации отдельного проекта, а не напрямую компании [2].

Структура капитала корпорации служит инструментом создания акционерной стоимости путем реализации инвестиционных проектов и оптимизации затрат на обслуживание привлеченных средств (weighted-average cost of capital, WACC). Доступ к финансированию является несомненным конкурентным преимуществом.

К инструментам корпоративного финансирования прежде всего относятся: (1) кредиты (банковские, синдицированные, проектное финансирование) [3]; (2) облигации (рублевые, еврооблигации) [4]; акции (размещенные как на российских, так и международных биржах) [5]. При этом менеджменту важно понимать, какие именно финансовые инструменты оптимально использовать с точки зрения: (1) текущего этапа развития (является ли компания частной или публичной, объём выручки и т.д.); (2) целей финансирования (реализация инвестиционных проектов, сделки по слияниям и поглощениям); (3) доступных источников финансирования (средства акционеров, локальных или международных инвесторов).

## 2. ОСОБЕННОСТИ СИНДИЦИРОВАННЫХ КРЕДИТОВ

Основные структурные элементы синдицированных кредитов для транспортных компаний:

1. Объём кредита: менее 500 млн руб.; от 500 млн до 1 млрд руб.; более 1 млрд руб.

2. Валюта кредита: рубли, долл. США, евро (возможно структурирование сделки, состоящей из нескольких траншей, например – в рублях и в иностранной валюте).

3. Срок кредита: краткосрочный (до 1 года), среднесрочный (от 3 до 5 лет), долгосрочный (более 7 лет).

4. График погашения кредита: структура амортизации (ежеквартальные или ежемесячные выплаты процентов и основной суммы кредита), длительность льготного периода, условия досрочного погашения (как по решению заёмщика, так и по требованию кредиторов).

5. Процентная ставка: фиксированная или плавающая (привязанная к соответствующей базовой ставке для валюты кредита и срока процентного периода, например: трёхмесячный Мосприйм плюс кредитная маржа).

6. Структура обеспечения: поручительства или гарантии холдинговой компании заёмщика и/или дочерних предприятий, залог активов (подвижного состава, судов), уступка прав требования по контрактам.

7. Финансовые ковенанты: коэффициент отношения чистого долга к показателю EBITDA, коэффициент отношения показателя EBITDA к процентным выплатам.

Таблица 1

**Участники синдицированного кредита**

| Участник | Описание функций |
|---|---|
| Заёмщик | • Формулирует требования по структуре кредита (сумма, срок, график погашения и т.д.).<br>• Ведет предварительные переговоры с банками.<br>• Назначает банки на соответствующие роли в синдицированном кредите.<br>• Участвует в согласовании временного графика сделки.<br>• По согласованию с кредиторами назначает юридических консультантов сделки.<br>• Согласовывает и подписывает кредитную документацию. |
| «Первичные» кредиторы | • Формируют «старший» синдикат.<br>• Участвуют в структурировании сделки.<br>• Получают статус уполномоченных ведущих организаторов.<br>• Работают над кредитной документацией.<br>• Выдают кредит, перечисляя денежные средства заёмщику через агента по кредиту. |
| Координаторы | • Один или несколько банков, назначаемых заёмщиком из числа «первичных» кредиторов, управляют процессом реализации сделки. |
| Букраннеры | • Один или несколько банков, назначаемых заёмщиком из числа «первичных» кредиторов, управляют процессом синдикации кредита на рынке банковского кредитного капитала, взаимодействуют с кредиторами на стадии «общей» синдикации. |
| Кредиторы, присоединяющиеся к сделке на стадии «общей» синдикации | • Формируют «общий» синдикат.<br>• Имеют статус уполномоченных ведущих организаторов.<br>• Подписывают кредитную документацию.<br>• Выдают кредит, перечисляя денежные средства заёмщику через агента по кредиту. |
| Агент по документации | • Назначается заёмщиком из числа «первичных» кредиторов.<br>• Вместе с юридическими консультантами и координаторами сделки, учитывая мнения «первичных» кредиторов и заёмщика, работает над кредитной документацией. |
| Агент по кредиту | • Назначается заёмщиком из числа «первичных» кредиторов.<br>• Через агента по кредиту проходят все расчёты между заёмщиком и кредиторами, а также коммуникация и обмен информацией. |
| Юридический консультант кредиторов | • Назначается заёмщиком по согласованию с агентом по документации и другими кредиторами.<br>• Работает над подготовкой кредитной документации вместе с агентом по документации. |
| Юридический консультант заёмщика | • Назначается заёмщиком.<br>• Работает вместе с заёмщиком над анализом подготовленной кредитной документации. |
| Независимые консультанты | • Готовят аналитический обзор рынков, на которых осуществляет свою деятельность корпорация.<br>• В некоторых случаях (например, при дебютных сделках) предоставляют отчёты по операционной и финансовой деятельности. |
| Оценщики | • Если в структуре сделки присутствует залог (активов, акций и т.д.), тогда корпорация должна предоставить инвесторам отчёт с оценкой закладываемых активов, который делается независимыми оценщиками. |

8. Общие ковенанты: ограничения на выплату дивидендов, продажу активов, сделки по слияниям и поглощениям и т.д.

9. Прочие условия: предварительные на выдачу кредита, заверения и гарантии, равнозначность и идентичность обязательств заёмщика перед кредиторами, случаи дефолта.

10. Применимое законодательство: российское, английское или иное право. При использовании английского права [6] документация соответствует принятым на рынке стандартам Ассоциации кредитного рынка (Loan Market Association, или LMA).

Для привлечения синдицированного кредита одним из определяющих факторов успешной сделки является подготовка необходимых финансовых и информационных материалов [7]. Примерное

Таблица 2

**Структура информационного меморандума**

| Раздел | Количество страниц | Краткое описание |
|---|---|---|
| Введение | 5 | Ключевая информация касательно бизнеса компании, финансовых результатах, рынках и стратегии. SWOT-анализ. |
| Обзор кредита | 10 | Основные параметры кредита, вовлеченные в сделку стороны. |
| Описание компании | 25 | История развития компании, акционеров, рынков, бизнес-процессов, активов, дочерних компаний, поставщиков и клиентов. |
| Анализ финансовых результатов | 10 | Финансовые показатели компании, историческая динамика, ключевые коэффициенты. Данные о кредитном портфеле, кредиторах и структуре долга. |
| Финансовая модель | 10 | Анализируются предположения и структура модели, приводятся ключевые результаты. |
| Обзор рынка | 10 | Рассматриваются основные характеристики рынка (или рынков), где действует заёмщик, описываются конкурентные преимущества и перспективы. |
| График реализации сделки | 1–2 | Указываются даты процесса синдикации, подписания сделки, выборки денежных средств. |

содержание информационного пакета для транспортных компаний:

• Финансовая отчётность за три года заёмщика и поручителей по кредиту, подготовленная в соответствии с российскими стандартами бухгалтерского учёта, а также консолидированная отчётность группы компаний (или холдинговой компании), в которую входит заёмщик, согласно международным стандартам финансовой отчётности.

• Кредитный портфель с данными о структуре долга заёмщика и распределении долговой нагрузки по поручителям (включая информацию по каждому из долговых инструментов: тип, объём, валюта, дата выдачи, дата погашения, процентная ставка, обеспечение, источник финансирования).

• Финансовая модель на срок кредита плюс 1–2 года. Она должна содержать основные блоки: предположения, отчёт о прибылях и убытках, баланс, отчёт о движении денежных средств.

• Отчёт о результатах операционной деятельности заёмщика, включая данные о транспортных средствах, географии бизнеса, динамике и структуре продаж, основных клиентах, поставщиках.

• Аналитический обзор рынков (динамика объёмов и цен, прогнозы, конкуренция), на которых работает заёмщик.

• Независимая оценку закладываемых активов.

Подготовленные заёмщиком условия кредита и информационный пакет направляются банкам, которые с помощью этих материалов получают одобрение кредитных комитетов на участие в сделке.

## 3. ПОДГОТОВКА КРЕДИТА И УЧАСТНИКИ СДЕЛКИ

Предварительная подготовка к сделке включает определение целей финансирования, структурирование условий и прохождение необходимых внутрикорпоративных процессов.

Внутрикорпоративные аспекты – это утверждение структуры и плана реализации сделки, список участников и их роли (банки, юристы, консультанты), анализ риск-менеджмента, бюджетирование (оставление графика движения денежных средств, планирование расходов по обслуживанию привлекаемого финансирования), получение юридических одобрений (включая согласие акционеров корпорации).

Получив от банков соответствующие заключения, заёмщик назначает один или несколько банков координаторами и букраннерами сделки, формирует «старший» синдикат из «первичных»

Таблица 3

**Процесс привлечения синдицированного кредита**

| Этап, кол-во недель | Участники | Действия |
|---|---|---|
| Подготовка к сделке, 4–5 | Заёмщик | • Принятие решения о привлечении синдицированного кредита.<br>• Предварительное структурирование сделки.<br>• Составление списка потенциальных участников сделки.<br>• Прохождение процесса риск-менеджмента.<br>• Составление графика движения привлеченных денежных средств. |
| Взаимодействие с банками, 3–4 | Заёмщик, «первичные» кредиторы | • Заёмщик направляет банкам информационный пакет и предварительные условия сделки для выявления интереса к кредиту.<br>• Банки направляют заёмщику письма, содержащие решения банков об участии в сделке.<br>• Заёмщик назначает банки на соответствующие роли в сделке.<br>• Разработка и подписание мандатного письма.<br>• Назначение юридических консультантов. |
| Процесс синдикации, 4–5 | Букраннеры, кредиторы, присоединяющиеся к сделке на стадии «общей» синдикации | • Составление «длинного» списка банков.<br>• Букраннеры направляют банкам из «длинного» списка письмо с приглашением принять участие в сделке, а также информационный меморандум.<br>• Банки принимают решение об участие в сделке и запускают процесс получения кредитного одобрения.<br>• Формируется «короткий» список банков.<br>• Получившие кредитное одобрение банки присоединяются к сделке. |
| Подготовка кредитной документации, 4–5 | Юридические консультанты, агент по документации, кредиторы, заёмщик | • Подготовка кредитной документации осуществляется параллельно процессу синдикации. |
| Подписание сделки и выдача кредита, 1–2 | Юридические консультанты, агент по документации, агент по кредиту, кредиторы, заёмщик | • Подписание кредитной документации.<br>• Выполнение заёмщиком предварительных условий выдачи кредита.<br>• Выдача кредита.<br>• Публикация пресс-релиза. |

кредиторов, которые получают статус уполномоченных ведущих организаторов. Из этого пула банков делегируются агент по документации, агент по обеспечению и агент по кредиту. Далее агент по документации готовит мандатное письмо, в котором юридически оформляется назначение банков на отведенные им роли и регулируются условия и процесс работы над сделкой. Приложением к мандатному письму идут основные условия сделки. Письмо подписывают «первичные» кредиторы и заёмщик. По согласованию с банками заёмщик выделяет своего юридического консультанта и юридического консультанта кредиторов.

## 4. СИНДИКАЦИЯ И КРЕДИТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

На рынке кредитного капитала синдикация проводится букраннерами сделки. Букраннеры совместно с заёмщиком составляют «длинный» список банков, которые не вошли в сделку на стадии «старшего» синдиката, но тем не менее могут стать участниками кредита на стадии «общей» синдикации. Как правило, такие банки являются европейскими или азиатскими универсальными, или коммерческими, выборочно участвующими в сделках для российских заёмщиков.

Рассмотрим основные этапы процесса синдикации (таблица 3). На первом этапе букраннеры направляют банкам из «длинного» списка письмо с приглашением принять участие в сделке, а также информационный меморандум.

Меморандум содержит описание бизнеса и финансов заёмщика, полную информацию касательно основных условий кредита и реализации сделки. Объём его составляет 75–100 страниц.

Примерная структура информационного меморандума приведена в таблице 2.

На втором этапе синдикации из банков, принявших решение стать кредиторами, формируется «короткий» список. Букраннеры активно взаимодействуют с этими банками, предоставляя требуемую информацию и согласовывая условия их участия в сделке на основании кредитной документации.

На третьем этапе получившие кредитное одобрение банки присоединяются к сделке в качестве кредиторов и получают статус организаторов кредита.

Ключевым аспектом реализации сделки является работа над кредитной документацией. В пакет документации синдицированного кредита входят:

• Кредитный договор: основной юридический документ, содержащий все детали сделки и условия кредита.

• Договоры поручительств или гарантии: если в сделке присутствуют поручители или выдаются гарантии, тогда такие документы разрабатываются параллельно кредитному договору.

• Обеспечительная документация: в зависимости от структуры сделки обеспечение может включать договоры залога активов, контрактов, банковских счётов.

• Дополнительная документация: включает юридические заключения касательно правомочности сделки от независимых юридических консультантов.

Над подготовкой кредитной документации работает юридический консультант кредиторов совместно с агентом по документации. Каждая из версий документов направляется кредиторам, которые предоставляют свои комментарии агенту по документации. Заёмщик также занимается документами со своим юридическим консультантом. Срок подготовки бумаг зависит от сложности сделки и количества итераций документации, во время которых собираются комментарии участников процесса. В среднем это занимает 4–5 недель, причем дебютные сделки, как правило, требуют больше времени. Заметим, что подготовка кредитной документации идет параллельно синдикации.

## 5. ЗАКРЫТИЕ СДЕЛКИ

Финальный этап сделки начинается с подписания кредитной документации. Подписание контролируется юридическим консультантом кредиторов и считается ключевой юридической процедурой, в которой принимают участие все вовлеченные в сделку стороны.

После подписания кредитной документации и выполнения заёмщиком предварительных условий выдачи кредита, указанных в договоре, кредиторами осуществляется выдача кредита. Все расчёты, а также коммуникация между заёмщиком и кредиторами, проходят через агента по кредиту.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были рассмотрены особенности синдицированных кредитов, основные этапы процедур по привлечению заёмщиком транспортной отрасли кредитных средств с участием банковских структур. Заметим, что главным критерием успешности сделки является достижение поставленных при планировании целей привлечения кредита и соответствие установленным временным рамкам.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Taylor A., Sansone A. The Handbook of Loan Syndications and Trading. McGraw-Hill, 2006, 982 p.
2. Weber B., Alfen H. W. Infrastructure as an Asset Class: Investment Strategy, Project Finance and PPP. Wiley, 2010, 294 p.
3. Fight A. Syndicated Lending. Butterworth-Heinemann, 2004, 208 p.
4. Maxwell W., Shenkman M. Leveraged Financial Markets: A Comprehensive Guide to Loans, Bonds, and Other High-Yield Instruments. McGraw-Hill Education, 2010, 416 p.
5. Espinasse, Ph. IPO Banks: Pitch, Selection and Mandate. Palgrave Macmillan, 2014, 216 p.
6. Campbell M., Weaver, Ch. Syndicated Lending: Practice and Documentation. Euromoney Institutional Investor, 2013, 570 p.
7. Тарасов А. А. Финансовые и информационные материалы на рынке синдицированного кредитования // Банковское дело. – 2016. – № 10. – С. 84–88.




Координаты автора: **Тарасов А. А.** – alexey.tarasov@outlook.com.

Статья поступила в редакцию 18.01.2017, принята к публикации 27.02.2017.

# FINANCING OF COMPANIES WITH SYNDICATED LOANS

***Tarasov, Aleksey A.,*** *Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article analyzes the features of syndicated loans for transport companies. The purposes for which borrowers from the transport sector raise funds, and the requirements for provision of financial and information materials within the transaction are considered. The key stages of the process of attracting a syndicated loan and functions of its main participants are presented, while the success of the project is determined as the consistency of the results with the objectives of the operation and the set deadlines.

*Keywords:* *economy, financing of transport companies, syndicated lending, debt market, corporate finance, transaction conditions, financial management.*

**Background.** *For borrowers from the transport industry, the syndicated loan market is an important source of fund raising. Syndicated loan is attracted from the debt market through syndication among a broad investors' base [1]. Communication and payments between creditors and the borrower are carried out through a loan agent (which simplifies the administrative and operational burden on the parties involved).*

*In the framework of a syndicated loan, the borrower's partner banks provide substantial amounts of funds that exceed the possibilities of a bilateral bank loan for various purposes (including investments and mergers and acquisitions).*

**Objective.** *The objective of the author is to consider financing of transport companies with the help of syndicated loans.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, economic assessment methods, comparative analysis.*

**Results.**

*1. Goals and sources*

*Transport companies attract financing for various purposes. The main ones are:*

*• Bridge financing (short term). It is carried out if the company urgently needs to raise a significant amount of funds before attracting a syndicated loan or placing bonds or shares on the capital markets, as well as for settlements in mergers and acquisitions.*

*• General corporate goals (medium-term). They are indicated when the corporation will use the borrowed funds to replenish working capital and create a stock of liquidity.*

*• Refinancing of current debt (medium-term). The goal is: (1) an increase in the average term of the loan portfolio; (2) attracting loans at more favorable rates; (3) diversification of funding sources by raising funds from investors that are not current lenders.*

*• Financing of mergers and acquisitions (long-term). Such transactions may include acquisitions of Russian and international corporations that are competitors (for horizontal integration, market share growth) or participants in the same transport chain (for offering multimodal transportation services).*

*• Financing of the investment program (long-term). Includes capital costs, modernization of rolling stock, acquisition of new transport assets, investments in technologies.*

*• Project financing (long-term). A special kind for business development, when funds are provided for implementation of a separate project, and not directly to the company [2].*

*The corporation's capital structure serves as a tool for creating shareholder value by implementing investment projects and optimizing the costs of servicing the borrowed funds (weighted-average cost of capital, WACC). Access to financing is an undeniable competitive advantage.*

*The instruments of corporate financing primarily include: (1) loans (bank, syndicated, project financing) [3]; (2) bonds (ruble, eurobonds) [4]; shares (floated on both Russian and international exchanges) [5]. At the same time, it is important for management to understand which financial instruments are best used in terms of: (1) the current stage of development (whether the company is private or public, total revenue, etc.); (2) financing objectives (implementation of investment projects, mergers and acquisitions transactions); (3) available sources of financing (funds of shareholders, of local or international investors).*

***2. Features of syndicated loans***

*The basic structural elements of syndicated loans for transport companies:*

*1. The volume of the loan: less than 500 million rubles; from 500 million to 1 billion rubles; more than 1 billion rubles.*

*2. Currency of the loan: rubles, US dollars, euro (it is possible to structure a transaction consisting of several tranches, for example –in rubles and in foreign currency).*

*3. Term of the loan: short-term (up to 1 year), medium-term (from 3 to 5 years), long-term (more than 7 years).*

*4. Repayment schedule of the loan: depreciation structure (quarterly or monthly payments of interest and principal amount of the loan), duration of the grace period, terms of early repayment (both at the borrower's decision and at the request of creditors).*

*5. Interest rate: fixed or floating (tied to the corresponding base rate for the loan currency and the term of the interest period, for example: 3-month Mosprime plus credit margin).*

*6. Collateral structure: suretyship or guarantees of the borrower's holding company and / or subsidiaries, pledge of assets (rolling stock, vessels), assignment of contractual rights.*

*7. Financial covenants: ratio of net debt to EBITDA, ratio of EBITDA to interest payments.*

*8. General covenants: restrictions on payment of dividends, asset sales, mergers and acquisitions, etc.*

*9. Other conditions: preliminary for crediting, representations and warranties, equivalence and identity of the borrower's obligations to creditors, cases of default.*

*10. Applicable law: Russian, English or other law. Using English law [6], the documentation corresponds to the market standards of the Loan Market Association (LMA).*

*To attract a syndicated loan, one of the determining factors for a successful transaction is the preparation of necessary financial and information materials [7].*

**Table 1**

**Participants in a syndicated loan**

| Participant | Description of functions |
|---|---|
| Borrower | • Formulates requirements for the structure of the loan (amount, term, repayment schedule, etc.).<br>• Conducts preliminary negotiations with banks.<br>• Assigns banks to the appropriate roles in the syndicated loan.<br>• Participates in the coordination of the time schedule of the transaction<br>• In consultation with creditors, appoints legal advisors for the transaction.<br>• Coordinates and signs credit documentation. |
| «Primary» creditors | • Form a «senior» syndicate.<br>• Participate in structuring the transaction.<br>• Get the status of authorized leading organizers.<br>• Work on credit documentation.<br>• Issue a loan by transferring funds to the borrower through a loan agent. |
| Coordinators | • One or more banks appointed by the borrower from among the «primary» creditors, manage the transaction process. |
| Bookrunners | One or more banks appointed by the borrower from among the «primary» creditors, manage the process of loan syndication in the market of bank credit capital, interact with creditors at the stage of «general» syndication. |
| Creditors joining the transaction at the stage of «general» syndication | • Form a «general» syndicate.<br>• Have a status of authorized leading organizers.<br>• Sign credit documentation.<br>• Issue a loan by transferring funds to the borrower through a loan agent. |
| Documentation agent | • Appointed by the borrower from among the «primary» creditors.<br>• Together with legal advisors and coordinators of the transaction, taking into account the views of the «primary» creditors and the borrower, works on credit documentation. |
| Credit agent | • Appointed by the borrower from among the «primary» creditors.<br>• All payments between the borrower and creditors pass through the loan agent, as well as communication and information exchange. |
| Legal advisor to creditors | • Appointed by the borrower in consultation with the documentation agent and other creditors.<br>• Works on preparation of credit documentation together with the documentation agent. |
| Legal advisor to the borrower | • Appointed by the borrower.<br>• Works with the borrower on the analysis of the prepared loan documentation. |
| Independent consultants | • Prepare an analytical review of the markets in which the corporation operates.<br>• In some cases (for example, with debut transactions), reports on operating and financial activities are provided. |
| Appraisers | • If there is a pledge (assets, shares, etc.) in the transaction structure, then the corporation must provide investors with a report on the valuation of the pledged assets, which is done by independent appraisers. |

*Approximate content of the information package for transport companies:*

*• Financial statements for three years of the borrower and guarantors for the loan, prepared in accordance with Russian accounting standards, as well as consolidated statements of the group of companies (or the holding company), which includes the borrower, in accordance with international financial reporting standards.*

*• A loan portfolio with data on the borrower's debt structure and distribution of debt burden on guarantors (including information on each of the debt instruments: type, volume, currency, issuance date, maturity date, interest rate, collateral, source of financing).*

*• Financial model for the loan period plus 1–2 years. It should contain the main blocks: assumptions, profit and loss account, balance sheet, cash flow statement.*

*• Report on the results of the borrower's operations, including data on vehicles, geography of the business, the dynamics and structure of sales, key customers, suppliers.*

*• Analytical review of markets (dynamics of volumes and prices, forecasts, competition), on which the borrower works.*

*• Independent valuation of pledged assets.*

*The terms of the loan prepared by the borrower and the information package are sent to banks, which, through these materials, receive approval from credit committees to participate in the transaction.*

***3. Preparation for the loan and participants in the transaction***

*Preliminary preparation for the transaction includes the definition of the purposes of financing, structuring of conditions and performance of necessary intracorporate processes.*

*Internal corporate aspects are the approval of the transaction structure and plan, the list of participants and their roles (banks, lawyers,*

Table 2

**Structure of the Information Memorandum**

| Section | Number of pages | Brief description |
|---|---|---|
| Introduction | 5 | Key information on the company's business, financial results, markets and strategies. SWOT-analysis. |
| Credit overview | 10 | The main loan parameters, parties involved in a transaction. |
| Company description | 25 | History of the company's development, shareholders, markets, business processes, assets, subsidiaries, suppliers and customers. |
| Analysis of financial results | 10 | Financial performance of the company, historical dynamics, key coefficients. Data on the loan portfolio, creditors and the structure of debt. |
| Financial model | 10 | The assumptions and structure of the model are analyzed, the key results are given. |
| Market overview | 10 | The main characteristics of the market (or markets) on which the borrower operates are described, competitive advantages and prospects are described. |
| Transaction schedule | 1–2 | The dates of the syndication process, the signing of the transaction, the selection of funds are specified. |

Table 3

**The process of attracting a syndicated loan**

| Stage, number of weeks | Participants | Actions |
|---|---|---|
| Preparation for the transaction, 4–5 | Borrower | • Making a decision on attracting a syndicated loan.<br>• Preliminary structuring of the transaction.<br>• Drawing up a list of potential transaction participants.<br>• Passage of the risk management process.<br>• Drawing up the schedule of the movement of the attracted funds. |
| Interaction with banks, 3–4 | Borrower, «primary» creditors | • The borrower sends to banks an information package and preliminary conditions for the transaction to identify interest in the loan.<br>• Banks send letters to the borrower containing bank decisions to participate in the transaction.<br>• The borrower assigns banks to the relevant roles in the transaction.<br>• Development and signing of a mandate letter.<br>• Appointment of legal advisers. |
| Syndication process, 4–5 | Bookrunners, creditors joining the transaction at the stage of «general» syndication | • Drawing up a «long» list of banks.<br>• Bookrunners send letters to the banks from the «long» list with an invitation to participate in the transaction, as well as an information memorandum.<br>• Banks decide to participate in the transaction and start the process of obtaining credit approval.<br>• A «short» list of banks is being formed.<br>• The banks that have received credit approval join the transaction. |
| Preparation of credit documentation, 4–5 | Legal advisers, documentation agent, creditors, borrower | • Preparation of credit documentation is carried out in parallel to the syndication process. |
| Signing a transaction and issuing a loan, 1–2 | Legal advisers, documentation agent, loan agent, creditors, borrower | • Signing of credit documentation..<br>• The borrower fulfills the preliminary conditions for the loan.<br>• Issuance of a loan.<br>• Publication of a press release. |

*consultants), risk management analysis, budgeting (drafting the cash flow schedule, planning the costs of servicing the attracted financing), obtaining legal approvals (including consent of shareholders of the corporation).*

*Having received the relevant conclusions from the banks, the borrower appoints one or several banks as coordinators and bookrunners of the transaction, forms the «senior» syndicate from the «primary» creditors that receive the status of authorized leading organizers. From this pool of banks, the documentation agent, the security agent and the loan agent are delegated. Further, the documentation agent prepares a mandate letter, which legally formalizes the appointment of banks to the roles assigned to them and regulates the conditions and the process of work on the transaction. The main terms of the transaction are attached to the mandate letter. The letter is signed by the «primary» creditors and the borrower. In coordination with banks, the borrower allocates his legal adviser and legal adviser of the creditors.*

***4. Syndication and credit documentation***

*In the loan capital market, syndication is conducted by the bookrunners of the transaction. Bookrunners together with the borrower make up a «long» list of banks that did not enter the transaction at the stage of the «senior» syndicate, but nevertheless can become participants in the loan at the stage of «general» syndication. As a rule, such banks are European or Asian universal, or commercial, selectively involved in transactions for Russian borrowers.*

*Let's consider the main stages of the syndication process. At the first stage, the bookrunners send a letter to the banks from the «long» list with an invitation to participate in the transaction, as well as an information memorandum.*

*The Memorandum contains a description of the borrower's business and finances, complete information on the main terms of the loan and the implementation of the transaction. Its volume is 75–100 pages. An approximate structure of the information memorandum is given in Table 2.*

*At the second stage of the syndication, a «short» list is formed from banks that have decided to become creditors. Bookrunners actively interact with these banks, providing the required information and agreeing on the terms of their participation in the transaction on the basis of credit documentation.*

*At the third stage, banks that have received credit approval join the transaction as creditors and receive the status of loan organizers.*

*The key aspect of the transaction is the work on credit documentation. The syndicated loan documentation package includes:*

*• Loan agreement: the main legal document containing all the details of the transaction and the terms of the loan.*

*• Surety contracts or guarantees: if guarantors are present in the transaction or guarantees are issued, then such documents are developed in parallel with the loan agreement.*

*• Security documentation: Depending on the structure of the transaction, collateral may include collateral agreements for assets, contracts, bank accounts.*

*• Additional documentation: includes legal opinions regarding the eligibility of the transaction from independent legal advisers.*

*The legal consultant of creditors works together with the documentation agent to prepare the credit documentation. Each version of the documents is sent to the creditors, who provide their comments to the documentation agent. The borrower also deals with documents with his legal adviser. The term for preparation of papers depends on the complexity of the transaction and the number of iterations of the documentation, during which the comments of the participants in the process are collected. On average, this takes 4–5 weeks, and the debut transactions, as a rule, require more time. Note that the preparation of credit documentation does in parallel with syndication.*

***5. Transaction's closing***

*The final stage of the transaction begins with the signing of credit documentation. The signing is controlled by a legal adviser to creditors and is considered a key legal procedure in which all parties involved in the transaction participate.*

*After the loan documentation is signed and the borrower fulfills the preliminary conditions for issuing the loan specified in the agreement, the creditors issue a loan. All settlements, as well as communication between the borrower and creditors, pass through the loan agent.*

**Conclusion.** *The article examined the features of syndicated loans, the main stages of procedures for attracting borrowed funds for the borrower from the transport industry with the participation of banking structures. It should be noted that the main criterion for the success of the transaction is the achievement of the goals of attracting loans set in the planning and compliance with the established timeframe.*

**REFERENCES**


1. Taylor, A., Sansone, A. The Handbook of Loan Syndications and Trading. McGraw-Hill, 2006, 982 p.
2. Weber, B., Alfen, H. W. Infrastructure as an Asset Class: Investment Strategy, Project Finance and PPP. Wiley, 2010, 294 p.
3. Fight, A. Syndicated Lending. Butterworth-Heinemann, 2004, 208 p.
4. Maxwell, W., Shenkman, M. Leveraged Financial Markets: A Comprehensive Guide to Loans, Bonds, and Other High-Yield Instruments. McGraw-Hill Education, 2010, 416 p.
5. Espinasse, Ph. IPO Banks: Pitch, Selection and Mandate. Palgrave Macmillan, 2014, 216 p.
6. Campbell, M., Weaver, Ch. Syndicated Lending: Practice and Documentation. Euromoney Institutional Investor, 2013, 570 p.
7. Tarasov, A. A. Financial and informational materials on the syndicated loan market [*Finansovye I informacionnye materialy na rynke sindicirovannogo kreditovaniya*]. Bankovskoe delo, 2016, Iss. 10, pp. 84–88.



Information about the author:
**Tarasov, Aleksey A.** – Ph.D. (Economics), leader of the program Executive MBA, department of Quantitative Methods in Management of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia, alexey.tarasov@outlook.com.



Article received 18.01.2017, accepted 27.02.2017.

УДК 625.1

# Выгоды безбалластной конструкции пути для крупных транспортных объектов

Алексей РАЗУВАЕВ
Aleksey D. RAZUVAEV

Павел ЦЫПИН
Pavel E. TSYPIN

***Цыпин Павел Евгеньевич*** *– кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика строительного бизнеса и управление собственностью» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
***Разуваев Алексей Дмитриевич*** *– старший преподаватель МИИТ, Москва, Россия.*

**Advantages of Ballastless Track Design for Large Transport Objects**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 136)*

***В статье оценивается возможность использования безбалластной конструкции пути (БКП) при реализации крупных транспортных объектов в черте города. БКП является единственной альтернативой традиционному пути на балласте. Такой вариант обладает рядом преимуществ, но вместе с тем и определенными недостатками, сдерживающими сегодня его массовое применение. Основываясь на зарубежном опыте и сравнении двух конструкций (путь на балласте и БКП), с учётом расценок на ремонты и текущее содержание авторы предлагают свое понимание экономических аргументов и выгод, получаемых от эксплуатации безбалластного пути.***

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, верхнее строение пути, безбалластная конструкция, высокоскоростное движение, затраты, окупаемость, экономический эффект.*

Уже не одно десятилетие перед специалистами транспортного строительства встает вопрос о наиболее рациональной конструкции верхнего строения пути, которая бы отвечала всем необходимым условиям, а именно: постоянно растущим скоростям движения и нагрузке на ось. Ещё в начале XX века зарубежные и отечественные ученые пытались получить стабильную конструкцию пути, равно применимую как для промышленного, так и гражданского сообщения. Впервые путь со сплошным железобетонным основанием был предложен и осуществлен в различных вариантах в 1909 году нашим соотечественником, русским инженером Н. Е. Долговым. Основная идея – создание работоспособной конструкции без шпал и балласта. Уложенные в путь конструкции Долгова на Приднепровской железной дороге прослужили от 20 до 40 лет. В 1924 году японские национальные железные дороги начали сооружать путь с деревянными опорами-вкладышами, утопленными в монолитное железобетонное основание. В 1926–1929 годы железобетонные подрельсовые основания в виде блоков уложены на дороге Пер-Маркетт в США [1].

**Таблица 1**

**Сравнение конструкций пути**

| Свойство конструкции | Путь на балласте | Безбалластный путь |
|---|---|---|
| Низкие капитальные затраты на строительство | + | – |
| Низкие затраты на текущее содержание | – | + |
| Возможность регулировки геометрии рельсовой колеи | + | – |
| Восстановление пути после ЧС | + | – |
| Устойчивость бесстыкового пути | – | + |
| Малообслуживаемость | – | + |
| Гашение шума и вибрации | + | – |
| Удобство применения на искусственных сооружениях и в стесненных условиях (мосты, тоннели, эстакады) | – | + |

**Таблица 2**

**Сравнительный анализ основных параметров реализации проектов ВСМ в мире [2, с. 31]**

| Проект | Окончание стр-ва | Длина, км | Кол-во путей | Тип пути | Средняя скорость, км/ч |
|---|---|---|---|---|---|
| HS1 (Великобритания) | 2007 | 108 | 2 | Смешанный | 225–300 |
| HSL Zuid (Нидерланды) | 2009 | 125 | 2 | Безбалластный | 300 |
| LGV Est (Франция) | 2007 | 300 | 2 | Балластный | 320 |
| Кельн–Франкфурт (Германия) | 2004 | 177 | 2 | Безбалластный | 300 |
| Рим – Неаполь (Италия) | 2009 | 205 | 2 | Балластный | 300 |
| Мадрид–Барселона (Испания) | 2008 | 619 | 2 | Балластный | 300 |
| Кюсю–Синкансен (Япония) | 2004 | 127 | 2 | Безбалластный | 260 |
| Тайбэй–Гаосюнь (Тайвань) | 2007 | 344 | 2 | Безбалластный | 300 |
| Пекин–Шанхай (КНР) | 2011 | 1318 | 2 | 91 % – балластный; 9 % – безбалластный | 300 и 250 |
| Сеул–Тэгу (Юж. Корея) | 2007 | 330 | 2 | В основном безбалластный | 300 |

На сегодняшний день странами-передовиками в этой области являются Германия, Австрия и Япония. Существуют десятки вариантов безбалластных конструкций пути (БКП) и все они включены в серийное производство. В подавляющем большинстве своих исследований зарубежные специалисты не случайно опираются именно на сравнение двух конструкций пути (таблица 1).

При сравнении естественно заключить, что основным критерием в пользу выбора БКП становится стабильность геометрии пути и низкая стоимость текущего содержания, что как раз и является преимуществом перед конструкцией пути на балласте. Изрядное количество работ [5, 6] по данной теме позволяют сформулировать с экономической точки зрения некую общую концепцию относительно строительства и эксплуатации БКП: высокие первоначальные инвестиции на строительство окупаются благодаря снижению стоимости текущего содержания.

Рассмотрим зарубежный опыт по строительству новых железнодорожных линий, предназначенных для высокоскоростного пассажирского сообщения (таблица 2).

Отдельно стоит отметить две конструкции БКП, которые имеют наибольшее распространение по всему миру. В таблице 3 представлены конструкции B gl FFB и Rheda 2000, а также полигоны их укладки. Популярность данных видов объясняется тем, что они имеют довольной продолжительный опыт эксплуатации – в 1972 году на станции Реда в Германии была уложена первая подобная конструкция [3].

Таблица 3

**Полигон укладки БКП Bögl FFB и Rheda 2000**

| Вид БКП | Страна производитель | Наименование участка пути |
|---|---|---|
| B gl FFB | Германия | Германия. Карлсруэ–Базель, туннель Катценберг |
| | | Германия. Нюрнберг–Ингольштадт |
| | | Германия. Нюрнберг–Эбенсфельд–Эрфурт–Лейпциг/Галле |
| | | Китай. Пекин–Тяньцзинь |
| Rheda 2000 | Германия | Гемания. Майнц–Мангейм. Модернизация туннеля Альтер Майнцер |
| | | Индия. Удхампур–Сринагар–Барамулла |
| | | Китай. Опытный участок линии Суй-Ю: Суйнин–Чунцин |

Как следует из таблицы 2, на сегодняшний день безбалластный путь в основном распространен на востоке, в Китае и Японии, тогда как в Европе традиционный путь на балласте остается основной конструкцией верхнего строения пути. Это можно объяснить тем, что одна из рациональных сфер применения безбалластного пути – путь на эстакаде. Так, некоторые линии японских высокоскоростных железных магистралей практически в 90 % случаев проходят по эстакадам. Нередко путь на эстакаде обусловлен наличием сложного рельефа местности, но также он вполне актуален и при прохождении железнодорожной линии по местам с уже сложившейся социальной инфраструктурой [4].

Можно сказать, что безбалластный путь является вполне «урбанистической конструкцией» в рамках транспортной инфраструктуры мегаполиса. Такой термин возможен благодаря основным положительным критериям БКП в условиях внутригородской организации движения. К ним можно отнести: низкую строительную высоту конструкции, возможность пропуска автотранспорта, полную механизацию и автоматизацию при строительстве и снижение частоты проводимых ремонтных работ.

Говоря о транспорте в черте города, среди самых главных проблем стоит выделить проблемы текущего содержания, имеющие место в условиях плотной городской застройки, и проблемы частоты проведения ремонтов, а также предоставления «окон». В Москве как раз существует крупный транспортный железнодорожный объект – Московская кольцевая. Изначально, в 1908 году, запланированный для смешанного (в том числе городского пассажирского) движения. До последнего времени (до начала реконструкции в 2012 году) на кольцевой дороге отсутствовала контактная сеть и все перевозки осуществлялись при помощи тепловозной тяги. Конструкция пути при реконструкции также была выбрана традиционная. Это объясняется огромным накопленным опытом и наличием достаточно обширной материальной базы, которые делают путь на балласте простым и доступным.

Но возвращаясь к зарубежному опыту и базовой концепции БКП, следует рассмотреть основные преимущества, за счёт которых безбалластный путь в будущем сможет занять доминирующее положение при строительстве крупных транспортных объектов. К одному из таких преимуществ можно отнести эффект, достигаемый в сфере эксплуатации. К сфере эксплуатации относятся ремонт пути и его текущее содержание. В таблице 4 представлены эффекты (рассчитанные для верхнего и нижнего строения пути) в зависимости от ремонта и текущего содержания линии МКЖД длиной 54 км, где традиционный

Таблица 4

**Получаемый экономический эффект при сравнении вариантов**

| № п/п | Сфера эксплуатации пути | Эффект при сопоставлении конструкций пути по варианту I и II, тыс. руб. |
|---|---|---|
| 1 | Средний ремонт (С) | 216000 |
| 2 | Планово-предупредительный (В) | 108000 |
| 3 | Текущее содержание | 10800 |

путь на балласте и БКП варианты I и II соответственно.

Как следует из таблицы 4, дополнительные единовременные затраты на ремонты и текущее содержание пути варианта I (БКП) по сравнению с вариантом II (традиционный на балласте) дают определенный экономический эффект. Хотя, безусловно, существуют и определенные риски при строительстве и эксплуатации БКП ввиду малоизученности схемы в московских условиях.

Окупаемость инфраструктуры железнодорожного транспорта происходит за счёт объёма перевезенного груза и количества пассажиров. Отсюда следует, что чем больше пассажиропоток, тем больше и доходная составляющая. В отличие от планируемых к сооружению линий высокоскоростного сообщения (где пассажиропоток будет неравномерно распределен по участкам) линии внутригородского сообщения, несомненно, обладают более равномерной и повышенной загруженностью. Для сравнения можно рассмотреть годовые пассажиропотоки крупных транспортных объектов. Так, оптимистический прогнозируемый суммарный пассажиропоток на магистрали ВСМ Москва–Казань (с учётом всех остановочных пунктов) к 2020 году должен составить 10,5 млн человек в год. Годовой пассажиропоток московского метрополитена за 2015 год был 2384,5 млн человек, а прогнозируемый на 2017 год пассажиропоток МКЖД должен составить от 75 до 300 млн человек. Следовательно, окупаемость внутригородского транспортного объекта будет осуществляться в достаточно приемлемые сроки, а сами перевозки будут обладать большей рентабельностью [2, 7, 8].

Возможно, в будущем при реконструкции МКЖД или реализации подобных проектов следует задуматься о применении безбалластной конструкции пути. Она вполне может стать основной конструкцией верхнего строения пути в условиях мегаполиса, учитывая и её экономичность в процессе эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Волошко Ю. Д., Микитенко А. М. Рельсовый путь с блочными железобетонными опорами.– М.: Транспорт, 1980.– 175 с.
2. Инвестиционный меморандум Проекта создания высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва–Казань». 2014. [Электронный ресурс]: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1451461679.pdf. Доступ 10.01.2017.
3. Разуваев А. Д. Влияние выбора подрельсового основания на экономичность и безопасность движения поездов // XVI научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов. – М.: МИИТ, 2014.
4. Разуваев А. Д., Цыпин П. Е. Оценка экономической эффективности строительства безбалластного пути на эстакадах // Экономика железных дорог.– 2016.– № 2.– С. 81–85.
5. David N. Bilow and Gene M. Randich. Slab track for the next 100 years // AREMA Proceedings of the 2000 Annual Conference.– USA, 2000.
6. Michas, Georgios. Slab Track Systems for High-Speed Railways. Master Degree Project. Stockholm 2012, 95 c.
7. http://www.gudok.ru/infrastructure/? ID=1321399. Доступ 10.01.2017.
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Московский_метрополитен. Доступ 10.01.2017.



Координаты авторов: **Цыпин П. Е.** – pavel776@yandex.ru, **Разуваев А. Д.** – razuvaevalex@yandex.ru.



Статья поступила в редакцию 14.09.2016, принята к публикации 10.01.2017.

# ADVANTAGES OF BALLASTLESS TRACK DESIGN FOR LARGE TRANSPORT OBJECTS

***Tsypin, Pavel E.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Razuvaev, Aleksey D.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article assesses the possibility of using a ballastless (or slab) track design (BTD) in implementation of large transport facilities in the city. BTD is the only alternative to a traditional track on ballast. Such an option has a number of advantages, but at the same time, certain shortcomings that restrain its mass application today. Based on foreign experience and comparison of two designs (track on ballast and BTD), taking into account costs for repair and current maintenance, the authors offer their understanding of economic arguments and benefits derived from operation of the ballastless track.

*Keywords: railway transport, track superstructure, ballastless structure, high-speed traffic, costs, payback, economic effect.*

**Background.** *For more than a decade the experts of transport construction have been facing the issue of the most rational design of track superstructure that would meet all the necessary conditions, namely: constantly increasing speeds of movement and the load on the axis. Even at the beginning of 20th century, foreign and domestic scientists tried to obtain a stable track design, equally applicable to both industrial and civil traffic. For the first time track with a solid reinforced concrete base was offered and implemented in various variants in 1909 by our compatriot, Russian engineer N. E. Dolgov. The main idea was to create an efficient design without sleepers and ballast. Laid on the track designs of Dolgov on Pridneprovskaya Railway served from 20 to 40 years. In 1924, the Japanese national railways began to build a track with wooden supports-liners, submerged in a monolithic reinforced concrete base. In 1926–1929, reinforced concrete undertrack bases in the form of blocks were laid on the Per-Marquette road in the USA [1].*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider advantages of ballastless track designs.*

**Methods.** *The authors use general scientific methods, comparative analysis, economic assessment.*

**Results.** *To date, the leading countries in this area are Germany, Austria and Japan. There are dozens of variants of ballastless track designs (BTD) and all of them are included in serial production. In the overwhelming majority of their studies, foreign experts do rely on a comparison of two track designs (Table 1).*

*When comparing it is natural to conclude that the main criterion in favor of choosing BTD is stability of the geometry of track and the low cost of current maintenance, which is precisely an advantage over the track design on ballast. A fair number of works [5, 6] on this topic allow us to formulate from an economic point of view a certain general concept regarding construction and operation of BTD: high initial investment for construction is paid for by reducing the cost of current maintenance.*

*Let's consider the foreign experience in construction of new railway lines intended for high-speed passenger traffic (Table 2).*

*Separately it is worth noting two BTD designs, which are the most widely spread around the world. Table 3 presents the designs of Bögl FFB and Rheda 2000, as well as the polygons for their laying. The popularity of these types is explained by the fact that they have a satisfied long operational experience – in 1972 the first such structure was laid at the station of Reda in Germany [3].*

*As can be seen from Table 2, to date, the ballastless track is mainly used in the east, in China and Japan, whereas in Europe the traditional ballast track remains the basic design of track superstructure. This can be explained by the fact that one of the rational spheres of application of the ballastless track is the track on overhead road. For example, some lines of Japanese high-speed railways pass through overhead roads in almost 90 % of cases. Often the track on the overhead road is due to the presence of a complex terrain, but it is also quite relevant when passing a railway line to places with already established social infrastructure [4].*

*We can say that the ballastless track is quite an «urban structure» within the transport infrastructure of the megalopolis. Such a term is possible due to the main positive criteria of the BTD in conditions of intra-urban traffic organization. These include: low construction height of the structure, the ability to pass vehicles, full mechanization and automation during*

**Table 1**

**Comparison of track designs**

| Feature of a design | Track on ballast | Ballastless track |
|---|---|---|
| Low capital costs for construction | + | – |
| Low costs for current maintenance | – | + |
| Possibility to adjust the geometry of track gauge | + | – |
| Reconstruction of track after an emergency | + | – |
| Stability of continous welded track | – | + |
| Low maintenance | – | + |
| Noise and vibration damping | + | – |
| Convenience of use on artificial structures and in cramped conditions (bridges, tunnels, overhead roads) | – | + |

**Table 2**

**Comparative analysis of main parameters of implementation of HSR projects in the world [2, p. 31]**

| Project | Completion of construction | Length, km | Number of tracks | Track type | Average speed, km/h |
|---|---|---|---|---|---|
| HS1 (Great Britain) | 2007 | 108 | 2 | Mixed | 225–300 |
| HSL Zuid (the Netherlands) | 2009 | 125 | 2 | Ballastless | 300 |
| LGV Est (France) | 2007 | 300 | 2 | Ballast | 320 |
| Cologne–Frankfurt (Germany) | 2004 | 177 | 2 | Ballastless | 300 |
| Rome–Naples (Italy) | 2009 | 205 | 2 | Ballast | 300 |
| Madrid–Barcelona (Spain) | 2008 | 619 | 2 | Ballast | 300 |
| Kyushu–Sinkansen (Japan) | 2004 | 127 | 2 | Ballastless | 260 |
| Taipei–Kaosiung (Taiwan) | 2007 | 344 | 2 | Ballastless | 300 |
| Beijing–Shanghai (PRC) | 2011 | 1318 | 2 | 91 % – ballast; 9 % – ballastless | 300 and 250 |
| Seoul–Taegu (South Korea) | 2007 | 330 | 2 | Mainly ballastless | 300 |

**Table 3**

**Polygon for laying BTD Bögl FFB and Rheda 2000**

| Type of BTD | Manufacturing country | Name of track section |
|---|---|---|
| B gl FFB | Germany | Germany. Karlsruhe–Basel, the Katzenberg tunnel |
| | | Germany. Nuremberg–Ingolstadt |
| | | Germany. Nuremberg–Ebensfeld–Erfurt–Leipzig / Halle |
| | | China. Beijing–Tianjin |
| Rheda 2000 | Germany | Germany. Mainz–Mannheim. Upgrading the Alter Minster tunnel |
| | | India. Udhampur–Srinagar–Baramulla |
| | | China. Experimental section of the Su-Yu line: Suining–Chongqing |

**Table 4**

**The resulting economic effect when comparing options**

| № | Scope of track operation | Effect when comparing track design according to option I and II, thousand rubles |
|---|---|---|
| 1 | Mid-life repair (C) | 216000 |
| 2 | Routine-preventive (B) | 108000 |
| 3 | Current maintenance | 10800 |

*construction and reduction of frequency of repair work.*

*Speaking about transport in the city, it is necessary to highlight the problems of current maintenance, taking place in a dense urban environment, and the problem of the frequency of repairs, as well as the provision of repair intervals. If we cite example of Moscow, then we should mention a large railway facility which is Moscow Central Circle (MCC). Initially, in 1908, it was designed for a mixed (including urban passenger) movement. Until recently (before the beginning of reconstruction in 2012), there was no contact network on the circle and all transportations were carried out by means of diesel locomotives. The design of the track selected during reconstruction was also traditional. This is due to huge accumulated experience and the availability of a sufficiently extensive material base, which makes the track on ballast simple and affordable.*

*But going back to foreign experience and the basic concept of BTD, one should consider the main advantages, due to which the ballastless track in future can take a dominant position in construction of large transport facilities. One of such advantages can be attributed to the effect achieved in the field of operation. The scope of operation includes repair of the track and its current maintenance. Table 4 shows the effects (calculated for track superstructure and substructure), depending on repair and the current maintenance of MCC line, 54 km in length, where the traditional track on ballast and BTD options I and II, respectively.*

*As can be seen from Table 4, the additional one-time costs for repair and current maintenance of track of option I (BTD) as compared to option II (traditional on ballast) give a certain economic effect. Although, of course, there are certain risks in construction and operation of BTD due to the poorly understood scheme in Moscow conditions.*

*The payback of railway transport infrastructure is due to the volume of cargo transported and the number of passengers. Hence it follows that the more is passenger flow, the greater is the revenue component. Unlike the high-speed communication lines planned for construction (where the passenger flow will be unevenly distributed over sections), the*

*lines of intraurban traffic will undoubtedly have a more even and more congested traffic. For comparison, it is possible to consider the annual passenger flows of large transport objects. So, the optimistically forecasted total passenger flow on Moscow–Kazan HSR (taking into account all stop points) by 2020 should reach 10,5 million people per year. The annual passenger flow of Moscow metro for 2015 was 2384,5 million people, and the forecasted for 2017 passenger flow of MCC should be between 75 and 300 million people. Consequently, the payback of an intracity transport facility will be carried out within a reasonably acceptable timeframe, and the transportation itself will be more profitable [2, 7, 8].*

**Conclusion.** *Perhaps in the future, during reconstruction of the MCC or implementation of similar projects, one should think about the application of the ballastless track design. It may well become the main design of track superstructure in the conditions of a metropolis, taking into account its efficiency in the process of operation.*

## REFERENCES


1. Voloshko, Yu. D., Mikitenko, A. M. Rail track with block reinforced concrete supports [*Rel'sovyj put' s blochnymi zhelezobetonnymi oporami*]. Moscow, Transport publ., 1980, 175 p.

2. Investment memorandum of the Project for creation of a high-speed railway line «Moscow–Kazan». 2014 [*Investicionnyj memorandum Proekta sozdanija vysokoskorostnoj zheleznodorozhnoj magistrali «Moskva–Kazan'» 2014*]. [Electronic resource]: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1451461679.pdf. Last accessed 10.01.2017.

3. Razuvaev, A. D. Influence of choice of under-rail base on economy and safety of train traffic. [*Vlijanie vybora podrel'sovogo osnovanija na ekonomichnost' i bezopasnost' dvizhenija poezdov*]. *XVI scientific and practical conference «Traffic safety»*, Moscow, MIIT publ., 2014.

4. Razuvaev, A. D., Tsypin, P. E. Estimation of economic efficiency of construction of a ballastless track on overhead roads [*Ocenka ekonomicheskoj effektivnosti stroitel'stva bezballastnogo puti na estakadah*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2016, Iss. 2, pp. 81–85.

5. Bilow, David N., Randich, Gene M. Slab track for the next 100 years. *AREMA Proceedings of the 2000 Annual Conference*, USA, 2000.

6. Michas, Georgios. Slab Track Systems for High-Speed Railways. Master Degree Project. Stockholm 2012, 95 p.

7. http://www.gudok.ru/infrastructure/?ID=1321399. Last accessed 10.01.2017.

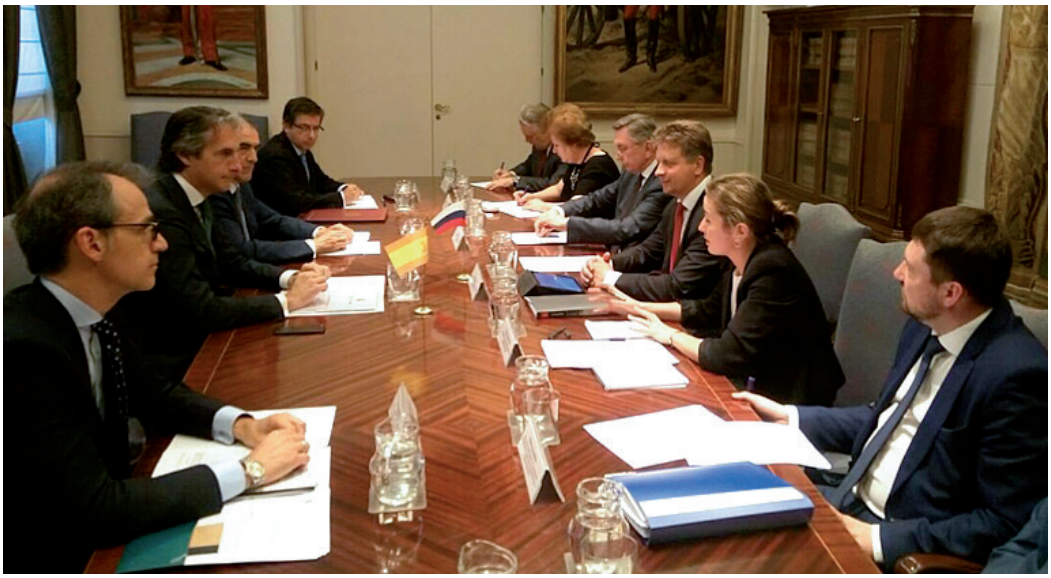
8. https://ru.wikipedia.org/wiki/Московский_метрополитен. Last accessed 10.01.2017.



Information about the authors:
**Tsypin, Pavel E.** – Ph.D. (Economics), associate professor at the Department of Economics of Construction Business and Property Management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, pavel776@yandex.ru.
**Razuvaev, Aleksey D.** – senior lecturer of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, razuvaevalex@yandex.ru.


Article received 14.09.2016, accepted 10.01.2017.

# РОССИЙСКО-ИСПАНСКОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО



**22–23 мая 2017 года состоялась рабочая поездка министра транспорта России в Мадрид. В ходе поездки М. Соколов провел встречу с министром развития Королевства Испания Иниго де ла Серна Эрнаизом. Стороны обсудили широкий спектр вопросов двустороннего сотрудничества в области транспорта и признали необходимость углубления взаимодействия, в том числе в рамках деятельности Рабочей группы по транспорту и в сфере профессионального образования. Отмечен рост перевозок грузов и пассажиров между странами автомобильным транспортом за последний период. Особо подчеркнута роль консультаций авиавластей России и Испании в феврале прошлого года, в результате которых достигнуты договоренности, существенно расширившие права авиаперевозчиков.**

Министры дали высокую оценку успешно реализованному проекту запуска в коммерческую эксплуатацию железнодорожных составов производства компании Talgo по маршруту Москва–Брест–Берлин в декабре прошлого года.

В ходе посещения Мадридского политехнического университета М. Соколов встретился с ректором Г. Сиснерос Пересом. Министр рассказал о системе транспортного образования в России, а также о работе по созданию Российского университета транспорта. Отмечены перспективы сотрудничества Мадридского политехнического университета с РУТ по вопросам развития транспортной науки.

Министр выступил в Мадридском политехе с лекцией о перспективах российско-испанского сотрудничества в сфере транспорта. Он рассказал о формировании единого экономического и гуманитарного пространства от Атлантики до Тихого океана, в том числе создании эффективных транспортных коридоров. Также были затронуты вопросы реализации в России крупнейших инфраструктурных транспортных проектов: ВСМ «Москва–Казань», МТК «Приморье-1» и «Приморье-2», коридора «Европа–Западный Китай».



МИР ТРАНСПОРТА, том 15, № 3, С. 139–140 (2017)

Кроме того, министр провел встречу с президентом компании Talgo Карлосом де Паласио Ориолом, на которой стороны обсудили сотрудничество компании с российскими организациями по производству комплектующих для подвижного состава. Одновременно М. Соколов ознакомился с работой крупнейших испанских транспортных узлов. В частности, он посетил центр управления автодороги AP-6, осуществляющий управление платными автомагистралями. Помимо этого, российская делегация побыла в центре управления скоростным железнодорожным движением Испании, где гости ознакомились с пересадочным узлом, соединяющим скоростные поезда дальнего следования, пригородные поезда, метро, наземный пассажирский транспорт. В завершение глава Минтранса осмотрел центр контроля движения скоростных поездов и центр управления H24.

**По материалам пресс-службы Министерства транспорта России**
**Фото К. ПАШКОВ и Ж. ТЕРЕХОВА ●**

EXPRESS INFORMATION

# RUSSIAN-SPANISH TRANSPORT COOPERATION

**On May 22–23, 2017, the Minister of Transport of Russia made a working visit to Madrid. During the trip, M. Sokolov held a meeting with the Minister of Development of the Kingdom of Spain, Inigo de la Serna Ernaiz. The parties discussed a wide range of issues of bilateral cooperation in the field of transport and recognized the need to expand cooperation, including within the framework of the Working group on transport and in the field of vocational education. The growth of transportation of goods and passengers between countries by road has been observed over the recent period. The role of consultations between the Russian and Spanish aviation authorities was especially emphasized in February last year, as a result of which agreements were reached that substantially expanded the rights of air carriers.**

The ministers highly appreciated the successful implementation of the project to launch Talgo's railway trains into commercial operation on the route Moscow–Brest–Berlin in December last year.

During the visit to the Universidad Politecnica de Madrid M. Sokolov met with the rector G. Cisneros Peres. The Minister spoke about the system of transport education in Russia, as well as about the work on creation of the Russian University of Transport. Prospects of cooperation of the Universidad Politecnica de Madrid with RUT on development of transport science were outlined.

The Minister also delivered a lecture on the prospects for development of Russian-Spanish cooperation in the field of transport. He spoke about formation of a single economic and humanitarian space from the Atlantic to the Pacific, including creation of effective transport corridors. The issues of realization of the largest infrastructure transport projects in Russia were also touched upon: Moscow–Kazan HSR, Primorye-1 and Primorye-2 ITC, creation of Europe–Western China corridor.

In addition, the Minister held a meeting with Talgo President Carlos de Palacio Oriol, at which the parties discussed the company's cooperation with Russian organizations for production of components for rolling stock. The Minister also got acquainted with the work of the largest Spanish transport hubs. In particular, he visited the control center of the AR-6 highway, which manages toll roads. In addition, the Russian delegation visited the Spanish high-speed rail traffic control center, where the participants got acquainted with a transfer hub connecting high-speed long-distance trains, suburban trains, metro, and land passenger transport. In conclusion, the head of the Ministry of Transport examined the center for controlling the movement of high-speed trains and the control center H24.

**On the basis of press releases of the Press service of the Ministry of Transport of the Russian Federation**
**Photos by K. PASHKOV and Zh. TEREKHOVA ●**

# МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО РАЗВИТИЮ СОТРУДНИЧЕСТВА НА ТЕРРИТОРИИ ОТ ЛИССАБОНА ДО ВЛАДИВОСТОКА

**31 мая 2017 года в Санкт-Петербурге статс-секретарь – заместитель министра транспорта России Сергей Аристов принял участие в международной конференции по развитию сотрудничества на территории от Лиссабона до Владивостока. Конференция прошла в рамках программы «нулевого дня» Петербургского международного экономического форума. В ходе первой сессии представители власти, бизнеса, а также аналитического и финансового сектора предложили свои решения масштабной и амбициозной задачи формирования общего экономического пространства на Евразийском континенте.**

В своем выступлении С. Аристов подчеркнул, что именно транспорт связывает все возможные направления сотрудничества. Как ведущие игроки рынка транспортных услуг от Атлантики до Тихого океана ЕАЭС и Евросоюз не могут не сотрудничать в вопросах построения эффективной евразийской транспортной системы в силу наднациональной природы транспорта, необходимости его функционирования, несмотря на политические, экономические и другие барьеры.

Замминистра обратил внимание, что Минтранс России системно и последовательно работает на различных площадках международных организаций и интеграционных объединений континента над задачей упрощения прохождения процедур и сокращения времени доставки грузов при пересечении границ путем выработки единых норм, правил и требований по оформлению перевозочных документов. Статс-секретарь особо выделил сложный и ресурсоёмкий вопрос развития современной автодорожной, железнодорожной, авиационной инфраструктуры с общими для партнёров нормами и требованиями. В завершение С. Аристов отметил, что для формирования единого будущего глобального транспортного пространства необходимо уже сегодня объединить усилия стран по подготовке квалифицированных кадров для транспортной отрасли.

**По материалам пресс-службы Министерства транспорта России ●**

# INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEVELOPMENT OF COOPERATION IN THE TERRITORY FROM LISBON TO VLADIVOSTOK

**On May 31, 2017 in St. Petersburg State Secretary – Deputy Minister of Transport of Russia Sergey Aristov took part in an international conference on development of cooperation in the territory from Lisbon to Vladivostok. The conference was held within the framework of the «zero day» program of the St. Petersburg International Economic Forum. During the first session, representatives of government, business, and the analytical and financial sectors offered their solutions to the large-scale and ambitious task of forming a common economic space on the Eurasian continent.**

In his speech, S. Aristov stressed that it is transport that links all possible areas of cooperation. As the leading players in the transportation services market from the Atlantic to the Pacific, the Eurasian Economic Union and the European Union cooperate in construction of an effective Eurasian transport system because of the supranational nature of transport, the need for its functioning, despite political, economic and other barriers.

The Deputy Minister drew attention to the fact that the Ministry of Transport of the Russian Federation is systematically and consistently working at various sites of international organizations and integration associations of the continent over the task of simplifying procedures and reducing the time of delivery of goods at the border crossings by developing uniform rules, rules and requirements for issuing shipping documents. S. Aristov also drew attention to the complex and resource-intensive issue of development of modern road, rail, aviation infrastructure with common norms and requirements for partners. In conclusion, S. Aristov noted that for formation of a unified future of the global transport space, it is now necessary to unite the efforts of countries to train qualified personnel for the transport sector.

**On the basis of press releases of the Press service of the Ministry of Transport of the Russian Federation ●**



● WORLD OF TRANSPORT AND TRANSPORTATION, Vol. 15, Iss. 3, p. 141 (2017)

УДК 629.7

# Анализ технико-экономических показателей источников собственной генерации энергии на железных дорогах

Ким САМАРОВ
Kim L. SAMAROV

Юрий СТРЕНАЛЮК
Yuri V. STRENALYUK

***Самаров Ким Леонидович*** *– доктор технических наук, профессор Технологического университета, Королев, Россия.*
***Стреналюк Юрий Вениаминович*** *– доктор технических наук, профессор Технологического университета, Королев, Россия.*

**Analysis of Technical and Economic Indicators of Sources of Own Generation of Energy on Railways**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 145)*

***Описаны этапы системного анализа технико-экономических показателей, позволяющих сравнивать эффективность оборудования возобновляемых источников солнечной энергии. Показано, что внедрение гелиоустановок как дополнительного источника для системы электроснабжения нетяговых и нетранспортных потребителей (для оборудования информационно-вычислительных комплексов железных дорог) даст возможность уменьшить затраты на энергообеспечение, сократить объёмы строительства линий электропередач. Авторы статьи уверены, что ситуация в ценовой политике по энергоносителям делает особенно важной объективную оценку энергетической окупаемости сооружения гелиоустановок.***

*Ключевые слова: железная дорога, системный анализ, солнечная энергия, гелиоустановки, энергетическая окупаемость.*

С целью снижения затрат на энергообеспечение и повышение качества электроэнергии на железнодорожном транспорте предусматривается развитие собственной генерации энергии на нетяговые нужды: для электроснабжения нетяговых и нетранспортных потребителей путем использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Износ основных фондов электрических сетей составляет 40 %. Уже только по этой причине внедрение независимых от электрических сетей возобновляемых источников энергии (ВИЭ) актуально. Для регионов Сибири и Дальнего Востока с высоким уровнем солнечной инсоляции целесообразно использование солнечных ВИЭ.

В нашей статье будут рассмотрены ВИЭ с гелиоустановками (ГУ), преобразующие солнечную энергию в электрическую энергию для оборудования информационно-вычислительных комплексов (ИВК) железных дорог.

Обеспечение ИВК промышленного и транспортного назначения источниками дополнительного/резервного, а при необходимости и автономного электроснабжения должно осуществляться с учётом тре-

бований к их гарантированному включению в работу, квалифицированному обслуживанию и улучшению экологии, к наличию готовых к использованию передвижных вычислительных модулей (с энергоустановками) при авариях и чрезвычайных ситуациях [1, 2]. В этой связи возникает задача технико-экономической оценки оборудования ВИЭ с гелиоустановками для надёжного функционирования ИВК.

Предельный теоретический КПД фотоэлектрического преобразования (ФЭП) превышает 90 %, поэтому актуальна постановка задачи повышения КПД ФЭП до 50 % и более в результате оптимизации структуры и параметров ФЭП и ГУ. Гелиоустановки с концентраторами улавливают на 40 % больше солнечной энергии [3, 4]. На основании экспериментальных данных, полученных в Стенфордском университете [5], можно сделать вывод, что при использовании ФЭП на основе арсенида галлия и нитрида галлия с концентрацией лучистой энергии Солнца и объединением двух принципов преобразования солнечного света в электричество – термодинамического и светового – КПД увеличивается на 26 % (в среднем до 40 % по сравнению с существующим средним значением 14 %). Термодинамическое преобразование базируется на использовании термоэлектрического и термоэмиссионного процессов. Световое преобразование (прямая конверсия фотонов в ток при помощи полупроводника) основано на методах фотоэлектрического, фотогальванического и фотоэмиссионного преобразований. Удельная стоимость производства энергии с помощью ГУ может быть снижена не только за счёт повышения КПД установки и её составных элементов, снижения стоимости управления ею, но и за счёт использования ГУ как дополнительного источника питания и выдачи электроэнергии в сеть общего пользования за плату, гарантированную правительством.

Основные компоненты в структуре стоимости ГУ описываются параметрами, значения которых характеризуют уровень используемых технологий. Стоимость солнечного ватта зависит в первую очередь от стоимости полупроводникового материала в фотоэлектрическом преобразователе, а также от КПД ФЭП (руб./Вт):

$$S_{\text{ФЭП}} = \frac{S_{\text{пп}} d \rho}{E_{\text{ср}} \eta_{\text{ФЭП}} Y_1 Y_2}, \qquad (1)$$

где $S_{\text{пп}}$ – стоимость полупроводника [руб.]; $d$ – толщина используемых пластин [мкм]; $\rho$ – плотность полупроводника [кг/м$^3$]; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение солнечной освещенности за день с учётом вечерних и утренних часов и климатических условий в различные времена года [Вт/м$^2$]; $\eta_{\text{ФЭП}}$ – КПД ФЭП; $Y_1$ и $Y_2$ – технологические коэффициенты, характеризующие выходы процессов переработки кристаллов полупроводника в пластины и пластин в солнечные элементы.

Из соотношения (1) видно, что чем больше площадь солнечных панелей, тем выше стоимость полупроводника. Имеющаяся в настоящее время и в перспективе неопределенность в государственной ценовой политике по энергоносителям делает особенно важной объективную оценку энергетической окупаемости сооружения ГУ. Стоимость аккумуляторных батарей (АКБ), являющихся электрохимическими накопителями энергии (НЭ), составляет наиболее весомую долю в общей стоимости солнечных электроустановок. Высокую кратковременную мощность можно полу-

чить только при весьма большой емкости АКБ, что обусловливает большие размеры и массу накопителя. К другим недостаткам АКБ относятся невысокая циклическая стабильность и, следовательно, ограниченный срок службы, а также наличие в них кислоты, свинца, кадмия и других экологически опасных материалов.

Срок окупаемости ГУ в зависимости от её удельной стоимости [лет]:

$$T_{ок} = \frac{S_{ГУ}}{E_{ГУ} S_{т}}, \qquad (2)$$

где $S_{ГУ}$ – стоимость ГУ [руб.]; $E_{ГУ}$ – годовое количество электричества, выработанное ГУ [кВт•ч/лет]; $S_{т}$ – стоимость энергии от традиционной энергоустановки [руб./кВт•ч].

Для того чтобы гелиоустановки были рентабельными, надо почти в два раза уменьшить стоимость солнечной энергии. Предварительные оценки использования концентрации лучистой энергии [6] путем объединения двух принципов преобразования солнечного света в электричество – теплового и квантового КПД [5], применения в ФЭП солнечных каскадных элементов [1], снижения затрат на управление ГУ с помощью следящего электропривода (СЭП), осуществляющего пошаговый режим слежения за Солнцем [7], свидетельствуют о том, что на современном этапе развития ГУ существенное снижение стоимости солнечного ватта становится реальным при обеспечении качества вырабатываемой электроэнергии на требуемом уровне [8].

Экономическую прибыль за счёт возможности выполнять дополнительные функции можно извлечь с помощью дополнительной энергии от ГУ. Дополнительную энергию целесообразно реализовывать только тогда, когда стоимость замещаемого электричества традиционной энергосистемы равна или больше стоимости электричества, вырабатываемого ГУ. Если на правительственном уровне будет организована поддержка при внедрении солнечных энергоустановок, то стоимость замещаемого электричества должна оставаться именно такой с учётом вычета «квот за выбросы» за счёт снижения выбросов углекислого газа [9]. Соответственно запишем вытекающие отсюда неравенства [руб.]:

$$S_{т} \geq S_{ГУ} / E_{ГУ} \text{ или } S_{т} \geq S_{ГУ} / (E_{ГУ} - S_{КВ}), \qquad (3)$$

где $S_{КВ}$ – квота за выбросы.

## ВЫВОДЫ

Разработана технико-экономическая оценка энергетической оптимизации возобновляемых источников энергии с гелиоустановками. Чтобы использование гелиоустановок стало рентабельным, надо почти в два раза уменьшить стоимость получаемой от них солнечной энергии. С участием государства или без него, но выполнение этой задачи – главное условие экономически целесообразных проектов, связанных с внедрением нетрадиционных видов энергии.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Алферов Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников.– 2004.– № 8.– С. 937–947.
2. Макушин М. Есть ли место Солнцу в будущем российской энергетики? // Электроника: Наука. Технология. Бизнес.– 2007.– № 4.– С. 112–119.
3. Wolff, G., Gallego, B., Tisdale, R., Hopwood, D. CSP concentrates the mind. Renewable Energy Focus, 2008, Jan/Feb, pp. 42–47.
4. Овсянников Е. М., Пшеннов В. Б., Аббасов Э. М. Расчёт гелиоустановки с концентрацией лучистого потока энергии // Промышленная энергетика.– 2008.– № 8.– С. 46–48.
5. Попов Л. Горячая фотоячейка тянет электроны из коктейля света и жара. http://www.membrana.ru/particle/2014. Доступ 04.09.2016.
6. Овсянников Е. М., Аббасов Э. М., Аббасова Т. С. Технико-экономический анализ использования систем преобразования солнечной энергии в другие виды энергии // Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность.– 2013.– № 3.– С. 2–6.
7. Аббасов Э. М., Аббасова Т. С. Исследование структуры и условий работы следящих электроприводов гелиоустановок // Промышленная энергетика.– 2011.– № 1.– С. 45–49.
8. Артюшенко В. М., Аббасова Т. С. On-line расчёт показателей качества электроэнергии в режиме реального времени // Мир транспорта.– 2013.– № 2.– С. 18–23.
9. Аббасова Т. С., Сидорова Н. П., Логачева Н. В. Оценка экономической эффективности возобновляемых источников энергии для информационно-вычислительных комплексов и управляющих систем // Вопросы региональной экономики.–2015.– № 4.– С. 167–177.


Координаты авторов: **Самаров К. Л.** – kimsamarov@yandex.ru, **Стреналюк Ю. В.** – str1953@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 31.03.2016, принята к публикации 04.09.2016.

# ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF SOURCES OF OWN GENERATION OF ENERGY ON RAILWAYS

***Samarov, Kim L.,*** *Technological University, Korolev, Russia.*
***Strenalyuk, Yuri V.,*** *Technological University, Korolev, Russia.*

## ABSTRACT

The stages of the system analysis of technical and economic indicators allowing to compare the efficiency of renewable solar energy equipment are described. It is shown that the introduction of solar installations as an additional source for a power supply system for non-traction and non-transport consumers (for equipment of information and computer complexes of railways) will make it possible to reduce energy costs and reduce construction of power transmission lines. The authors of the article are sure that the situation in the energy pricing policy makes an objective assessment of the energy payback of the solar installation construction particularly important.

*Keywords: railway, system analysis, solar energy, solar installations, energy payback.*

**Background.** *In order to reduce the cost of energy supply and improve the quality of electricity in rail transport, it is envisaged to develop its own generation of energy for non-traction needs: to provide power to non-traction and non-transport consumers by using non-traditional renewable energy sources. Depreciation of fixed assets of electric grids is 40 %. It is only for this reason that the introduction of renewable energy sources (RES), independent of electrical networks, is actual. For regions of Siberia and the Far East with a high level of solar insolation, it is advisable to use solar RES.*

*In our article, we will consider RES with solar installations (SI), which convert solar energy into electrical energy for the equipment of information and computer complexes (ICC) of railways.*

**Objective.** *The objective of the authors is to analyze technical and economic indicators of sources of own generation of energy on railways.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, mathematical calculations, evaluation approach, comparative analysis.*

**Results.** *Provision of ICC for industrial and transport purposes with sources of additional/reserve and, if necessary, autonomous power supply should be carried out taking into account the requirements for their guaranteed inclusion in work, qualified maintenance and improvement of the environment, availability of ready-to-use mobile computing modules (with power installations) in case of accidents and emergency situations [1, 2]. In this regard, the task arises of a technical and economic assessment of RES equipment with solar installations for the reliable operation of ICC.*

*The limiting theoretical efficiency of the photoelectric conversion (PEC) exceeds 90 %, therefore, the actual task of increasing the efficiency of PEC is up to 50 % and more as a result of optimizing the structure and parameters of PEC and SI. Solar installations with concentrators capture 40 % more solar energy [3, 4]. On the basis of experimental data obtained at Stanford University [5], it can be concluded that when using PEC on gallium arsenide and gallium nitride with a concentration of solar radiant energy and combining two principles of conversion of sunlight into electricity – thermodynamic and light – the efficiency is increased by 26 % (an average of 40 % compared with the current average of 14 %). The thermodynamic conversion is based on the use of thermoelectric and thermionic processes. The light conversion (direct conversion of photons into a current by means of a semiconductor) is based on the methods of photoelectric, photovoltaic and photoemission transformations. The specific cost of energy production by means of SI can be reduced not only by increasing the efficiency of the installation and its components, reducing the cost of managing it, but also by using SI as an additional source of power and supplying electricity to the public network for a fee guaranteed by the government.*

*The main components in the cost structure of SI are described by parameters which values characterize the level of technology used. The cost of a solar watt depends primarily on the cost of semiconductor material in the photoelectric converter, as well as on the efficiency of PEC (rub./W):*

$$S_{\text{PEC}} = \frac{S_{\text{sc}} d \rho}{E_{\text{av}} \eta_{\text{PEC}} Y_1 Y_2}, \qquad (1)$$

*where $S_{sc}$ is the cost of the semiconductor [rub.]; d is thickness of the plates used [μm]; ρ is semiconductor's density [kg/m³]; $E_{av}$ is average value of solar illumination for a day taking into account evening and morning hours and climatic conditions in different seasons [W/m²]; $\eta_{PEC}$ is efficiency of PEC; $Y_1$ and $Y_2$ are technological coefficients characterizing the yields of the processes of processing semiconductor's crystals in plates and plates into solar cells.*

*It follows from relation (1) that the larger is the area of solar panels, the higher is the cost of a semiconductor. The current uncertainty in the state pricing policy on energy carriers makes the objective assessment of the energy payback of SI facility especially important. The cost of accumulator batteries (AB), which are electrochemical energy storage units (ESU), is the most significant part of the total cost of solar electrical installations. High short-term power can be obtained only with a very high capacity of AB, which determines the large size and mass of the storage unit. Other drawbacks of AB include low cyclic stability and, therefore, a limited service life, as well as the presence of acid, lead, cadmium and other environmentally hazardous materials.*

*Payback period of SI depending on its unit cost [years]:*

$$T_{\text{PP}} = \frac{S_{\text{SI}}}{E_{\text{SI}} S_{\text{T}}}, \qquad (2)$$

*where $S_{SI}$ is cost of SI [rub.]; $E_{SI}$ is annual amount of electricity generated by SI [kW•h/year]; $S_T$ is cost of energy from a traditional power installation [rub./ kW•h].*

*For solar installations to be cost-effective, it is necessary to almost halve the cost of solar energy. Preliminary estimates of the use of concentration of radiant energy of the Sun [6] by combining two principles of conversion of sunlight into electricity – thermal and quantum efficiency [5], the use of PEC of solar cascade elements in the photovoltaic cell [1], reducing the cost of controlling SI using a follower electric drive (FED), implementing the step-by-step regime of tracking the Sun [7], indicate that at the present stage of the development of the SI, a significant reduction in the cost of the solar watt becomes real while ensuring the quality of production electricity at the required level [8].*

*Economic profit through the ability to perform additional functions can be derived by generating additional energy from SI. It is advisable to realize additional energy only when the cost of the replaced electricity of a traditional power system is equal to or greater than the cost of electricity generated by SI. If support is provided at the governmental level for introduction of solar installations, the cost of electricity to be replaced should remain exactly this, taking into account the deduction of «emission quotas» by reducing carbon dioxide emissions [9]. Accordingly, we write down the following inequalities [rub.]*

$$S_T \geq S_{SI}/E_{SI} \text{ or } S_T \geq S_{SI}/(E_{SI} - S_{QU}), \quad (3)$$

*where $S_{QU}$ is emission quota.*

**Conclusions.** *A technical and economic assessment of the energy optimization of RES renewable energy sources with solar installations has been developed. In order to make the use of solar installations profitable, it is necessary to almost halve the cost of solar energy received from them. With the participation of the state or without it, but the fulfillment of this task is the main condition of economically viable projects related to the introduction of non-traditional types of energy.*

## REFERENCES


1. Alferov, Zh. I., Andreev, V. M., Rumyantsev, V. D. Trends in development of solar photovoltaics [*Tendencii razvitija solnechnoj fotoenergetiki*]. *Fizika i tehnika poluprovodnikov*, 2004, Iss. 8, pp. 937–947.
2. Makushin, M. Is there a place for the Sun in the future of Russian energy sector? [*Est' li mesto Solncu v budushhem rossijskoj energetiki?*]. *Elektronika: Nauka. Tehnologija. Biznes*, 2007, Iss. 4, pp. 112–119.
3. Wolff, G., Gallego, B., Tisdale, R., Hopwood, D. CSP concentrates the mind. Renewable Energy Focus, 2008, Vol. 9, Iss. 1, pp. 42–47.
4. Ovsyannikov, E. M., Pshennov, V. B., Abbasov, E. M. Calculation of the solar installation with concentration of the radiant energy flux [*Raschet gelioustanovki s koncentraciej luchistogo potoka energii*]. *Promyshlennaja energetika*, 2008, Iss. 8, pp. 46–48.
5. Popov, L. Hot photocell pulls electrons from a cocktail of light and heat [*Gorjachaja fotojachejka tjanet elektrony iz koktejlja sveta i zhara*].Last accessed 04.09.2016.
6. Ovsyannikov, E. M., Abbasov, E. M., Abbasova, T. S. Technical and economic analysis of the use of solar energy conversion systems in other types of energy [*Tehniko-ekonomicheskij analiz ispol'zovanija sistem preobrazovanija solnechnoj energii v drugie vidy energii*]. *Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotehnicheskaja promyshlennost'*, 2013, Iss. 3, pp. 2–6.
7. Abbasov, E. M., Abbasova, T. S. Research of the structure and working conditions of follower electric drives of solar installations [*Issledovanie struktury i uslovij raboty sledjashhih elektroprivodov gelioustanovok*]. *Promyshlennaja energetika*, 2011, Iss. 1, pp. 45–49.
8. Artyushenko, V. M., Abbasova, T. S. On-line computation of electrical energy quality rates. *World of Transport and Transportation*, Vol. 11, 2013, Iss. 2, pp. 18–23.
9. Abbasova, T. S., Sidorova, N. P., Logacheva, N. V. Estimation of economic efficiency of renewable energy sources for information-computational complexes and control systems [*Ocenka ekonomicheskoj effektivnosti vozobnovljaemyh istochnikov energii dlja informacionno-vychislitel'nyh kompleksov i upravljajushhih system*]. *Voprosy regional'noj ekonomiki*, 2015, Iss. 4, pp. 167–177.



Information about the authors:
**Samarov, Kim L.** – D.Sc. (Eng), professor of Technological University, Korolev, Russia, kimsamarov@yandex.ru.
**Strenalyuk, Yuri V.** – D.Sc. (Eng), professor of Technological University, Korolev, Russia, str1953@mail.ru.


Article received 31.03.2016, accepted 04.09.2016.

# XII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ БИЗНЕС-ФОРУМ «СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО 1520»

**На XII международном железнодорожном бизнес-форуме «Стратегическое партнерство 1520» президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров, президент АО «Национальная компания «Казахстан темир жолы» Канат Алпысбаев и начальник ГО «Белорусская железная дорога» Владимир Морозов подписали меморандум о взаимодействии в области развития железнодорожного транспорта в рамках Евразийского экономического союза.**

Меморандум направлен на углубление сотрудничества в области развития железнодорожного транспорта на территории государств – членов ЕАЭС.

Согласно документу, одними из основных целей сотрудничества должны стать выработка механизма совместного использования парка грузовых вагонов на взаимовыгодной основе, взаимодействие по развитию транспортных коридоров и реализации транзитного потенциала.

В соответствии с меморандумом будет создана совместная рабочая группа, которая обеспечит взаимодействие сторон и подготовку предложений по совершенствованию нормативно-правовой базы в рамках ЕАЭС, реализации совместных проектов и дальнейшему совершенствованию тарифной политики.

Кроме того, президент ОАО «РЖД», президент АО «Национальная компания «Казахстан темир жолы» и начальник ГО «Белорусская железная дорога» подписали на форуме протокол по вопросам дальнейшего развития АО «ОТЛК».

В 2016 году объём перевозок ОТЛК более чем вдвое превысил уровень 2015 года и составил 101 тыс. контейнеров (ДФЭ). План по транзитным перевозкам на 2017 год составляет уже 137,5 тыс. контейнеров. Учитывая итоги работы компании за 5 месяцев текущего года, можно ожидать превышения заявленного объёма перевозок. ●

---

7 июня 2017 года в Сочи президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров в рамках XII международного железнодорожного бизнес-форума «Стратегическое партнёрство 1520» встретился с представителями немецких деловых кругов, в частности компаний «Сименс АГ», «Дойче Бан АГ», «Штрабаг АГ», «Фоссло Фастенинг Системс ГмбХ» и «Шэффлер АГ», входящих в состав «Немецкой инициативы по ВСМ».

Ключевой темой встречи стала возможная кооперация в проектах по созданию сети высокоскоростных дорог в России, включая ВСМ «Москва–Казань» как составной части Евразийского высокоскоростного транспортного коридора Москва–Пекин.

Участники встречи обсудили сопряжение маршрутов «Нового Шёлкового пути» и международного транспортного коридора «Восток–Запад», в том числе с Транссибирской железнодорожной магистралью, а также другими маршрутами через территорию ЕАЭС.

«Транзитный потенциал, который позволяет грузам из стран Европы и СНГ напрямую выходить к дальневосточным российским морским портам и сухопутной границе с Китаем, Монголией и Казахстаном, колоссален»,– подчеркнул Олег Белозёров.

Президент ОАО «РЖД» отметил, что за последние три года многократно увеличился объём транзитных контейнерных перевозок между Европой и Китаем, и потенциал этого направления не исчерпан. ●

8 июня 2017 года в рамках XII международного железнодорожного бизнес-форума «Стратегическое партнерство 1520» первый вице-президент ОАО «РЖД» Александр Мишарин принял участие в пленарной дискуссии «Новый Шёлковый путь. 1520 в авангарде евроазиатской торговли».

Участники дискуссии обсудили итоги и перспективы транзитных железнодорожных перевозок на маршруте Китай–Европа.

«Россия, участвуя в евразийской экономической интеграции и строительстве «Экономического пояса Шёлкового пути», решает сразу несколько задач: формирование новой экономической модели, нацеленной на превращение евроазитского пространства в наиболее удобную среду для движения товаропотоков, развитие транспортно-логистической инфраструктуры, которая позволит капитализировать наше географическое преимущество», – отметил в своем выступлении Александр Мишарин.

Он также напомнил, что железнодорожный транспорт имеет колоссальное преимущество перед морским – расстояние перевозки меньше, а значит и сроки доставки грузов из Азии в Европу намного комфортнее для грузоотправителей, ценящих скорость. При этом стоимость перевозки контейнерных грузов «от двери до двери» железнодорожным и морским транспортом сопоставима. ●

## РАЗРАБОТКА ТЭО ПРОЕКТА НАГПУР–СЕКУНДЕРАБАД

**1 июня 2017 года президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров и посол Индии в РФ г-н Панкадж Саран подписали договор между министерством железных дорог Индии и ОАО «РЖД» о подготовке обоснования реализации скоростного сообщения на железнодорожном участке Нагпур–Секундерабад (Индия). Подписание состоялось в присутствии президента РФ Владимира Путина и премьер-министра Индии Нарендры Моди, который находился в России с визитом.**

В рамках соглашения холдинг «РЖД» и Индийские железные дороги договорились о совместной деятельности по разработке технико-экономического обоснования модернизации железнодорожной линии Нагпур–Секундерабад (575 км) для повышения скорости движения пассажирских поездов до 200 км/ч.

Напомним, что 15 октября 2016 года в рамках восьмого саммита БРИКС ОАО «РЖД» и министерство железных дорог Индии подписали протокол о сотрудничестве в сфере скоростного железнодорожного сообщения. Протокол был составлен в развитие Меморандума о взаимопонимании от 24 декабря 2015 года.

**По материалам пресс-службы ОАО «РЖД»** ●

# 12TH INTERNATIONAL RAILWAY BUSINESS FORUM «STRATEGIC PARTNERSHIP 1520»

**In the framework of the 12th International Railway Business Forum» Strategic Partnership 1520» Oleg Belozerov, the President of Russian Railways, Kanat Alpysbaev, the President of JSC NC Kazakhstan Temir Zholy, and Vladimir Morozov, the head of the Belarusian Railways State Enterprise, have signed a memorandum on cooperation on the development of rail transport within the framework of the Eurasian Economic Union.**

The memorandum is aimed at deepening cooperation in the development of rail transport on the territory of the member states of the Eurasian Economic Community (EAEC).

According to the document, one of the main objectives of the cooperation will be the development of a mechanism for the joint use of the freight wagon fleet on a mutually beneficial basis, cooperation on the development of transport corridors and the realisation of the EAEC's transit potential.

In accordance with the memorandum, a joint working group will be created that will ensure cooperation between the parties and prepare proposals for improving the regulatory framework within the framework of the EAEC, implementing joint projects and further improving the tariff policy.

In addition, the president of Russian Railways, the president of JSC NC Kazakhstan Temir Zholy and the head of the Belarusian Railway Company signed a protocol on the further development of United Transport and Logistics Company (JSC UTLC).

In 2016, the volume of shipments carried by UTLC more than doubled from the level of 2015 and amounted to 101,000 twenty-foot equivalent unit (TEU) containers. The transit transportation plan for 2017 already stands at 137,500 containers. Taking into account the company's work for the 5 months to the end of May 2017, the declared volume of traffic is expected to be exceeded. ●

---

**Oleg Belozerov, the President of Russian Railways, has met with representatives from the German business community, in particular Siemens AG, Deutsche Bahn AG, Strabag AG, Vossloh Fastening Systems GmbH and the Schaeffler Group AG, all of which are part of the German Initiative on High-Speed Railways.**

The meeting's key topic was possible cooperation on projects to create a network of high-speed railways in Russia, including the Moscow–Kazan High-Speed Railway as an integral part of the Moscow–Beijing high-speed International Transport Corridor across Eurasia. Also under discussion was the interconnection of the routes of the New Silk Road and the East-West International Transport Corridor, including the Trans-Siberian Railway, as well as other routes across the territory of the Eurasian Economic Union (EAEU).

«The transit potential which gives freight from Europe and the CIS countries direct access to the seaports in Russia's Far East and Russia's land borders with China, Mongolia and Kazakhstan, is colossal», said Oleg Belozerov.

The President of Russian Railways noted that over the past three years, the volume of transit container shipments between Europe and China had increased many times and that the potential of this direction had not been exhausted. ●

***

Alexander Misharin, First Vice President of Russian Railways, has taken part in the plenary discussion «The New Silk Road. 1520 in the Forefront of Eurasian Trade».

The discussion took place in the framework of the XII International Railway Business Forum «Strategic Partnership 1520» on 8 June 2017.

The participants in the discussion discussed the results of, and prospects for transit rail transportation along the China-Europe route.

«By participating in Eurasian economic integration and the construction of the Silk Road Economic Belt, Russia solves several tasks. It is establishing a new economic model aimed at making the Eurasian space the most convenient environment for traffic flows, and in addition is developing the transport and logistics infrastructure that will allow us to capitalise on Russia's geographical advantage», said Alexander Misharin in his speech.

Misharin also recalled that rail transport has a colossal advantage over the sea route. The land route is much shorter, so delivery times for goods from Asia to Europe are much more convenient for shippers who appreciate speed.

At the same time, the cost of transporting containerised goods «from door-to-door» by rail and sea transport is comparable. ●

# FEASIBILITY STUDY FOR NAGPUR–SECUNDERABAD PROJECT

**Russian Railways' President Oleg Belozerov and the Ambassador of India to Russia Mr. Pankaj Saran have signed an agreement between India's Ministry of Railways and Russian Railways on the preparation of a feasibility study for a high-speed rail service between Nagpur and Secunderabad in India.**

The signing took place on 1 June 2017 in the presence of Russian President Vladimir Putin and Indian Prime Minister Narendra Modi, who is in Russia on an official visit.

Under the agreement, Russian Railways and Indian Railways have agreed to joint activities to develop a feasibility study for the modernisation of the 575 km Nagpur–Secunderabad railway line in order to increase the speed of passenger trains to 200 km/h.

Russian Railways and India's Ministry of Railways had previously signed a protocol on cooperation in the field of high-speed rail services within the framework of the VIII BRICS Summit on 15 October 2016.

The protocol was drawn up as development of the Memorandum of Understanding signed on 24 December 2015.

**Based on press releases of JSC Russian Railways** ●

# IV

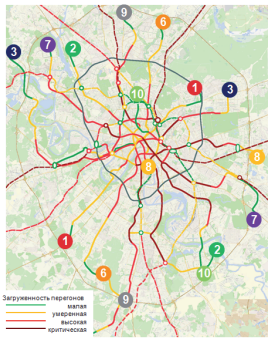
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL


**КООПЕРАЦИЯ** 152

*Каков проект – таков эффект.*

**ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ** 160

*«Петля качества» обещает комфорт.*

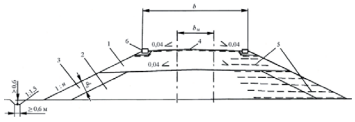



**ОПТИМИЗАЦИЯ** 174

*Своя стратегия нужна и малозагруженной линии.*

**COOPERATION** 152

*The effects depend on the projects.*

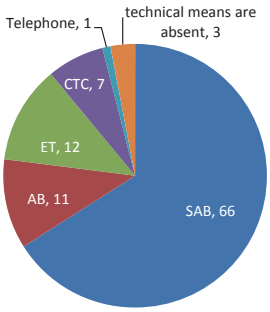


**PUBLIC TRANSPORT** 160

*Quality loop promises comfort.*

**OPTIMISATION** 174

*Even less operated railroad needs its own strategy.*



УДК 625.72:625.11:550.8

# Проектирование высокоскоростных совмещённых автомобильных и железных дорог

Пётр ДЫДЫШКО
Petr I. DYDYSHKO

Эмма КУЗАХМЕТОВА
Emma K. KUZAKHMETOVA

***Дыдышко Пётр Иванович*** *– доктор технических наук, главный научный сотрудник АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия.*
***Кузахметова Эмма Константиновна –*** *доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**Design of High-Speed Combined Motor Roads and Railways**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 157)*

***В статье рассматриваются проблемы строительства в стране высокоскоростных совмещённых автомобильных и железных дорог. Проектирование таких объектов требует особого внимания, поскольку сам объект представляет собой сложнейшую транспортную систему, каждый элемент которой предполагает повышенную эксплуатационную надёжность. Поэтому при проектировании совмещённых дорог нужен полный учёт природных и техногенных воздействий на инженерные сооружения. На основе проведённых исследований даются рекомендации по методологии проектирования и инженерно-геологических изысканий, ставится вопрос о необходимости обновления сопутствующей нормативной базы.***

*Ключевые слова: высокоскоростные совмещённые дороги, инженерно-геологические изыскания, проектирование, строительство, автотрасса, железная дорога, транспортная система.*

К числу прогрессивных направлений в области транспортного строительства относятся высокоскоростные и скоростные железные и автомобильные дороги. Скорость движения подвижного состава на высокоскоростных железных дорогах должна составлять 200–400 км/ч, на автомобильных – более 150 км/ч.

В последние годы появился опыт строительства совмещённых автомобильных и железных дорог. С целью улучшения инфраструктуры в ряде случаев экономически и технически это целесообразнее их раздельного существования. К примеру, скоростная совмещённая автомобильная и железная дорога Адлер–«Альпика-Сервис» (пос. Красная Поляна), которая была основной транспортной артерией Олимпиады-2014. Проектировщики учли особенности природного ландшафта и проложили железную и автомобильную дороги параллельно. Пропускная способность рельсовой линии – 6 пар поездов в час со скоростью движения до 160 км/ч. Пропускная способность автомобильной трассы – 11000 авт./сут. со скоростью движения до 100 км/ч.

Намечается совмещение высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва–Казань с платной автотрассой М7. Федеральная М7 – это автомобильная дорога Москва–Владимир–Нижний Новгород–Казань–Уфа. Её протяжённость 1351 км. Руководство ОАО «Скоростные магистрали» считает целесообразным совмещение этих дорог.

* * *

Совмещённая автомобильная и железная дорога (скоростная или высокоскоростная) – сложнейшая транспортная система. Недоучёт условий одной её составляющей при проектировании конструкции может привести к нарушению работоспособности всей системы. Поэтому важно комплексное изучение степени влияния природного и техногенного воздействия на поведение сооружений [3, 4, 7]. С этой целью необходимо, как минимум, следующее:

– оценить зону опасных геологических процессов для автомобильной и железной дорог;

– установить уязвимые места влияния техногенного воздействия;

– определить участки типового и индивидуального проектирования автомобильной дороги;

– определить участки групповых решений и индивидуального проектирования железной дороги;

– наметить места размещения системы мониторинга за динамикой развития как природных, так и техногенных процессов.

Состав и объём инженерных изысканий должен назначаться с учётом действующих нормативных документов для автомобильных и железных дорог. Вместе с тем научные исследования в этом направлении и практический опыт строительства совмещённых дорог (скоростных и высокоскоростных) могут вносить соответствующие корректировки.

Проведенные АО «ВНИИЖТ» исследования позволяют дать определенные рекомендации. При выполнении инженерно-геологических изысканий железных дорог в несложных условиях и средней сложности глубину выработок (скважин) следует назначать не менее чем на 4 м ниже расчётной глубины промерзания земляного полотна. Грунтовое основание под насыпью должно быть пройдено выработками на глубину не менее 6 м. На каждом поперечнике скважины следует назначать на оси путей и в средней части откосов.

Для повышения точности и информативности изысканий необходимо использовать георадиолокационное зондирование (к примеру, георадар «Лоза») и электроконтактное динамическое зондирование.

Вид и конструкцию земляного полотна высокоскоростных железнодорожных и автомобильных дорог назначают при технико-экономическом обосновании их трассы на основе анализа состояния объектов в аналогичных условиях, изучения геоморфологических и климатических условий, ландшафтной характеристики местности, природных процессов и явлений и других параметров. Эти показатели уточняют в процессе проектирования после проведения инженерных изысканий. При проектировании следует обеспечивать несущую способность грунтов и устойчивость земляного полотна железных дорог с учётом вибродинамического воздействия поездов, автомобильных дорог – с учетом динамического воздействия от автотранспорта [5].

Земляное полотно должно сохранять стабильность верхнего строения железнодорожного пути и работоспособность дорожной одежды автомобильной дороги с целью реализации заданного объёма перевозок с расчётной скоростью движения при минимальных дисконтируемых суммах строительных и эксплуатационных затрат, максимальном сохранении ценных земель и наименьшем ущербе природной среде. При этом надо учитывать сложные условия эксплуатации железной дороги и индивидуальные особенности пользователей автомобильной дороги.

Основные технические характеристики автомагистрали при совмещении дорог должны быть приняты примерно следующие: количество полос – не менее 4-х; ширина полосы движения – 3,75 м; разделительная полоса – 6 м; пересечения в разных уровнях; проектная ско-

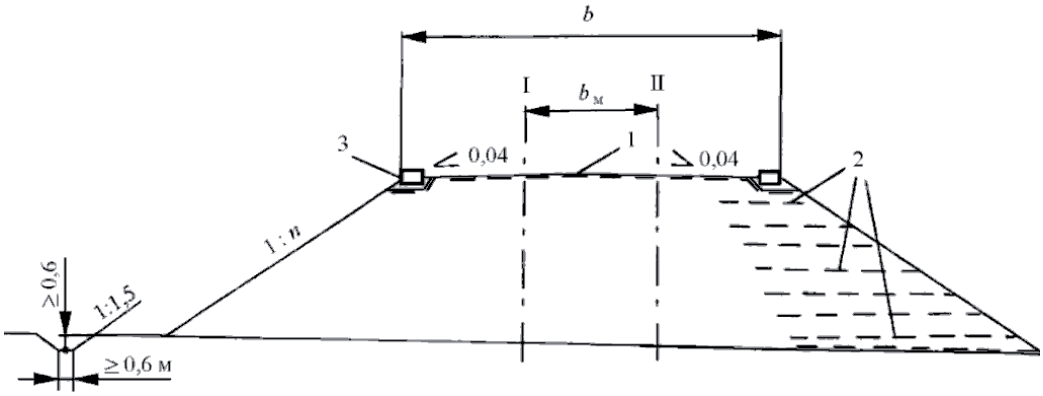



***Рис. 1. Поперечный профиль насыпи из дренирующих грунтов на прочном основании: 1 – нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 2 – геосетка из базальтоволокна в насыпи; 3 – лоток для кабелей.***

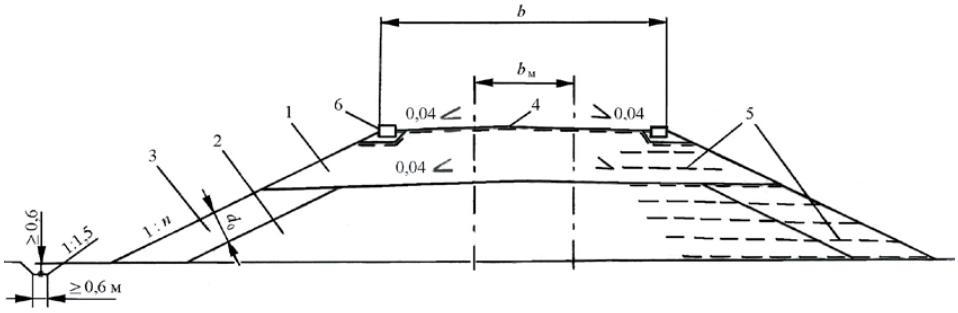



***Рис. 2. Поперечный профиль насыпи из глинистых грунтов на прочном основании: 1 – защитный слой; 2 – глинистые грунты; 3 – дренирующие грунты в откосной части; 4 – нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 5 – геосетка из базальтоволокна в насыпи; 6 – лоток для кабелей.***

рость – не менее 150 км/ч; нагрузка на наиболее нагруженную ось – 11,5 тс; интенсивность движения более – 7000 авт./сут.

Требования к составу и состоянию грунтов принимаются те же, что даны в СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» [7]. Коэффициент уплотнения грунта в рабочем слое земляного полотна должен быть принят 1–0,98. Те же требования, что и в СП 34.13330.2012, остаются для водоотводных сооружений. Водопропускные сооружения для отвода грунтовых вод, возможно, будет целесообразно предусматривать общие для автомобильной и железной дорог по специально разработанной методике.

Случаи типового и индивидуального проектирования автомобильных дорог должны быть взяты из СП 34.13330.2012. Методики проектирования могут использоваться, кроме того, из ГОСТ 33149–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях» [1]. В дополнение к ним стоит учесть последние научные разработки по оценке активной зоны сжатия, введению оценочных критериев начала сжатия грунтов в основании и фильтрации поровой воды.

Случаи использования групповых решений при проектировании железных дорог в сложных условиях и методики проектирования могут быть приняты из СП 119.13330.2012 «Железные дороги колеи 1520 мм» [8]. В дополнение к ним должны быть учтены заключения специалистов АО «ВНИИЖТ» по назначению конструкции земляного полотна железной дороги, требованиям к грунтам и материалам, по устройству защитного слоя, эффективность применения которых подтверждена отечественным и зарубежным опытом. Основные из них заключаются в следующем.

При проектировании земляного полотна высокоскоростных железнодорож-

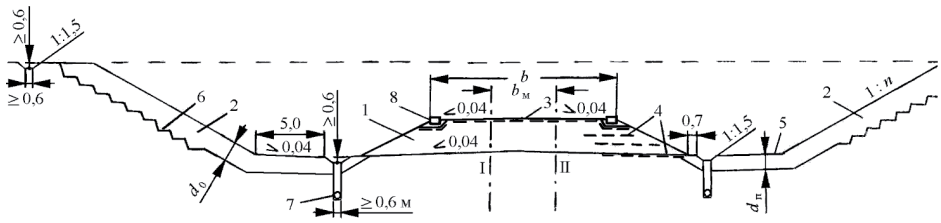



***Рис. 3. Поперечный профиль выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах на прочном основании: 1 – защитный слой; 2 – дренирующие грунты; 3 – нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 4 – геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 5 – закюветная полка; 6 – уступы в глинистом грунте откоса; 7 – подкюветный дренаж; 8 – лоток для кабелей.***

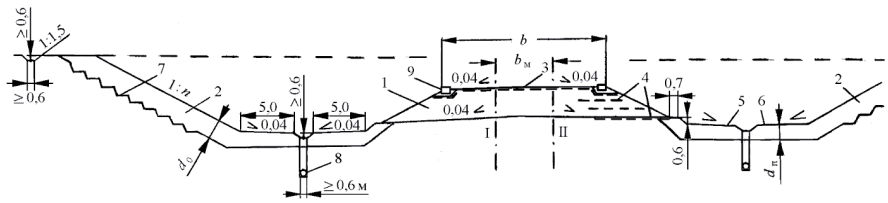



***Рис. 4. Поперечный профиль выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах при её разработке под насыпь: 1 – защитный слой; 2 – дренирующие грунты; 3 – нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 4 – геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 5 – предкюветная полка; 6 – закюветная полка; 7 – уступы в глинистом грунте откоса; 8 – подкюветный дренаж; 9 – лоток для кабелей.***

ных линий в расчётах следует принимать нагрузку от подвижного состава равной 294 кН (30 тс) на ось четырёхосного грузового вагона.

При высоте насыпей более 9 м и насыпей на болотах глубиной более 7 м следует предусматривать взамен насыпи эстакаду, а взамен выемок глубиной более 9 м – устройство тоннелей.

Отсыпку насыпи на болотах глубиной до 7 м, а также на сыром и мокром основании, устанавливаемом по степени увлажнения, следует проектировать из дренирующих грунтов с заменой грунтов в основании на эти грунты.

К дренирующим по условиям работы земляного полотна следует относить несвязные грунты, имеющие при максимальной плотности по стандартному уплотнению коэффициент фильтрации не менее 3,0 м/сут и содержание в гранулометрическом составе не более 10 % частиц размером менее 0,1 мм.

Насыпи высотой до 9 м включительно и выемки глубиной до 9 м и менее следует проектировать по групповым решениям.

Ширина земляного полотна поверху (основной площадки) должна быть $b$ = 15,5 м, ширина междупутья – $b_м$ = 5,5 м. Поверхности основной площадки необходимо придавать двусторонний уклон 0,04 от середины междупутья в сторону бровок земляного полотна.

Крутизну откосов насыпей следует принимать от 1:1,5 до 1:2 в зависимости от вида и состояния грунтов.

В верхней части земляного полотна из всех видов глинистых грунтов, а также на нулевых местах и в выемках, сложенных мелкими и пылеватыми песками, легковыветривающимися и выветривающимися скальными грунтами, необходимо предусматривать устройство защитного слоя. Этот слой устраивают на 0,5 м ниже максимальной прогнозируемой глубины промерзания-оттаивания толщиной не менее 2,5 м.

В защитном слое следует применять дренирующие грунты. При использовании песков в верхней части защитного слоя (на основной площадке) и на его откосах за исключением их нижней части высотой 0,8 м назначают укрепление этих песков. Крутизну откосов принимают равной 1:2. Стоит обратить внимание на то, что глинистые грунты под защитным слоем в выемках, на нулевых местах и насыпях также подлежат укреплению. Для

этого разработан и экспериментально испытан состав смеси [2]. Укрепляемые слои должны содержать смесь из 70 % песка среднего и 30 % суглинка, характеризуемого влажностью на границе текучести $w_L = 0{,}28$. Эту смесь в слое толщиной 0,4 м укрепляют жидкими и порошковыми добавками полифилизаторов соответственно в количестве 1,4 л/м$^3$ и 60 кг/м$^3$. Поверхности укрепленного грунта под каждым путем необходимо придавать уклон 0,04 в полевую сторону.

На основной площадке следует укладывать покрытие из нетканого материала массой не менее 500 г/м$^2$ поверх геосетки из базальтоволокна массой не менее 1000 г/м$^2$.

В защитном слое насыпи на всю ширину укладывают геосетку из базальтоволокна указанной массой через 1 м их высоты (рис. 1, 2).

Выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах, лессах, крупнообломочных грунтах с глинистым заполнителем, мелких и пылеватых песках рекомендуется проектировать с закюветными полками шириной 6 м (рис. 3).

Нулевые места и выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах следует разрабатывать под насыпь (рис. 4).

В откосных частях насыпи из глинистых грунтов нужно предусматривать устройство слоя из дренирующих грунтов (рис. 4). Толщина слоя этих грунтов должна составлять $d_о = 0{,}6 Z^{рд}_{пр-от}$, где $Z^{рд}_{пр-от}$ – расчётная глубина промерзания-оттаивания земляного полотна, сложенного дренирующими грунтами (по оси пути).

В откосных частях выемок, сложенных глинистыми грунтами и песками, предусматривается устройство слоя из дренирующих грунтов толщиной $d_о = 0{,}6 Z^{рд}_{пр-от}$ (см. рис. 3, 4).

Для обеспечения работоспособности земляного полотна необходимо грунты послойно уплотнять до коэффициента уплотнения 1,03.

Все перечисленные предложения, касающиеся особенностей проектирования совмещённых автомобильных и железных дорог (скоростных и высокоскоростных), несомненно, должны быть учтены при создании соответствующих нормативных документов. В многочисленных выступлениях ученых, специалистов, ведущих проектировщиков, руководителей федеральных территориальных управлений автомобильных дорог говорится об отсутствии таких документов.

В создании нормативной базы по проектированию и строительству высокоскоростных дорог Россия отстаёт от всего мира. Именно поэтому нужен качественный рывок в этом направлении. Требуется найти оптимальный путь включения предлагаемых рекомендаций в разрабатываемые сегодня как ОАО «Скоростные магистрали», так и Национальным объединением проектировщиков специальные технические условия и своды правил. При этом надо, не откладывая, организовать профессиональное обсуждение затронутых вопросов, в том числе с привлечением независимых экспертов.

## ЛИТЕРАТУРА


1. ГОСТ 33149–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях».
2. Дыдышко П. И., Воронина Н. Е., Суханов К. Н. и др. Укрепление основания безбалластного пути // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 23–27.
3. Кузахметова Э. К. Усовершенствование методологии прогноза осадки системы «сооружение-слабое основание» // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 6. – С. 16–21.
4. Кузахметова Э. К. Инновационный подход к индивидуальному проектированию инженерных сооружений в сложных природных условиях // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 11. – С. 26–30.
5. Кузахметова Э. К. Современные способы оценки состояния грунтов земляного полотна высокоскоростных дорог неразрушающими методами // Безопасность движения поездов: Сб. материалов XVI научно-практ. конференции. – М.: МИИТ, 2015. – С. 56–58.
6. Кузахметова Э. К., Григоренко Н. И. Поднятие научного уровня технического сопровождения проектирования, строительства и реконструкции инженерных сооружений // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 2–4 (23). – С. 64–65.
7. СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85*.
8. СП 119.13330.2012. «Железные дороги колеи 1520 мм». Актуализированная редакция СНиП 32–01–95.


Координаты авторов: **Дыдышко П. И.** – otdputi@mail.ru, **Кузахметова Э. К.** – mkonst39@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.10.2016, принята к публикации 17.01.2017.

# DESIGN OF HIGH-SPEED COMBINED MOTOR ROADS AND RAILWAYS

***Dydyshko, Petr I.,*** *JSC VNIIZhT, Moscow, Russia.*
***Kuzakhmetova, Emma K.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article considers the problems of construction of high-speed combined motor roads and railways in Russia. The design of these objects requires special attention, since the object itself is a complex transport system, each element of which requires increased operational reliability. Therefore when designing combined roads a full accounting of natural and man-made impacts on engineering structures is required. On the basis of the studies, recommendations are given on the methodology of design works and geological surveys, the question is raised about the need to update the accompanying legal framework.

*Keywords: high-speed combined roads, engineering and geological surveys, design, construction, highway, railway, transport system.*

**Background.** *Speed and high-speed railways and motor roads are among the progressive trends in the field of transport construction. The speed of movement of rolling stock on high-speed railways should be 200–400 km/h, on motor roads – more than 150 km/h.*

*In recent years, the experience has been obtained in construction of combined motor roads and railways. In order to improve the infrastructure in some cases, economically and technically, the combination of those types of roads is more appropriate than their separate existence. For example, the speed combined motor road and railway Adler–«Alpika-Service» (Krasnaya Polyana settlement) was the main transport artery of the 2014 Olympics. The designers took into account the peculiarities of the natural landscape and laid the railway and motor road in parallel. The carrying capacity of the rail line is 6 pairs of trains per hour with a speed of 160 km/h. The carrying capacity of the motor road is 11 000 buses/day with a speed of up to 100 km/h.*

*It is planned to combine the high-speed railway Moscow–Kazan with the toll highway M7. The federal M7 road is Moscow–Vladimir–Nizhny Novgorod–Kazan–Ufa highway. Its length is 1351 km. The management of JSC High-Speed Railways considers it expedient to combine these roads.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider and generalize under certain aspects approaches to design of high-speed combined motor roads and railways.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, scientific description.*

**Results.**

*The combined motor road and railway (speed or high-speed) is a complex transport system. Failure to take into account the conditions of one of its components in the design of a structure can lead to a disruption in operability of the entire system. Therefore, it is important to study the degree of influence of natural and technogenic impact on the behavior of structures [3, 4, 7]. To this end, it is necessary, as a minimum, to do the following:*

*– to assess the zone of dangerous geological processes for a motor road and a railway;*

*– to identify the vulnerabilities of man-made impact;*

*– to identify areas of typical and individual design of a motor road;*

*– to identify areas of group solutions and individual design of the railway;*

*– to identify the locations of the monitoring system for the dynamics of development of both natural and man-made processes.*

*The composition and volume of engineering surveys should be assigned taking into account the existing regulatory documents for motor roads and railways. However, scientific research in this direction and practical experience in the construction of combined roads (speed and high-speed) can make appropriate adjustments.*

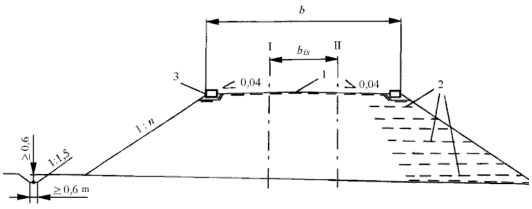
*The research carried out by JSC VNIIZhT makes it possible to give certain recommendations. When performing engineering and geological survey of railways under uncomplicated conditions and medium complexity, the depth of excavations (wells) should be assigned not less than 4 m below the estimated freezing depth of the roadbed. Ground base under the embankment must be traversed by excavations to a depth of at least 6 m. On each diameter the wells should be assigned to the axis of the tracks and in the middle part of the slopes.*

*To increase the accuracy and informative nature of the surveys, it is necessary to use georadar sounding (for example, «Loza» geoporadar) and electrocontact dynamic sounding*

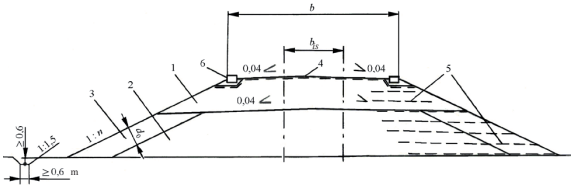
*The type and construction of the roadbed of high-speed railways and motor roads is designated in the feasibility study of their routes on the basis of the analysis of the state of objects under similar conditions, the study of geomorphological and climatic conditions, landscape characteristics of the terrain, natural processes and phenomena and other parameters. These indicators are specified in the design process after the engineering survey. When designing, it is necessary to ensure the load-bearing capacity of soils and the stability of the roadbed of railways, taking into account the vibrodynamic effect of trains, and roads – taking into account the dynamic impact from motor transport [5].*

*The roadbed should preserve the stability of the railway upper structure and the efficiency of the road pavement of the motor road in order to realize the specified volume of traffic with the estimated speed of traffic with minimum discounted amounts of construction and operating costs, maximum preservation of valuable land and least damage to the natural environment. At the same time, it is necessary to take into account the difficult conditions of operation of the railway and the individual characteristics of the motor road users.*

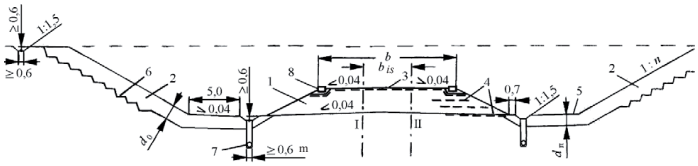
*The main technical characteristics of the highway when combining the roads should be taken approximately as follow: the number of lanes – not less than 4; the lane width – 3,75 m; separating strip – 6 m; intersections at different levels; design speed – not less than 150 km/h; the load on the most loaded axle –11,5 tf; the traffic intensity – more than 7000 cars/day.*




***Pic. 1. Transverse section of the embankment from draining soils on a solid base: 1 – non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 2 – geogrid from basalt fiber in the embankment; 3 – cable tray.***




***Pic. 2. Transverse section of the embankment from clay soils on a solid base: 1 – protective layer; 2 – clay soils; 3 – draining soil in the slope; 4 – non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 5 – geogrid from basalt fiber in the embankment; 6 – cable tray.***




***Pic. 3. Transverse section of the excavation, which is more than 4 m deep, in clay soils on a solid base: 1 – protective layer; 2 – draining soils; 3 – non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 – geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 – back slope; 6 – ledges in the clayey soil of the slope; 7 – back slope drainage; 8 – cable tray.***

*Requirements for the composition and condition of soils are the same as those given in SP 34.13330.2012 «Motor roads» [7]. Coefficient of soil compaction in the working layer of the roadbed should be taken as 1–0,98. The same requirements as in SP 34.13330.2012, remain for drainage facilities. It may be advisable to provide common culverts for groundwater abstraction for motor roads and railways using a specially developed method.*

*Cases of model and individual design of motor roads should be taken from SP 34.13330.2012. The design methods can be used, in addition, from GOST 33149–2014 «Motor roads of general use. Rules for designing motor roads in difficult conditions» [1]. In addition to them, it is worth taking into account the latest scientific developments on the evaluation of the active compression zone, the introduction of evaluation criteria for the beginning of soil compression at the base and filtration of pore water.*

*The cases of using group solutions in the design of railways under difficult conditions and the design methodology can be taken from SP 119.13330.2012 «Railways of 1520 mm gauge» [8]. In addition to them, the conclusions of VNIIZhT specialists should be taken into account for the purpose of the construction of the roadbed, the requirements for soil and materials, the construction of a protective layer, the effectiveness of which has been confirmed by domestic and foreign experience. The main ones are as follows.*

*When designing a roadbed of high-speed rail lines, the calculation should take the load from the rolling stock equal to 294 kN (30 tf) per axle of a four-axle freight car.*

*At a height of embankments of more than 9 m and embankments in bogs with a depth of more than 7 m, a bridge overpass should be provided in place of a embankment, and in place of excavations with a depth of more than 9 m – the construction of tunnels.*

*Embankment filling in bogs up to 7 m deep, as well as on a moist and wet basis, established by the degree of moistening, should be designed from draining soils with the substitution of soils in the base for these soils.*

*The draining soils, according to the work conditions of the roadbed, should include unconnected soils having a filtration coefficient of at least 3,0 m / day and a content in the granulometric composition of not more than 10 % of particles smaller than 0,1 mm at a maximum density according to standard compaction.*

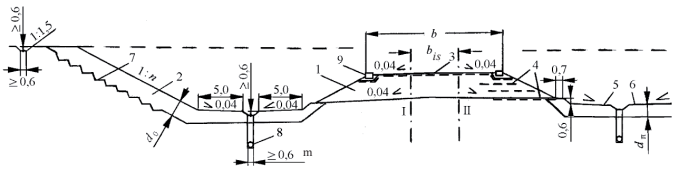
*Embankments up to 9 m in height and excavations up to 9 m in depth should be designed according to group solutions.*

*The width of the subgrade at the top (the main site) should be equal to b = 15,5 m, the width of the intertrack space – $b_{is}$ = 5,5 m. The surface of the main site should be given a bi-directional inclination of 0,04 from the middle of the intertrack space towards the pads of the roadbed.*

*The steepness of the embankment slopes should be taken from 1:1,5 to 1:2, depending on the type and condition of the soils.*

*In the upper part of the roadbed of all types of clayey soils, as well as in zero places and in excavations composed of small and silty sands, easily eroded and eroded rocky grounds, it is necessary to provide for the arrangement of a protective layer. This layer is arranged 0,5 m below the maximum predicted depth of freezing-thawing with a thickness of at least 2,5 m.*

*In the protective layer draining soils should be used. When using sands in the upper part of the protective layer (on the main site) and on its slopes, with the exception of their lower part, a height of 0,8 m, the strengthening of these sands is assigned. The steepness of the slopes is taken equal to 1:2. It should be noted that clay soils under the protective layer in the excavations, at zero places and embankments are also subject to strengthening. For this purpose, the composition of the mixture was developed and experimentally tested [2]. The reinforced layers should contain a mixture of 70 % medium sand and 30 % clay*




***Pic. 4. Transverse section of the excavation, which is up to 4 m deep, in clay soils when it is being developed under the embankment: 1 – protective layer; 2 – draining soils; 3 – non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 – geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 – pre-drain slope; 6 – back slope; 7 – ledges in the clayey soil of the slope; 8 – sub-drainage; 9 – cable tray.***

*loam, characterized by moisture at the yield point $w_L$ = 0,28. This mixture in a 0,4 m thick layer is strengthened with liquid and powder additives of polyfilizators, respectively, in an amount of 1,4 l/m³ and 60 kg/m³. The surface of the reinforced soil under each track should be given an inclination of 0,04 to the field side.*

*On the main site, a covering of non-woven material with a mass of not less than 500 g/m² should be laid on top of a geogrid of basaltic fiber with a mass of not less than 1000 g/m².*

*In the protective layer of the embankment, along the entire length geogrid is laid from the basalt fiber with the indicated mass after 1 m of their height (Pic. 1, 2).*

*Excavations of more than 4 m in depth in clayey soils, loess, coarse clastic soils with clay aggregate, fine and silty sands are recommended to be designed with back slopes 6 m wide (Pic. 3).*

*Zero sites and excavations with a depth of up to 4 m in clay soils should be developed under the embankment (Pic. 4).*

*In the sloping parts of the embankment from clay soils, it is necessary to envisage the arrangement of a layer of draining soils (Pic. 4). The thickness of the layer of these soils should be* $d_o = 0{,}6\,Z^{rd}_{fr-th}$*, where* $Z^{rd}_{fr-th}$ *is the calculated depth of freezing-thawing of the roadbed folded by draining soil (along the track axis).*

*In the sloping sections of excavations composed of clayey soils and sands, a layer of draining soils of thickness* $d_o = 0{,}6\,Z^{rd}_{fr-th}$ *is envisaged (see Pic. 3, 4). To ensure the performance of the roadbed, it is necessary to consolidate the soils layer by layer until the compaction factor is 1,03.*

**Conclusion.** *All the above proposals concerning the design features of combined motor roads and railways (speed and high-speed ones) should undoubtedly be taken into account when creating the relevant regulatory documents. Numerous reports by scientists, specialists, leading designers, heads of federal territorial roads mention the lack of such documents.*

*In creating a regulatory framework for the design and construction of high-speed roads, Russia has lagged behind many countries. That's why we need a qualitative leap in this direction. It is required to find the best way to incorporate the proposed recommendations into the technical conditions and codes of rules, which are currently being developed by JSC High-Speed Railways and National Association of Designers. At the same time, it is necessary, without delay, to organize a professional discussion of the issues raised, including with involvement of independent experts.*

## REFERENCES


1. GOST 33149–2014 «Motor roads of public use. Rules for designing motor roads in difficult conditions» [*GOST 33149–2014 «Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Pravila proektirovanija avtomobil'nyh dorog v slozhnyh uslovijah»*].

2. Dydyshko, P. I., Voronina, N. E., Sukhanov, K. N. *et al*. Strengthening the base of the ballastless track [*Ukreplenie osnovanija bezballastnogo puti*]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2015, Iss. 3, pp. 23–27.

3. Kuzakhmetova, E. K. Improvement of the forecasting methodology for settlement of the «construction-weak foundation» system [*Usovershenstvovanie metodologii prognoza osadki sistemy «sooruzhenie-slaboe osnovanie»*]. *Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov*, 2011, Iss. 6, pp. 16–21.

4. Kuzakhmetova, E. K. Innovative approach to the individual design of engineering structures in complex natural conditions [*Innovacionnyj podhod k individual'nomu proektirovaniju inzhenernyh sooruzhenij v slozhnyh prirodnyh uslovijah*]. *Put' i putevoe hozjajstvo*, 2010, Iss. 11, pp. 26–30.

5. Kuzakhmetova, E. K. Modern methods for assessing the condition of the soils of the roadbed of high-speed roads by non-destructive methods [*Sovremennye sposoby ocenki sostojanija gruntov zemljanogo polotna vysokoskorostnyh dorog nerazrushajushhimi metodami*]. Traffic Safety: Proceedings of XVI scientific and practical conference. Moscow, MIIT publ., 2015, pp. 56–58.

6. Kuzakhmetova, E. K., Grigorenko, N. I. Raising the scientific level of technical support for design, construction and reconstruction of engineering structures [*Podnjatie nauchnogo urovnja tehnicheskogo soprovozhdenija proektirovanija, stroitel'stva i rekonstrukcii inzhenernyh sooruzhenij*]. *Evrazijskij sojuz uchenyh*, 2016, Iss. 2–4 (23), pp. 64–65.

7. SP 34.13330.2012 «Motor roads». The updated version of SNiP 2.05.02–85* [*SP 34.13330.2012 «Avtomobil'nye dorogi». Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.05.02–85**].

8. SP 119.13330.2012 «Railways of 1520 mm gauge». The updated version of SNiP 32–01–95 [*SP 119.13330.2012. «Zheleznye dorogi kolei 1520 mm». Aktualizirovannaja redakcija SNiP 32–01–95*].



Information about the authors:
**Dydyshko, Petr I.** – D.Sc. (Eng), senior researcher of JSC VNIIZhT, Moscow, Russia, otdputi@mail.ru.
**Kuzakhmetova, Emma K.** – D.Sc. (Eng), professor at the department of Motor Roads, Aerodromes, Bases and Foundations of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, mkonst39@mail.ru.



Article received 16.10.2016, accepted 17.01.2017.

УДК 656.072.6

# Оценка удовлетворённости пассажиров услугами общественного транспорта

Олег ПОКУСАЕВ
Oleg N. POKUSAEV

Максим ОВСЯННИКОВ
Maxim L. OVSYANNIKOV

Артём ШАКЛЕИН
Artem G. SHAKLEIN

***Покусаев Олег Николаевич*** *– кандидат экономических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
***Овсянников Максим Львович*** *– студент МИИТ, Москва, Россия.*
***Шаклеин Артём Глебович*** *– студент МИИТ, Москва, Россия.*

**Evaluation of Passenger Satisfaction with Public Transport Services**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 168)*

***На основе существующих отечественных и европейских стандартов оценки качества в статье обосновываются подходы к совершенствованию работы общественного транспорта. Демонстрируется созданная авторами методика анализа факторов, влияющих на характеристики транспортного обслуживания населения и удовлетворённость пассажиров услугами пригородных электропоездов и метрополитена. Данные проведённых опросов позволяют аргументировать поэтапную схему повышения ожидаемого в системе обслуживания качества, которое достигается посредством осознанного качества, а то в свою очередь регулируется реализованным качеством. Уровень последнего определяет мера воздействия на эксплуатационные и инфраструктурные факторы.***

*Ключевые слова: общественный транспорт, пригородные электропоезда, метрополитен, качество обслуживания, удовлетворённость пассажиров.*

Привлекательность общественного транспорта во многом определяется уровнем комфорта поездки. Комфорт при этом обеспечивается не только использованием нового подвижного состава, но и организацией дорожного движения, созданием удобных пересадочных узлов, интеграцией различных видов транспорта в единую надёжно управляемую систему.

Обеспечение комфорта является базовым инструментом повышения качества транспортного обслуживания. Принято считать, что в городских условиях пассажиры как личного, так и общественного транспорта должны получать удовольствие от передвижения по территории проживания, время прибытия в пункт назначения должно быть предсказуемым, а сам транспорт – максимально удобным.

Для формирования направлений совершенствования работы общественного транспорта необходимо регулярно проводить мониторинг удовлетворённости пассажиров качеством оказываемых услуг.

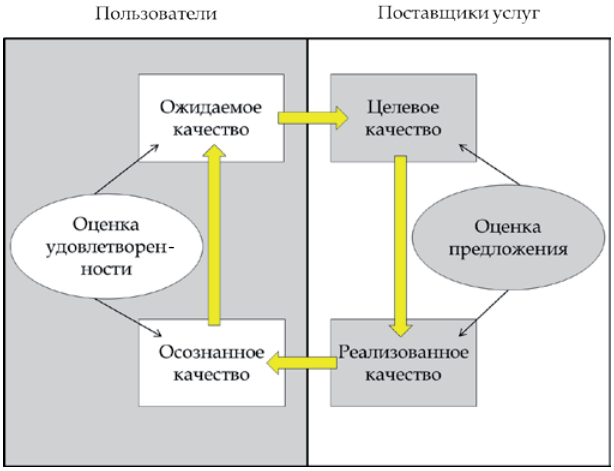



***Рис. 1. Петля качества.***

Авторами статьи разработана методика анализа факторов, влияющих на качество транспортного обслуживания населения и удовлетворённость пассажиров пригородных электропоездов и метрополитена, проведено маркетинговое исследование в этой сфере г. Москвы.

## 1.

Для начала стоит вспомнить некоторые определения, приведенные в СТО ОАО «РЖД» 1.04.001–2007 «Обслуживание пассажиров проводниками вагонов формирования Федеральной пассажирской дирекции. Требования к качеству обслуживания».

Качество обслуживания – это совокупность свойств и признаков предоставляемой услуги, характеризующих её особенность, полезность, способность удовлетворять потребности пассажира.

Комфорт поездки – совокупность удобств, благоустроенности и уюта в процессе поездки.

Удовлетворённость пассажира – восприятие пассажиром степени выполнения его потребностей.

Европейский стандарт оценки качества, принятый в 2002 году, базируется на методике так называемой «петли качества» (см. рис. 1).

Переменные, расположенные в прямоугольниках, поддаются измерению; разница между ожидаемыми и полученными услугами определяет степень удовлетворённости пассажиров качеством транспортного обслуживания.

Для оценки уровня удовлетворённости пассажиров можно применить формулу (1), основанную на принципах Европейского стандарта оценки качества:

$$У = (1 - (\frac{О-В}{10})) \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где У – индекс удовлетворённости пассажиров качеством обслуживания, %;

О – ожидаемое качество, от 1 до 10;

В – воспринятое качество, от 1 до 10.

Получаемый в этом случае показатель имеет ряд недостатков. Потенциальный пассажир все ещё ожидает получить услуги сравнительно низкого качества, основываясь на предположении, что общественный транспорт априори менее комфортен в сравнении с личным автотранспортом. Поэтому показатели ожидаемого и воспринятого качества не будут сильно разниться, а следовательно, и удовлетворённость будет высокой.

Например, по данным опроса, проведенного авторами на объектах пригородного железнодорожного транспорта в конце 2015 года, воспринятое качество по параметру «Время работы» было оценено на 7,7 из 10, а ожидаемое качество по тому же параметру – на 7,8 из 10. По формуле (1) индекс удовлетворённости 99 %, что означает почти полную удовлетворённость. Однако такой результат достигается не за счёт высоких показателей действительного качества, а за счёт небольшой разницы между оценкой воспринятого и ожидаемого качества. И главенствует тут, подчеркнем, показатель ожидаемого качества. Именно его следует увеличивать.

Повышение ожидаемого качества достигается через повышение осознанного каче-

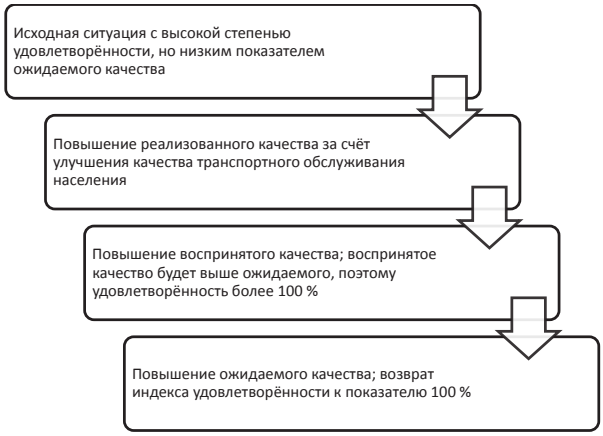



***Рис. 2. Поэтапная схема повышения ожидаемого качества.***

ства, которое регулируется реализованным качеством. Данное утверждение подкрепляет представленная поэтапная схема (рис. 2).

Для повышения реализованного качества нужно изменять существующие параметры работы общественного транспорта. Причем справедливым будет разделить все учитываемые факторы на два уровня:

1) эксплуатационные факторы, непосредственно влияющие на оценку пассажиром воспринятого качества и изменение которых не требует существенных капиталовложений;

2) инфраструктурные факторы, ограничивающие диапазон изменения эксплуатационных факторов: их коррекция требует значительных капиталовложений.

Это деление можно представить визуально (рис. 3).

К эксплуатационным факторам следует отнести, к примеру, частоту отправления поездов со станции, стоимость проезда, текущее техническое состояние подвижного состава, удобство расписания. Инфраструктурными факторами могут являться такие показатели, как количество главных путей, наличие современного подвижного состава, развитость маршрутной сети, техническое оснащение транспортно-пересадочных узлов, системы автоматики и телемеханики и т.п.

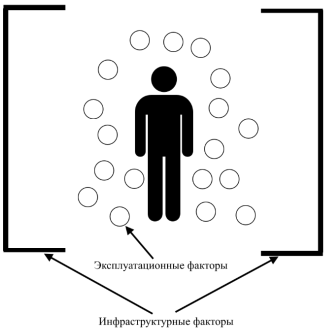



***Рис. 3. Эксплуатационные и инфраструктурные факторы.***

В существующих условиях воздействие на инфраструктурные факторы имеет смысл только в том случае, если ресурсы для изменения эксплуатационных факторов уже исчерпаны.

Очевидно, что эксплуатационные факторы могут быть изменены без больших затрат и в минимальные сроки. Естественно, это вызовет положительную реакцию пассажиров и повысит привлекательность общественного транспорта.

## 2.

Надо заметить, что в настоящее время пригородный железнодорожный транспорт по отдельным направлениям в Московском узле имеет существенные резервы для увеличения провозной способности в отличие от метрополитена, который работает на пределе приданных ему ресурсов, и увеличение провозной способности с одновременным снижением нагрузки на отдельные линии возможно только путем воздействия на инфраструктурные факторы. На рис. 4 представлена загрузка линий метрополитена на основе сравнения показателей фактической густоты и провозной способности каждой линии.

Как видно из представленной схемы, только две линии метрополитена – Сокольническая и Калужско-Рижская – име-

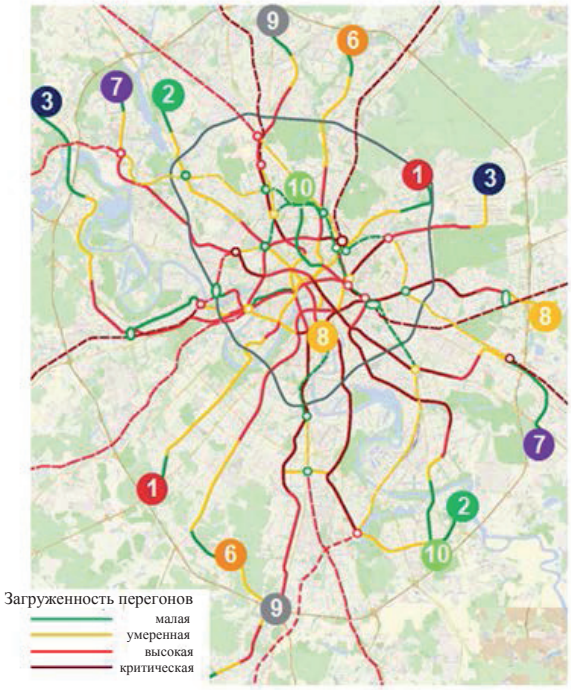



*Рис. 4. Загрузка линий метрополитена.*

| Линия | Фактическая густота тыс. пасс./час | Провозная способность тыс. пасс./час | Резерв +/ Дефицит -, % |
|---|---|---|---|
| 1 Сокольническая | 39,2 | 43,1 | +9 |
| 2 Замоскворецкая | 61,3 | 52,2 | -17 |
| 3 Арбатско-Покровская | 40,2 | 40,1 | 0 |
| 6 Калужско-Рижская | 48,5 | 52,2 | +7 |
| 7 Таганско-Краснопресненская | 73,7 | 52,2 | -41 |
| 8 Калининская | 57,3 | 46,7 | -23 |
| 9 Серпуховско-Тимирязевская | 64,9 | 50,5 | -29 |
| 10 Люблинская | 53,9 | 49,5 | -9 |

*При нормативной наполняемости 4,5 стоящих пассажира на м$^2$ площади салона.

ют резервы для привлечения дополнительного пассажиропотока, однако стоит отметить, что эти резервы ничтожно малы (до 10 % от провозной способности линии).

В наши дни для снижения нагрузки, например, на Кольцевую линию ведется строительство двух дублирующих веток — Третьего пересадочного контура и Московского центрального кольца. Они смогут принять на себя часть пассажиропотока с Кольцевой линии.

Нельзя отрицать, что системы пригородного железнодорожного транспорта и метрополитена могут взаимно дополнять друг друга. Это утверждение позволяет сделать вывод о том, что показатель одного из эксплуатационных факторов метрополитена — населенность вагонов поездов — поддается изменению за счёт реорганизации работы пригородного железнодорожного транспорта. Повышая надёжность и частоту движения пригородных электропоездов в черте города, можно добиться повышения привлекательности этого вида транспорта для городских жителей и тем самым перевести часть пассажиропотока с метрополитена.

Получается, что эксплуатационные факторы удастся изменить, определив наиболее значимые для среднестатистического пассажира параметры, влияющие на его удовлетворённость. При этом определение

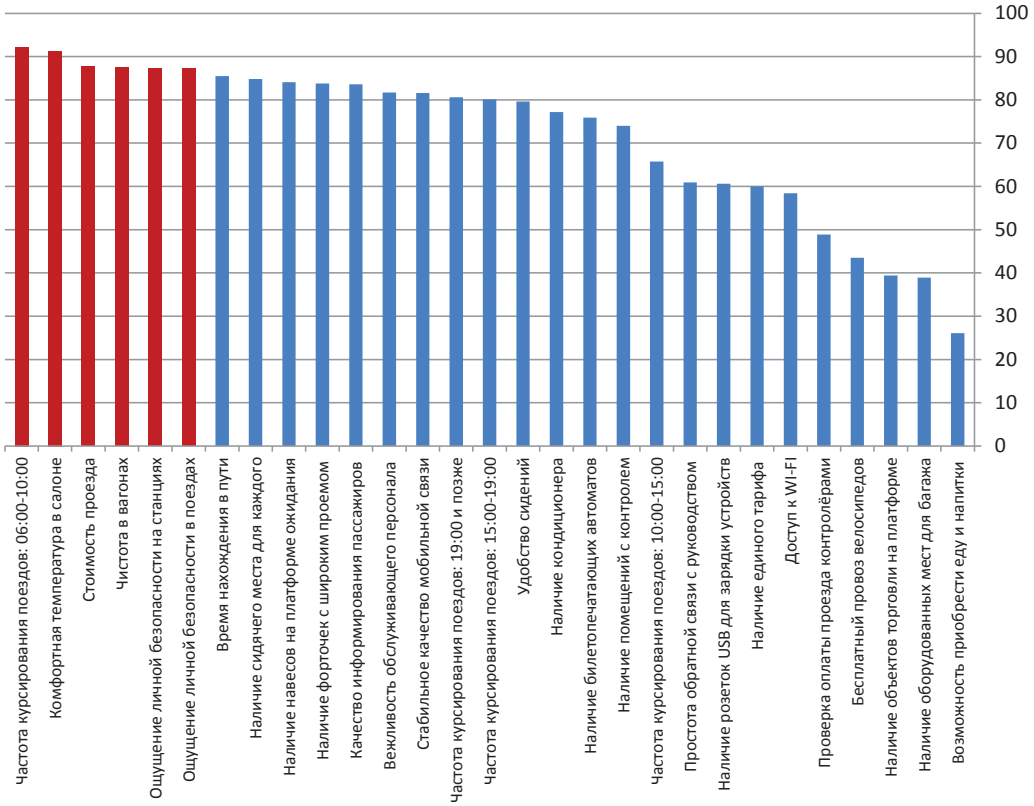



***Рис. 5. Значимость критериев для пассажира.***

факторов возможно путем сбора и анализа статистических данных.

По результатам обработки полученных в ходе полевых исследований данных были выявлены шесть наиболее важных критериев для пассажира (в порядке убывания значимости):

1) частота курсирования поездов: 06:00–10:00;

2) комфортная температура в салоне;

3) стоимость проезда;

4) чистота в вагонах ;

5) ощущение личной безопасности на станциях и остановочных пунктах;

6) ощущение личной безопасности в электропоездах.

Диаграмма значимости критериев для пассажира в порядке убывания представлена на рис. 5.

Также пассажирам предлагалось оценить качество работы системы пригородного железнодорожного транспорта по тому же перечню критериев. По результатам обработки полученных в ходе полевых исследований данных были выявлены пять критериев, оцененных пассажирами выше остальных (в порядке убывания):

1) частота курсирования поездов: 06:00–10:00;

2) наличие билетопечатающих автоматов на станциях и остановочных пунктах;

3) время нахождения в пути;

4) частота курсирования поездов: 15:00–19:00;

5) частота курсирования поездов: 19:00 и позже;

6) проверка оплаты проезда контролёрами.

Диаграмма оценки критериев приведена на рис. 6.

Пассажирам пригородного железнодорожного транспорта Москвы в первую очередь необходима высокая частота курсирования поездов в утренние часы-пик, и данный показатель оценен выше остальных. Однако остальные пять важных критериев получили оценки от 51,3 до 40,6 (по шкале от 1 до 100), что является крайне неудовлетворительным показателем работы системы. Кроме того, все пять критериев относятся к группе эксплуатационных факторов и не требуют значительных капиталовложений для изменения их состояния.

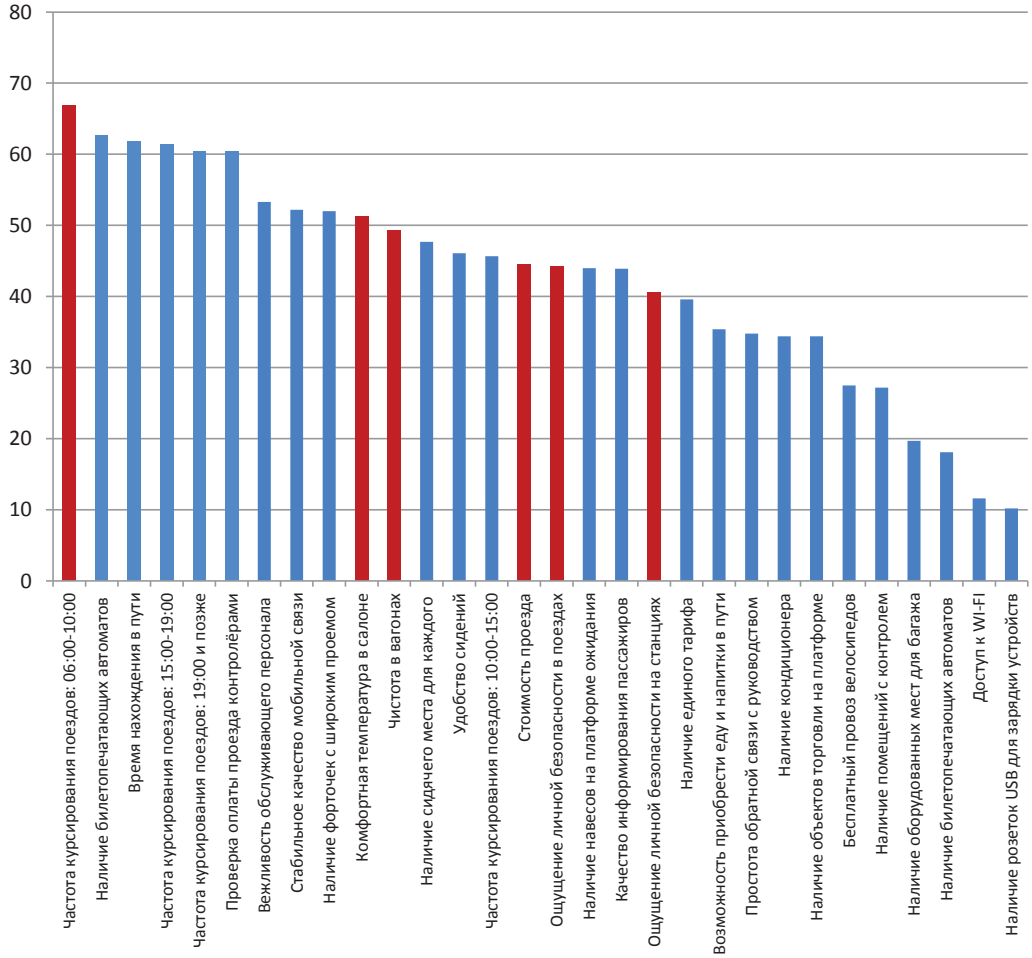



***Рис. 6. Оценка критериев.***

Для повышения удовлетворённости пассажиров и привлечения дополнительного пассажиропотока следует добиваться высокого качества оказываемых услуг, комфорта поездок в электропоездах, в том числе:

1) поддерживать в исправном состоянии системы вентилирования и кондиционирования воздуха в вагонах электропоездов;

2) чаще и тщательнее производить уборку подвижного состава;

3) проводить мероприятия по изменению тарифов на проезд;

4) усиливать меры по обеспечению безопасности пассажиров в салоне подвижного состава, а также на станциях и остановочных пунктах.

## 3.

Реализация предлагаемых мероприятий на пригородном железнодорожном транспорте положительно скажется и на работе Московского метрополитена, большинство линий которого перегружено.

В ходе проведенного авторами в конце 2015 года исследования был выявлен уровень удовлетворённости пассажиров работой метрополитена по отдельным факторам. Для измерения качества услуг использована методика SERVQUAL (service quality), апробированная в страховых компаниях, в сфере образования и медицины, банковском секторе, что, по нашему мнению, позволяет адаптировать методику для измерения и контроля качества транспортных услуг.

Факторы, подлежащие измерению, группируются вокруг следующих характеристик:

1) общее впечатление,

2) надёжность,

3) спокойствие,

4) дополнительные параметры.

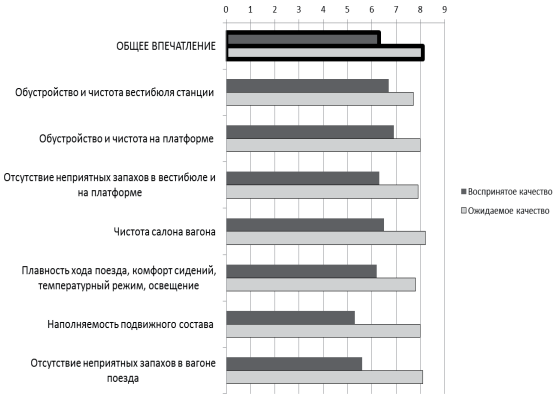



***Рис. 7. Диаграмма оценки ожидаемого и воспринятого качества группы «Общее впечатление».***

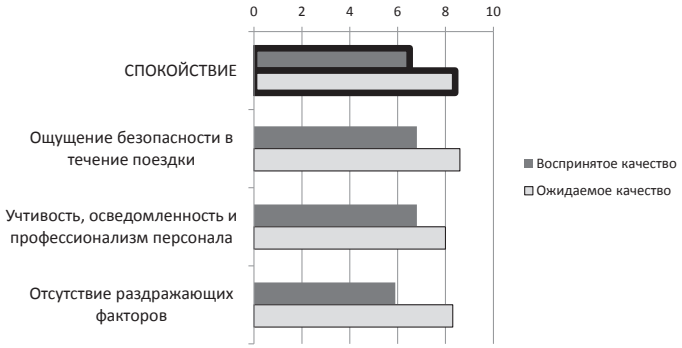



***Рис. 8. Диаграмма оценки ожидаемого и воспринятого качества группы «Спокойствие».***

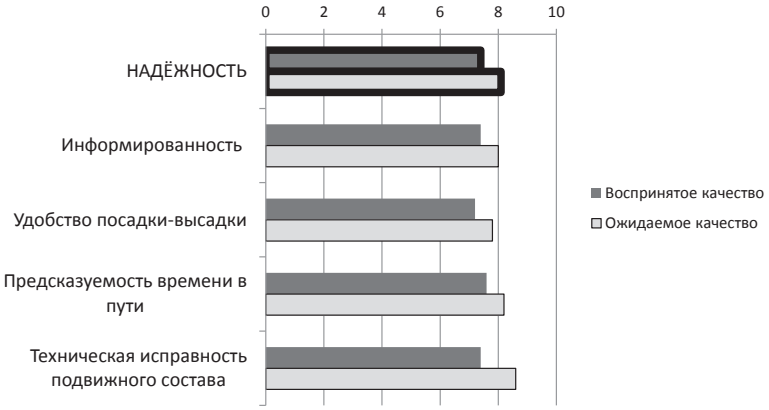



***Рис. 9. Диаграмма оценки ожидаемого и воспринятого качества группы «Надёжность».***

В целом индекс удовлетворённости оценивается высоко (в среднем – 87,5 %), однако две группы факторов – общее впечатление (индекс – 82 %) и спокойствие (81 %) – требуют особого внимания. Результаты оценки факторов этих двух групп приведены на рис. 7 и 8.

Результаты оценки факторов двух других групп («Надёжность» и «Другие параметры») на рис. 9 и 10.

Исходя из представленных данных, можно выделить три фактора, имеющих самый низкий уровень удовлетворённости (в порядке возрастания значения индекса):

1) наполняемость подвижного состава (У = 73 %);

2) отсутствие неприятных запахов в вагоне поезда (У = 75 %);

3) отсутствие раздражающих факторов (У = 76 %).

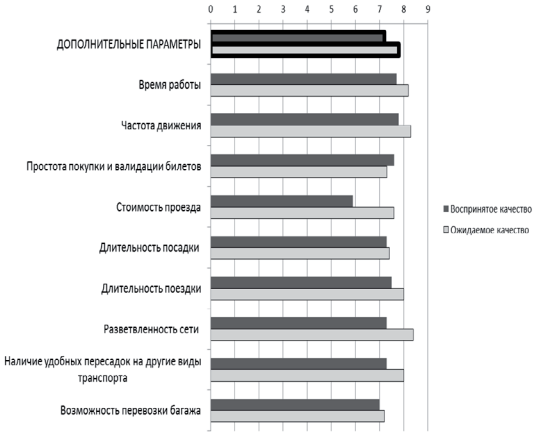



***Рис. 10. Диаграмма оценки ожидаемого и воспринятого качества группы «Другие параметры».***

Наполняемость подвижного состава можно регулировать, например, за счёт привлечения пассажиропотока с Московского метрополитена на пригородно-городской железнодорожный транспорт (электропоезда, курсирующие в черте г. Москвы).

Два других фактора отнесены к группе эксплуатационных и поддаются воздействию без значительных капиталовложений. В частности, целесообразно:

1) чаще и тщательнее производить уборку подвижного состава, прежде всего во время оборота составов на конечных станциях;

2) не допускать проезда пассажиров в пачкающей одежде и занимающихся попрошайничеством или несанкционированной торговлей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разумеется, нельзя отрицать неизбежность вложений в развитие пригородного железнодорожного транспорта и метрополитена города Москвы. В настоящее время введено в эксплуатацию Московское центральное кольцо, строятся дополнительные главные пути на головных участках некоторых направлений Московского железнодорожного узла, готовятся к сдаче первые участки Третьего пересадочного контура Московского метрополитена, регулярно обновляется подвижной состав.

Однако результаты исследования, с которыми знакомит статья, показали, что на текущем этапе повышение привлекательности общественного транспорта (в частности, пригородного железнодорожного транспорта и Московского метрополитена) следует обеспечивать преимущественно за счёт воздействия на эксплуатационные факторы, поскольку сегодня имеются ресурсы для повышения качества оказываемых услуг при минимальных затратах. И лишь в тех случаях, когда на эксплуатационные факторы воздействовать уже невозможно, целесообразно прибегать к модернизации инфраструктуры. Это принципиальный момент для стратегии управления столичным транспортным комплексом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M24.RU – Максим Ликсутов: «За многие инициативы я несу личную ответственность» // Сетевое издание М24 – Москва 24. [Электронный ресурс]: http://www.m24.ru/articles/105014. Доступ 30.11.2016.

2. СТО РЖД 1.04.001–2007.

3. European standard EN13816:2002 E. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/city/transportation/en-138162002_en. Доступ 30.11.2016.

4. Третий не лишний. Пересадочный контур построят в 2015 году // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. [Электронный ресурс]: http://old.stroi.mos.ru/articles/tretii-ne-lishnii-peresadochnyi-kontur-postroyat-v-2015-godu. Доступ 02.12.2016.

5. Barabino B., Deiana E., Tilocca P. «Measuring service quality in urban bus transport: a modified SERVQUAL approach», International Journal of Quality and Service Sciences, 2012, Vol. 4, Iss. 3, pp. 238–252.



Координаты авторов: **Покусаев О. Н.** – oleg@pokusaev.com, **Овсянников М. Л.** – ovs.maksim@gmail.com, **Шаклеин А. Г.** – artem.g.shaklein@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 30.11.2016, принята к публикации 13.02.2017.

# EVALUATION OF PASSENGER SATISFACTION WITH PUBLIC TRANSPORT SERVICES

***Pokusaev, Oleg N.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Ovsyannikov, Maxim L.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Shaklein, Artem G.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

Based on existing domestic and European standards of quality assessment, the article justifies the approaches to improving the work of public transport. The authors' method of analyzing factors, which affect the characteristics of the transport service of the population and the satisfaction of passengers with the services of suburban electric trains and the metro, is demonstrated. The data of the conducted surveys allow to argue a step-by-step scheme of improvement of the expected quality in the quality system, which is achieved through conscious quality, and that in turn is regulated by realized quality. The level of the latter is determined by the impact on operational and infrastructural factors.

*Keywords: public transport, suburban electric trains, underground, quality of service, passenger satisfaction.*

**Background.** *The attractiveness of public transport is largely determined by the level of comfort of a trip. Comfort at the same time is ensured not only by the use of new rolling stock, but by organization of traffic, creation of convenient interchange nodes, integration of various modes of transport into a single, securely managed system.*

*Providing comfort is a basic tool for improving the quality of transport services, it is considered that in urban conditions, passengers of both personal and public transport should enjoy the movement through the territory of residence, the time of arrival at the destination must be predictable, and the transport itself – as convenient as possible.*

*For formation of areas for improving the work of public transport, it is necessary to regularly monitor satisfaction of passengers with the quality of the services provided. The authors of the article developed a methodology for analyzing the factors affecting the quality of public transport services and the satisfaction of passengers of suburban electric trains and metro, and a marketing study of Moscow was conducted in this area.*

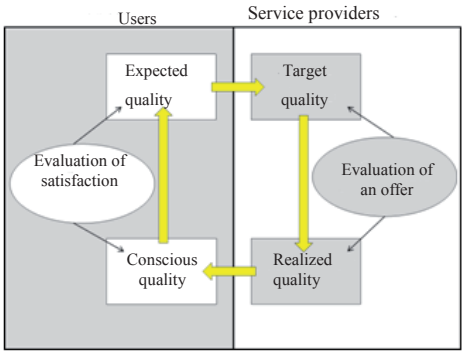
**Objective.** *The objective of the authors is to consider evaluation of passenger satisfaction with public transport services.*

**Methods.** *The authors use general scientific and economic methods, comparative analysis, statistical method, graph construction.*

**Results.**

**1.**

*To begin with, it is worth remembering some of the definitions given in the document of JSC Russian Railways 1.04.001–2007 «Servicing of passengers by conductors of cars of the Federal Passenger Directorate. Requirements for quality of service».*




***Pic. 1. Quality loop.***

*Quality of a service is a combination of properties and features of the service provided, characterizing its features, utility, ability to meet the needs of a passenger.*

*Comfort of a trip is a combination of comfort and coziness during a trip.*

*Satisfaction of a passenger is perception of a degree of fulfillment of his needs by a passenger.*

*The European quality assessment standard, adopted in 2002, is based on the so-called «quality loop» methodology (see Pic. 1).*

*Variables located in rectangles are measurable; the difference between the expected and received services determines the degree of satisfaction of passengers with the quality of transport services.*

*To assess the level of satisfaction of passengers, it is possible to apply a formula (1), based on the principles of the European quality assessment standard:*

$$S = (1 - (\frac{E-P}{10})) \bullet 100\%, \qquad (1)$$

*where S is passenger satisfaction index of the quality of service, %;*

*E is expected quality, from 1 to 10;*

*P is perceived quality, from 1 to 10.*

*The indicator obtained in this case has a number of shortcomings. A potential passenger is still waiting for services of a relatively low quality, based on the assumption that public transport is a priori less comfortable in comparison with personal vehicles. Therefore, the indicators of expected and perceived quality will not vary greatly, and, consequently, satisfaction will be high.*

*For example, according to a survey carried out by authors at suburban railway facilities at the end of 2015, the perceived quality for the parameter «Working time» was estimated at 7,7 out of 10, and the expected quality for the same parameter – by 7,8 out of 10. According to the formula (1), the satisfaction index is 99 %, which means almost complete satisfaction. However, such a result is achieved not at the expense of high indicators of real quality, but due to a small difference between the evaluation of perceived and expected quality. And, here, we emphasize, the indicator of the expected quality is dominant. It should be increased.*

*The increase in the expected quality is achieved through raising the conscious quality, which is regulated by the realized quality. This statement is supported by the presented step-by-step scheme (Pic. 2).*

*To improve the realized quality, it is necessary to change the existing parameters of the public transport operation. And it will be fair to divide all the factors considered into two levels:*

*1) operational factors directly affecting the passenger's assessment of the perceived quality and changing of which does not require significant capital investment;*

*2) infrastructure factors that limit the range of changes in operational factors: their correction requires significant capital investment.*

*This division can be visualized (Pic. 3).*

*Operational factors should include, for example, frequency of trains' departure from a station, cost of travel, current technical condition of rolling stock, convenience of a timetable. Infrastructure factors may include such indicators as the number of main tracks, availability of modern rolling stock, development of the route network, technical equipment of transport-interchange nodes, automation and telemechanics systems, and so on.*

*Under existing conditions, the impact on infrastructure factors makes sense only if the resources for changing operational factors have already been exhausted.*

*Obviously, operational factors can be changed without large costs and in minimum time. Naturally, this will cause a positive reaction of passengers and increase the attractiveness of public transport.*

**2.**

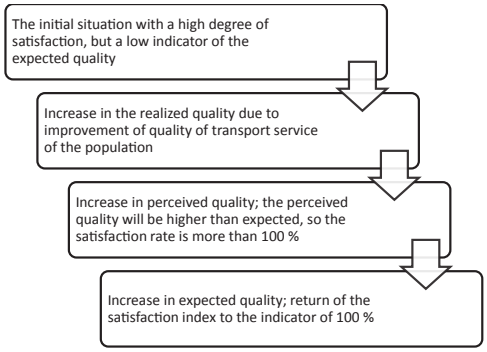
*It should be noted that at present the suburban railway transport in certain areas of Moscow node has significant reserves to increase carrying capacity, in contrast to the metro, which runs on the verge of assigned resources, and increase carrying capacity while reducing the load on individual lines is possible only by influence on infrastructure factors. Pic. 4 shows the load of metro lines by comparing the actual density and carrying capacity of each line.*

*As can be seen from the presented scheme, only two metro lines – Sokolnicheskaya and Kaluzhsko-Rizhskaya – have reserves for attracting additional passenger traffic, but it should be noted that these reserves are negligibly small (up to 10 % of the carrying capacity of the line).*

*Today, to reduce the load, for example, on Koltsevaya line two redundant branches are being built – the Third transfer loop and the Moscow Central Circle. They will be able to accept part of the passenger traffic from Koltsevaya Line.*

*It cannot be denied that the systems of suburban railway transport and metro can mutually complement each other. This statement allows us to conclude that the indicator of one of the operational factors of the metro – occupancy of train cars – can be changed due to reorganization of the work of suburban railway transport. Increasing reliability and frequency of suburban electric trains in the city, it is possible to increase the attractiveness of this type of transport for urban residents and thereby to transfer part of the passenger traffic from the metro.*

*It turns out that the operational factors can be changed by determining the parameters most important for an average passenger that affect his satisfaction. In this case, the determination of factors is possible by collecting and analyzing statistical data.*




***Pic. 2. A step-by-step scheme for improving the expected quality.***

*Based on the results of processing the data obtained during the field study, six most important criteria for a passenger were identified (in decreasing order of importance):*

*1) frequency of trains running: 06:00–10:00;*

*2) comfortable temperature in the cabin;*

*3) fare;*

*4) cleanliness in cars;*

*5) feeling of personal safety at stations and stopping points;*

*6) feeling of personal safety in electric trains.*

*The diagram of the significance of the criteria for a passenger in descending order is shown in Pic. 5.*

*Also, passengers were asked to evaluate the quality of the suburban railway transport system on the same list of criteria. Based on the results of the processing of the data obtained in the course of the field study, five criteria were identified that were rated by passengers above the others (in descending order):*

*1) frequency of trains running: 06:00–10:00;*

*2) presence of ticket-printing machines at stations and stopping points;*

*3) time spent in transit;*

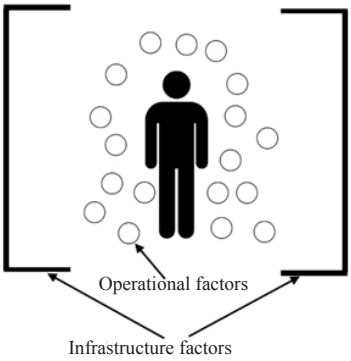
*4) frequency of trains running: 15:00–19:00;*

*5) frequency of trains running: 19:00 and later;*

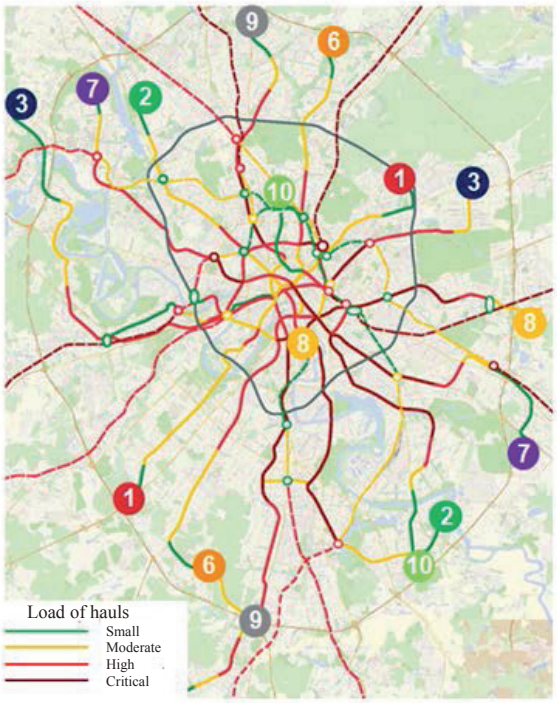
*6) check of payment of travel by inspectors.*

*The diagram of criteria evaluation is shown in Pic. 6.*

*Passengers of suburban railway transport in Moscow primarily need a high frequency of trains running in the morning peak hours, and this indicator is rated higher than the rest. However, the remaining five important criteria were graded from 51,3 to 40,6 (on a scale of 1 to 100), which is an extremely*




***Pic. 3. Operational and infrastructure factors.***




*Pic. 4. Load of metro lines.*

| Line | | Actual density, thous. pass/h | Carrying capacity*, thous. pass/h | Reserve +/ Deficit -, % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Sokolnicheskaya | 39,2 | 43,1 | +9 |
| 2 | Zamoskvoretskaya | 61,3 | 52,2 | -17 |
| 3 | Arbatsko-Pokrovskaya | 40,2 | 40,1 | 0 |
| 6 | Kaluzhsko-Rizhskaya | 48,5 | 52,2 | +7 |
| 7 | Tagansko-Krasnopresnenskaya | 73,7 | 52,2 | -41 |
| 8 | Kalininskaya | 57,3 | 46,7 | -23 |
| 9 | Serpukhovsko-Timiryazevskaya | 64,9 | 50,5 | -29 |
| 10 | Lyublinskaya | 53,9 | 49,5 | -9 |

*At standard occupancy rate of 4,5 standing passengers per $m^2$ of the cabin's area.

*unsatisfactory indicator of the system performance. In addition, all five criteria relate to the group of operational factors and do not require significant capital investments to change their condition.*

*To increase passenger satisfaction and attract additional passenger traffic, it is necessary to achieve high quality of services provided, comfort of trips in electric trains, including:*

*1) to maintain the ventilation and air conditioning systems in the cars of electric trains in good condition;*

*2) to clean the rolling stock more often and more thoroughly;*

*3) to carry out measures to change the fares;*

*4) to strengthen measures to ensure safety of passengers in the cabin of rolling stock, as well as at stations and stopping points.*

**3.**

*The implementation of the proposed measures on the suburban railway transport will positively affect the work of the Moscow Metro, most of the lines are overloaded.*

*In the course of the research conducted by the authors in late 2015, the level of satisfaction of passengers with the work of the metro was determined by certain factors. To measure the quality of services, the SERVQUAL method (service quality), tested in insurance companies, in education and medicine, in the banking sector was used, which, in our opinion, allows us to adapt the methodology for measuring and controlling the quality of transport services.*

*The factors to be measured are grouped around the following characteristics:*

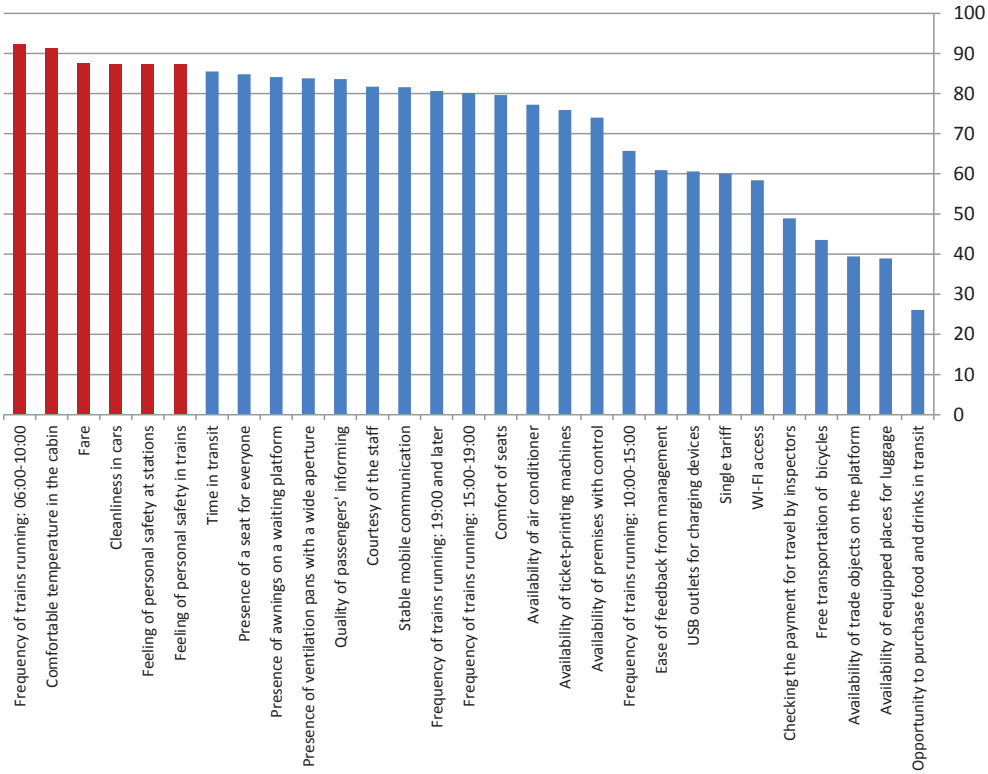
*1) general impression,*

*2) reliability,*

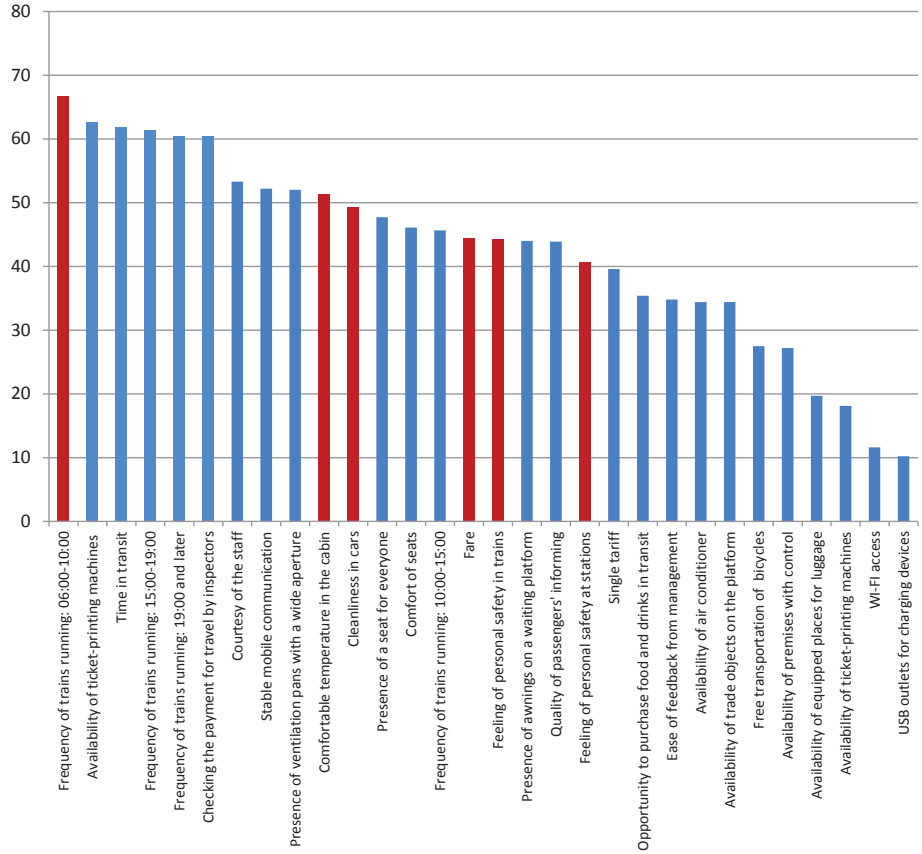
*3) calmness,*

*4) additional parameters.*

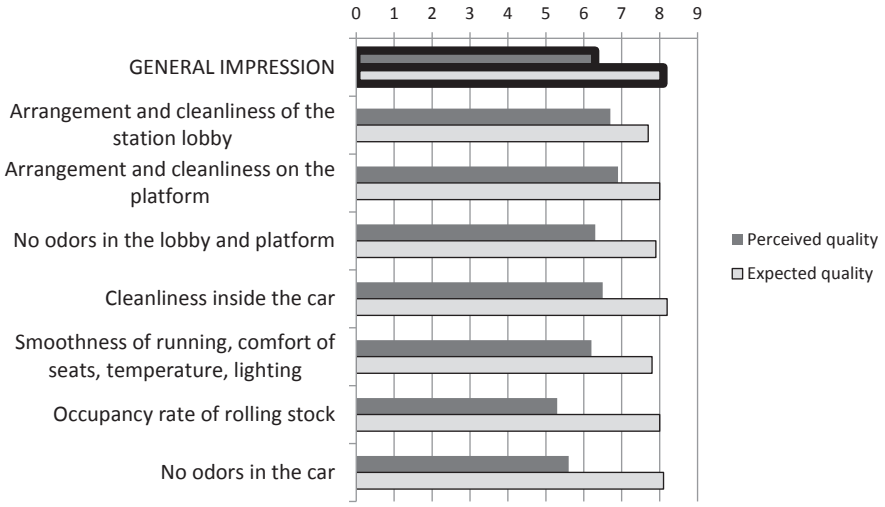
*In general, the satisfaction index is highly estimated (87,5 % on average), however, two groups of factors – general impression (index 82 %) and calmness (81 %) require special attention. The results of the evaluation of the factors of these two groups are shown in Pic. 7 and 8.*



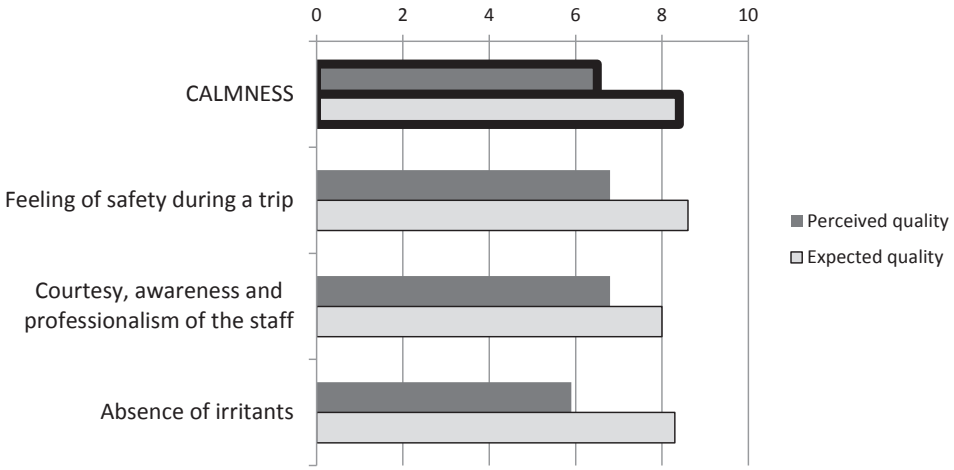

***Pic. 5. Significance of criteria for a passenger.***



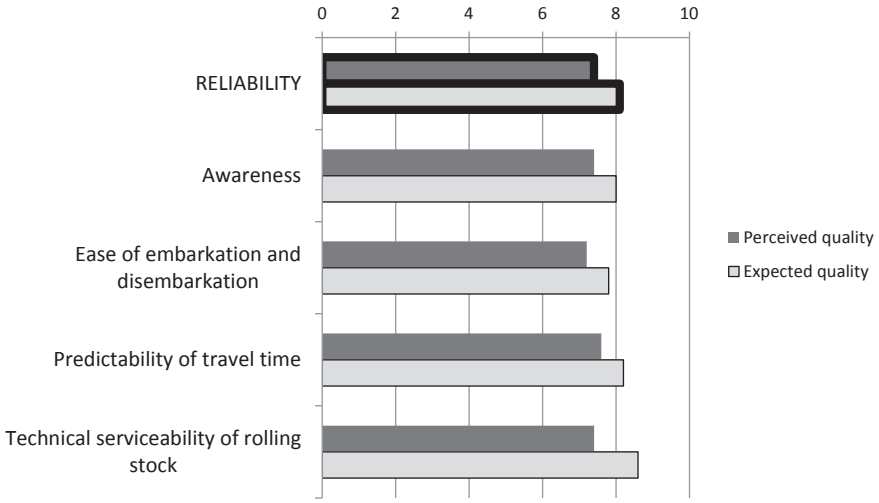

***Pic. 6. Evaluation of criteria.***



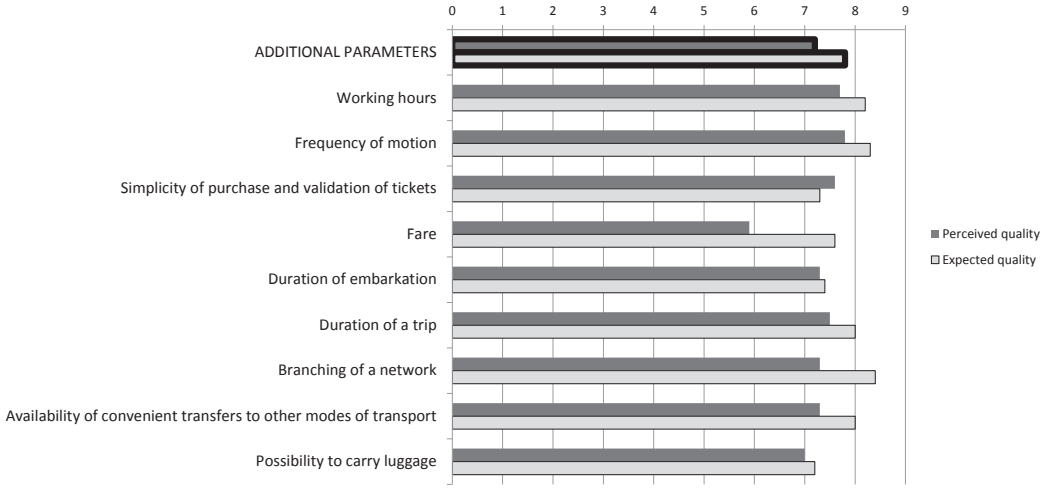

***Pic. 7. The diagram of evaluation of expected and perceived quality of the group «General impression».***




***Pic. 8. Diagram of evaluation of expected and perceived quality of the group «Calmness».***




***Pic. 9. Diagram of evaluation of expected and perceived quality of the group «Reliability».***




***Pic. 10. The diagram of evaluation of expected and perceived quality of the group «Other parameters».***

*The results of assessment of the factors of the other two groups («Reliability» and «Other parameters») are in Pic. 9 and 10.*

*Based on the data presented, we can distinguish three factors that have the lowest level of satisfaction (in order of increasing index values):*

*1) occupancy rate of the rolling stock (S = 73 %);*

*2) absence of unpleasant smells in the train car (S = 75 %);*

*3) absence of irritating factors (S = 76 %).*

*The occupancy rate of rolling stock can be regulated, for example, by attracting passenger traffic from the Moscow Metro to suburban and urban rail transport (electric trains running within Moscow).*

*Two other factors are assigned to the operational group and can be influenced without significant investment. In particular, it is advisable:*

*1) to clean the rolling stock more often and more thoroughly, especially during the turnover of trains at the final stations;*

*2) not to allow passengers to travel in dirty clothes and those who are engaged in begging or unauthorized trade.*

**Conclusion.** *Of course, one cannot deny the inevitability of investments in development of suburban railway transport and the Moscow Metro. Currently, the Moscow Central Circle is being put into operation, additional main tracks are being built on the head sections of some directions of the Moscow railway junction, the first sections of the Third transfer loop of Moscow Metro are being prepared for delivery, and the rolling stock is regularly renewed.*

*However, the results of the study, which the article acquaints with, showed that at the current stage the increase in the attractiveness of public transport (in particular, suburban railway transport and the Moscow Metro) should be provided mainly through the impact on operational factors, as today there are resources to improve the quality of services provided with minimum costs. And only in those cases when it is already impossible to influence operating factors, it is advisable to resort to modernization of the infrastructure. This is a fundamental moment for the strategy of managing the transport complex of the capital city.*

## REFERENCES

1. M24.RU – Maxim Liksutov: «For many initiatives, I bear personal responsibility». [*M24.RU – Maksim Liksutov: «Za mnogie iniciativy ja nesu lichnuju otvetstvennost'»*]. Network edition M24 – Moscow 24. [Electronic resource]: http://www.m24.ru/articles/105014. Last accessed 30.11.2016.

2. STO RZD1.04.001–2007 [*STO RZhD 1.04.001–2007*].

3. European standard EN13816:2002 E. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/eip/ageing/standards/city/transportation/en-138162002_en. Last accessed 30.11.2016.

4. The third is not superfluous. The transfer loop will be built in 2015 [*Tretij ne lishnij. Peresadochnyj kontur postrojat v 2015 godu*]. Complex of town-planning policy and construction of the city of Moscow. [Electronic resource]: http://old.stroi.mos.ru/articles/tretii-ne-lishnii-peresadochnyi-kontur-postroyat-v-2015-godu. Last accessed 02.12.2016.

5. Barabino, B., Deiana, E., Tilocca, P. Measuring service quality in urban bus transport: a modified SERVQUAL approach. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 2012, Vol. 4, Iss. 3, pp. 238–252.

Information about the authors:
**Pokusaev, Oleg N.** – Ph.D. (Economics), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, oleg@pokusaev.com.
**Ovsyannikov, Maxim L.** – student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, ovs.maksim@gmail.com.
**Shaklein, Artem G.** – student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, artem.g.shaklein@gmail.com.

Article received 30.11.2016, accepted 13.02.2017.

УДК 656.21

# Малодеятельные линии: состояние и варианты оптимизации

Сергей ВАКУЛЕНКО
Sergey P. VAKULENKO

Алексей КОЛИН
Alexey V. KOLIN

Надежда ЕВРЕЕНОВА
Nadezhda Yu. EVREENOVA

***Вакуленко Сергей Петрович*** *– кандидат технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
***Колин Алексей Валентинович*** *– начальник научного центра МИИТ, Москва, Россия.*
***Евреенова Надежда Юрьевна*** *– кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.*

**Low-Density Lines: State and Optimization Options**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 178)*

***Методология и методы проведённого исследования основываются на системном анализе и научном обобщении отечественного и зарубежного опыта эксплуатации и содержания малодеятельных железнодорожных линий. При этом оценивается не только текущее состояние в этой сфере перевозок, но и даются предложения по оптимизации процессов с использованием стратегий технического перевооружения, изменения технологий, стимулирования спроса за счёт организации новых видов сервиса, применения форм государственно-частного партнёрства.***

*Ключевые слова: стратегия управления, малодеятельные железнодорожные линии, рентабельная эксплуатация, грузовые и пассажирские перевозки, оптимизация, методология, дифференциация назначения.*

Решение проблемы эффективности использования малодеятельных железнодорожных линий (МДЖЛ) в условиях рыночной экономики одна из приоритетных задач, стоящая перед транспортной отраслью.

Протяженность МДЖЛ – 15353 км, что составляет около 18 % от всей сети железных дорог. Это однопутные линии, большая их часть не электрифицирована. Общие сведения о МДЖЛ представлены в таблице 1.

На сети ОАО «РЖД» малодеятельные линии расположены преимущественно в Европейской части России, там, где железнодорожная сеть имеет наибольшую густоту. Причём топология МДЖЛ не совпадает с основными векторами грузопотоков, которые обычно движутся в широтных направлениях. Ведь МДЖЛ чаще всего являются рокадами, соединяющими широтные направления, или тупиковыми их ответвлениями.

В то же время МДЖЛ обеспечивают связность и маневренность сети, повышая надёжность её работы в условиях возмож-

**Таблица 1**

**Общие сведения о МДЖЛ**

| № | Параметры | Показатели |
|---|---|---|
| 1 | Протяженность | 15353 км |
| 2 | Доля МДЖЛ от всей сети железных дорог | 18,2 % |
| 3 | Доля электрифицированных | 14 % |
| 4 | Доля неэлектрифицированных | 86 % |
| 5 | Доля однопутных | 100 % |
| 6 | Средняя протяженность | 55 км |
| 7 | Среднее число «ниток» поездов (всех категорий)<br>В т.ч. грузовых | 3,5 пары<br>2,1 пары |

**Таблица 2**

**Критерии отнесения железнодорожных линий к малодеятельным**

| № | Документ | Критерий |
|---|---|---|
| 1 | ФЗ «Устав железнодорожного транспорта», ПТЭ РФ | Невысокая грузонапряженность и низкая эффективность работы |
| 2 | Распоряжение ОАО «РЖД» «Об утверждении методики классификации и специализации железнодорожных линий» № 3048р от 23.12.2015 г. | Суммарные размеры движения пассажирских и грузовых поездов не более 8 пар в сутки |
| | | Приведенная грузонапряженность 5,0 млн т.км брутто/км в год и менее |

ных технологических сбоев, стихийных бедствий, при возникновении дефицита пропускных способностей в периоды реконструкции, модернизации основных магистральных линий и т.п.

Несмотря на то, что МДЖЛ являются слабо загруженными (в среднем 3,5 пары поездов на линию в сутки) и, следовательно, убыточными, к их содержанию предъявляются практически такие же требования, как и к магистральным.

До 2015 года отсутствовали единые критерии отнесения железнодорожных линий к малодеятельным. Ныне существующие критерии представлены в таблице 2.

Распределение средств сигнализации и связи на МДЖЛ в процентном соотношении иллюстрирует рис. 1.

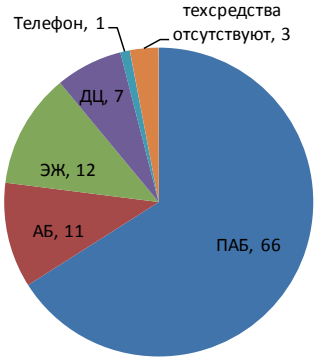



***Рис. 1. Оснащённость средствами сигнализации и связи, в % от общей протяжённости МДЖЛ. Условные обозначения: АБ – автоматическая блокировка; ПАБ – полуавтоматическая блокировка; ЭЖ – электрожезловая система; ДЦ – диспетчерская централизация.***

В качестве средств интервального регулирования, сигнализации и связи используются наиболее простые средства: полуавтоматическая блокировка (66 % от общей протяжённости), электрожезловая система (12 %), телефонные средства связи (7 %). Лишь на 11 % протяжённости линий применяется автоматическая блокировка и ещё на 7 % – диспетчерская централизация. Это свидетельствует о том, что большая часть существующих малодеятельных линий и в прошлом (20–30 лет назад) являлись таковыми.

Анализ зарубежного опыта позволил выделить основные тенденции в эксплуатации железнодорожных линий с малоинтенсивным движением [1–7]:

– применение спутниковой навигации для управления движением поездов, что приводит к отказу от значительной части напольного оборудования СЦБ, для которого необходимы дорогостоящие кабельные сети (рельсовые цепи и счётчики осей, светофоры, датчики точечной и непрерывной АЛС);

– автоматизация и телеуправление систем централизации;

– преобладание современных технологий (например, замена постового и напольного оборудования на микропроцессорную централизацию), что позволяет сократить обслуживающий персонал и в условиях высокого уровня европейской заработной платы достичь существенного экономического эффекта.

Способы повышения эффективности МДЖЛ, реализуемые в зарубежных странах, представлены в таблице 3.

Эксплуатация МДЖЛ в странах Европы обходится дорого, что обусловлено большим числом выполняемых вручную операций управления и потребностью в персонале для приёма и отправления поездов

Таблица 3

**Пути повышения эффективности работы участков малодеятельных железнодорожных линий**

| № п/п | Критерий | Пути повышения эффективности МДЖЛ | Страна |
|---|---|---|---|
| 1 | Правовой статус | Закрытие МДЖЛ и перевод перевозок на другие виды транспорта | Германия |
| | | Передача в частный сектор на конкурсной основе с ориентацией на интермодальные компании, выполняющие автомобильные и ж.д. перевозки | Нидерланды |
| | | Государственные программы реорганизации перевозок | США |
| | | Сдача части линий в аренду, продажа третьим лицам, изменение формы собственности; в отдельных случаях – закрытие | США |
| | | Переустройство МДЖЛ в автомобильные дороги | Швеция |
| | | Использование МДЖЛ для организации туристического сервиса | Великобритания, Швеция |
| 2 | Организация движения | Сокращение персонала, числа штатных единиц | Финляндия, Швеция, Эстония |
| | | Упрощение диспетчерской централизации | Германия |
| | | Применение спутниковой навигации для управления движением поездов | США, Румыния |
| 3 | Инфраструктура | Автоматизация и телеуправление, применение современных технологий управления (например, замена постового и напольного оборудования на микропроцессорную централизацию) | Швейцария |
| | | Улучшение состояния пути и электрификация участков | Швеция |
| 4 | Подвижной состав | Использование специального подвижного состава облегчённого типа | Германия, Швеция, Финляндия |
| 5 | Тарифы | Дифференцированный подход к формированию тарифов | Германия, Швеция |

на станциях. Сокращение затрат может быть достигнуто за счёт снижения потребности в персонале, уменьшения числа напольных сигналов и определения такого уровня технического оснащения МДЖЛ, который был бы достаточен для обеспечения безопасности.

Внедрение зарубежного опыта на сети ОАО «РЖД», на наш взгляд, целесообразно в части:

– организации туристического сервиса;

– сокращения персонала;

– использования специализированного подвижного состава облегчённого типа.

При оптимизации работы МДЖЛ могут быть применены следующие стратегии:

1) техническое перевооружение и изменение технологий, способствующих повышению эффективности за счёт сокращения убыточности линий в целом или их отдельных участков;

2) стимулирование спроса на перевозки за счёт организации новых видов сервиса (туристического и др.);

3) дотации федерального или регионального бюджетов, других юридических и физических лиц;

4) передача МДЖЛ или их отдельных участков в частную собственность либо в аренду на баланс заинтересованной стороны, а также использование иных форм государственно-частного партнёрства;

5) в исключительном случае, если никакие другие меры не способны повысить эффективность работы, при соответствующем обосновании – закрытие МДЖЛ или их отдельных участков.

В соответствии с предложенными стратегиями МДЖЛ можно разделить на несколько типов по функциям:

– *для коммерческих нужд* – прибыльные или потенциально прибыльные, а также те, в которых заинтересованы грузовладельцы, готовые сознательно пойти на увеличение собственных издержек (в связи с переводом МДЖЛ на их баланс) с целью сохранения рынков поставок и/или сбыта;

– *для удовлетворения социальных нужд* – с целью поддержания жизнедеятельности тяготеющих к МДЖЛ населённых пунктов;

– имеющие оборонное значение;

– не эксплуатируемые.

Варианты оптимизации функционирования МДЖЛ представлены в таблице 4.

**Таблица 4**

**Варианты оптимизации функционирования МДЖЛ (участков)**

| Рассматриваемый параметр | Типы МДЖЛ (участков) по выполняемым функциям | | | |
|---|---|---|---|---|
| | для социальных нужд | для коммерческих нужд | для федеральных государственных нужд (оборонная функция) | не эксплуатируемые |
| Возможное заинтересованное лицо/источник финансирования | Федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов РФ, органы местного самоуправления | ОАО «РЖД», коммерческие организации (промышленные предприятия) | Федеральные органы исполнительной власти | ОАО «РЖД» |
| Пример | Новгород–Новолисино, Ледмозеро 1–Юшкозеро (Октябрьская железная дорога) | Канзыба–разъезд 557 (Красноярская железная дорога) | Ильино–Фролищи (Горьковская железная дорога) | Сошно–Валутино (Московская железная дорога) |
| Возможные варианты стратегии оптимизации функционирования | 1, 2, 3, 4 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3, 4, 5 | 1, 2, 3, 5 |

Наиболее логична форма поддержки линий для социальных нужд – обоснование дотирования из регионального или федерального бюджетов.

Проведённый анализ существующей технологии работы МДЖЛ позволил выделить основные направления повышения эффективности их работы.

В области сокращения издержек:

• подвижной состав – перевод МДЖЛ на обслуживание рельсовыми автобусами, в т.ч. на комбинированном ходу, и переход на локомотивы малой мощности;

• организация движения – совмещение профессий и должностей, внедрение системы обслуживания мобильными бригадами, применение технологии «одиночный локомотив» (один поезд на участке);

• обслуживание инфраструктуры – совмещение профессий и должностей, сокращение видов и периодичности осмотров, выполнение работ по фактическому состоянию.

В области повышения доходов:

• организация туристического сервиса, включая выделение отдельных МДЖЛ под его организацию при сохранении социальных функций линии по обслуживанию населённых пунктов. В качестве пилотного проекта возможна линия Бологое–Великие Луки (с ответвлением на Торжок), имеющая удачное расположение – близко к Москве и Санкт-Петербургу, в зоне тяготения которой расположены популярные туристические объекты (озеро Селигер и др.);

• увеличение интенсивности движения пригородных поездов с использованием автобусов на комбинированном ходу.

## ВЫВОДЫ

В исследовании проведен анализ отечественного и зарубежного опыта эксплуатации железнодорожных линий с малоинтенсивным движением, даны предложения по оптимизации содержания и текущего технического обслуживания малодеятельных участков.

С учётом используемых стратегий акцент сделан на дифференциации функционального назначения линий, эффективности организации движения, рельсового подвижного состава и обслуживания инфраструктуры.

## ЛИТЕРАТУРА


1. SATLOC – система управления движением поездов на базе спутниковой навигации для малодеятельных линий / Barbu G. // Железные дороги мира.– 2014.– № 6.– С. 63–67.
2. Управление движением поездов на малодеятельных линиях в Финляндии // Железные дороги мира.– 2004.– № 7.– С. 54–58.
3. Автоматизация малодеятельной железнодорожной линии Берн–Люцерн (Швейцария) // Железные дороги мира.– 2004.– № 10.– С. 76–77.
4. Grant S. The 2007 Beeching Report – a preview // Modern Railways.– 2006.– Vol. 63, № 694.– Pp. 36–39.
5. Ingels P.-E. Cost-effective train control on low-density lines // Railway Gazette International.– 2010.– № 6.– Pp. 40–44.
6. Westerfield M. Le fret de proximité débarque outre-Manch // Le Rail.– 2010.– № 168.– Pp. 16–19.
7. Железные дороги США: особенности грузовых и пассажирских перевозок / E. Gärtner // Железные дороги мира.– 2007.– № 4.– С. 9–32.




Координаты авторов: **Вакуленко С. П.** – k-gdsu@mail.ru, **Колин А. В.** – alex5959@yandex.ru, **Евреенова Н. Ю.** – nevreenova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.01.2017, принята к публикации 14.04.2017.

# LOW-DENSITY LINES: STATE AND OPTIMIZATION OPTIONS

***Vakulenko, Sergey P.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Kolin, Alexey V.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Evreenova, Nadezhda Yu.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The methodology and methods of the conducted research are based on the system analysis and scientific generalization of domestic and foreign experience in operation and maintenance of low-density railway lines. At the same time, not only the current state in this sphere of transportation is evaluated, but also suggestions are made with regard to optimizing processes using technical re-equipment strategies, changing technologies, stimulating demand through organization of new types of service, and use of forms of public-private partnership.

*Keywords: management strategy, low-density railway lines, cost-effective operation, freight and passenger transportation, optimization, methodology, differentiation of destination.*

**Background.** *The solution of the problem of the efficiency of using low-density railway lines (LDRL) in a market economy is one of the priority tasks, which the transport industry is facing.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider main issues concerning operation and optimization of low-density railway lines.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, scientific description.*

**Results.** *The length of LDRL is 15 353 km, which is about 18 % of the entire network of railways. These are single-track lines, most of them are not electrified. General information on LDRL is presented in Table 1.*

*On the network of JSC Russian Railways, low-density lines are located mainly in the European part of Russia, where the railway network has the greatest density. Moreover, the topology of LDRL does not coincide with the main vectors of cargo flows, which usually move in latitudinal directions. After all, LDRL are often lateral roads that connect latitudinal directions, or are their dead ends.*

*At the same time, LDRL provide connectivity and maneuverability of the network, increasing reliability of its operation in the event of possible technological failures, natural disasters, when there is a shortage of capacity during the periods of reconstruction, modernization of the main lines, etc.*

*Despite the fact that LDRL are low-loaded (an average of 3,5 pairs of trains per line per day) and, therefore, unprofitable, almost the same requirements are imposed on their maintenance as to the main lines.*

*Until 2015, there were no uniform criteria for classifying railway lines as low-density. The current criteria are presented in Table 2.*

*The distribution of signaling and communication facilities on LDRL as a percentage is illustrated in Pic. 1.*

*As the means of interval regulation, signaling and communication, the simplest means are used: semi-automatic blocking (66 % of the total length), electric-token system (12 %), telephone communication (7 %). Only on 11 % of the length of the lines automatic blocking and on another 7 % centralized traffic control are used. This indicates that most of the existing low-density lines were the same in the past (20–30 years ago).*

*Analysis of foreign experience allowed to identify the main trends in the operation of rail lines with low-intensity traffic [1–7]:*

**Table 1**

**General information about LDRL**

| № | Parameters | Indicators |
|---|---|---|
| 1 | Length | 15353 km |
| 2 | Share of LDRL from the whole rail network | 18,2 % |
| 3 | Share of electrified | 14 % |
| 4 | Share of non-electrified | 86 % |
| 5 | Share of single-track | 100 % |
| 6 | Average length | 55 km |
| 7 | Average number of «threads» of trains (of all categories)<br>Including freight | 3,5 pairs<br>2,1 pairs |

**Table 2**

**Criteria for classifying railway lines as low-density**

| № | Document | Criterion |
|---|---|---|
| 1 | «Charter of Railway Transport», Operation rules of the Russian Federation | Low freight traffic and poor performance |
| 2 | Order of JSC Russian Railways «On approving the methodology of classification and specialization of railway lines» No. 3048r dated December 23, 2015. | Total volume of movement of passenger and freight trains no more than 8 pairs per day |
| | | Reduced load intensity<br>5,0 million t • km gross / km per year and less |

Table 3

**Ways to improve the efficiency of sections of low-density railway lines**

| № | Criterion | Ways to improve efficiency of LDRL | Country |
|---|---|---|---|
| 1 | Legal status | Closing of LDRL and transition of transportation to other types | Germany |
| | | Transfer to the private sector on a competitive basis with a focus on intermodal companies that perform road and rail transportation | Netherlands |
| | | State programs for transportation reorganization | USA |
| | | Delivery of a part of the lines for rent, sale to third parties, change in the form of ownership; in some cases – closure | USA |
| | | Rearrangement of LDRL into motor roads | Sweden |
| | | Use of LDRL for organization of tourism services | Great Britain, Sweden |
| 2 | Traffic organization | Reduction of staff, number of positions | Finland, Sweden, Estonia |
| | | Simplification of centralized traffic control | Germany |
| | | Use of satellite navigation to control train movement | USA, Romania |
| 3 | Infrastructure | Automation and telecontrol, application of modern control technologies (for example, replacement of post and floor equipment with microprocessor centralization) | Switzerland |
| | | Improvement of track state and electrification of sections | Sweden |
| 4 | Rolling stock | Use of special light-weight rolling stock | Germany, Sweden, Finland |
| 5 | Tariffs | Differentiated approach to formation of tariffs | Germany, Sweden |

*– use of satellite navigation to control the movement of trains, which leads to abandonment of a significant part of the outdoor equipment of the signalling and blocking division, which requires expensive cable networks (rail chains and axle counters, traffic lights, point and continuous ALS sensors);*

*– automation and telecontrol of centralization systems;*

*– prevalence of modern technologies (for example, replacement of post and floor equipment with microprocessor centralization), which allows reducing the staff and in the conditions of a high level of European wages to achieve a significant economic effect.*

*Methods of increasing the effectiveness of LDRL, implemented in foreign countries, are presented in Table 3.*

*The operation of LDRL in Europe is expensive, due to a large number of manual operations and the need for staff to receive and send trains at stations. Cost reductions can be achieved by reducing the need for staff, reducing the number of floor signals and determining the level of technical equipping LDRL that would be sufficient to ensure safety.*

*The introduction of foreign experience on the network of JSC Russian Railways, in our opinion, is advisable in the part of:*

*– organization of tourist service;*

*– staff reduction;*

*– use of a specialized rolling stock of a lightweight type.*

*When optimizing the work of LDRL, the following strategies can be applied:*

*1) technical re-equipment and changes in technologies that increase efficiency by reducing the loss ratio of the lines as a whole or their individual sections;*

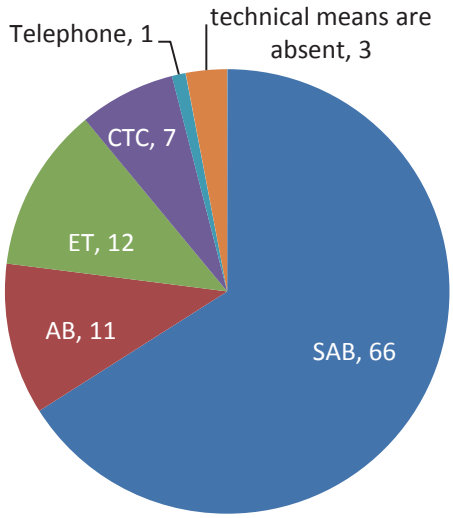
*2) stimulation of demand for transportation through the organization of new types of services (tourism, etc.);*

*3) subsidies of federal or regional budgets, other legal entities and individuals;*

*4) transfer of LDRL or their individual sections to private ownership or lease to the balance of the party concerned, as well as the use of other forms of public-private partnership;*

*5) in the exceptional case, if no other measures are capable of increasing the efficiency of the work, with the appropriate justification, the closure of LDRL or their individual sections.*

*In accordance with the proposed strategies, LDRL can be divided into several types according to functions:*




***Legend: AB – automatic blocking; SAB – semi-automatic blocking; ET – an electric token system; CTC – centralized traffic control.***

***Pic. 1. Equipment with means of signaling and communication, in % of the total length of LDRL.***

Table 4

**Options for optimizing the functioning of LDRL (sections)**

| Parameter under consideration | Types of LDRL (sections) by the functions performed | | | |
|---|---|---|---|---|
| | for social needs | for commercial needs | for federal state needs (defense function) | non exploited |
| Possible interested person/source of funding | Federal executive bodies, executive bodies of the subjects of the Russian Federation, municipal authorities | JSC Russian Railways, commercial organizations (industrial enterprises) | Federal executive bodies | JSC Russian Railways |
| Example | Novgorod–Novolisino, Ledmozero 1–Yushkozero (October Railway) | Kanzyba–halt 557 (Krasnoyarsk Railway) | Iliyno–Frolischi (Gorky Railway) | Soshno–Valutino (Moscow Railway) |
| Possible options of functioning optimization strategy | 1, 2, 3, 4 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3, 4, 5 | 1, 2, 3, 5 |

*– for commercial purposes – profitable or potentially profitable, as well as those in which cargo owners are interested, willing to consciously go to increase their own costs (in connection with the transfer of LDRL to their balance) in order to preserve the markets for supply and/or sale;*

*– to meet social needs – with a view to supporting the vital activities of population centers gravitating towards LDRL;*

*– having a defensive significance;*

*– not exploited.*

*The options for optimizing the functioning of LDRL are presented in Table 4.*

*The most logical form of supporting lines for social needs is the justification of subsidies from the regional or federal budgets.*

*The analysis of the existing technology of the work of LDRL has made it possible to identify the main directions for increasing the efficiency of their work.*

*In the field of cost reduction:*

*• rolling stock – transfer of LDRL for maintenance by rail buses, incl. on the combined run, and transition to low power locomotives;*

*• organization of traffic – combination of professions and positions, introduction of a mobile crew service system, application of the «single locomotive» technology (one train on a section);*

*• maintenance of infrastructure – combination of professions and positions, reduction of types and frequency of inspections, performance of works according to the actual state.*

*In the field of increasing incomes:*

*• organization of tourist services, including allocation of individual LDRL for its organization while preserving the social functions of the line for human settlements service. As a pilot project, Bologoe–Velikie Luki line (with a branch to Torzhok), which has a favorable location, is close to Moscow and St. Petersburg, in the zone of attraction of which are located popular tourist sites (Lake Seliger and others);*

*• increase in traffic intensity of suburban trains using buses on a combined run.*

**Conclusions.** *The analysis of domestic and foreign experience of operation of railway lines with low-intensity traffic has been carried out, offers have been made for optimizing maintenance and current maintenance of low-density sections.*

*Taking into account the strategies used, emphasis is placed on differentiation of the functional designation of the lines, the efficiency of the traffic organization, the rolling stock and the maintenance of the infrastructure.*

## REFERENCES


1. Barbu, G. SATLOC – a system for train traffic control based on satellite navigation for low-density lines [*SATLOC – sistema upravlenija dvizheniem poezdov na baze sputnikovoj navigacii dlja malodejatel'nyh linij*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2014, Iss. 6, pp. 63–67.
2. Train traffic control on low-density lines in Finland [*Upravlenie dvizheniem poezdov na malodejatel'nyh linijah v Finljandii*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2004, Iss. 7, pp. 54–58.
3. Automation of low-density railway line Bern–Lucerne (Switzerland) [*Avtomatizacija malodejatel'noj zheleznodorozhnoj linii Bern–Ljucern (Shvejcarija)*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2004, Iss. 10, pp. 76–77.
4. Grant, S. The 2007 Beeching Report – a preview. *Modern Railways*, 2006, Vol. 63, № 694, pp. 36–39.
5. Ingels, P.-E. Cost-effective train control on low-density lines. *Railway Gazette International*, 2010, № 6, pp. 40–44.
6. Westerfield, M. Le fret de proximité débarque outre-Manch. *Le Rail*, 2010, № 168, pp. 16–19.
7. Gärtner, E. US Railways: Features of Freight and Passenger Transportation [*Zheleznye dorogi SShA: osobennosti gruzovyh i passazhirskih perevozok*]. *Zheleznye dorogi mira*, 2007, Iss. 4, pp. 9–32.



Information about the authors:
**Vakulenko, Sergey P.** – Ph.D. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, k-gdsu@mail.ru.
**Kolin, Alexey V.** – head of the scientific center of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, alex5959@yandex.ru.
**Evreenova, Nadezhda Yu.** – Ph.D. (Eng), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, nevreenova@mail.ru.


Article received 20.01.2017, accepted 14.04.2017.

# БЕЗОПАСНОСТЬ • SAFETY AND SECURITY


**ОТХОДЫ** 182

*Автодорожный комплекс держит уровень.*

**БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО** 188

Управление безаварийностью.

**ТОРМОЗА** 196

*Причины отказов на Восточно-Сибирской железной дороге.*

**АВАРИЙНОСТЬ** 206

*Снижение рисков за счёт видеоинтеллекта.*

**WASTE** 182

*Motor road facilities meet high requirements.*

**LEAN PRODUCTION** 188

Managing safe transportation.

**BRAKING** 196

*Causes of failures at Eastern Siberian Railway.*

**ACCIDENTS** 206

*Reducing risks by using intelligent videosystems.*

УДК 625.7/.8.002.6

# Автодорожная сеть и проблема отходов

Софья НАЙМАН
Sofia M. NAIMAN

Владимир МЕДВЕДЕВ
Vladimir B. MEDVEDEV

Наиль МИНГАЛЕЕВ
Nail Z. MINGALEEV

***Найман Софья Михайловна*** *– кандидат биологических наук, профессор Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева, Казань, Россия.*
***Медведев Владимир Борисович*** *– доктор филологических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.*
***Мингалеев Наиль Зимаевич*** *– доктор технических наук, профессор Казанского государственного аграрного университета, Казань, Россия.*

**Road Network and Waste Problem**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 185)*

***Авторы статьи систематизируют процессы образования отходов автотранспортного комплекса на всем протяжении жизненного цикла построенной и эксплуатируемой дороги. При этом дифференцируются варианты наземных, подземных и надземных линий, твердых и жидких видов отходов, а также факторы, влияющие на их количественные показатели, и особенности наиболее отходообразующих видов работ, относящихся к автодорожной отрасли.***

*Ключевые слова: автодорожная сеть, транспортные предприятия, строительство, реконструкция, эксплуатация, отходы.*

Дорожная сеть с объектами автотранспортного комплекса занимает значительные территории. При этом в результате использования транспортных коммуникаций и эксплуатации машин с ДВС происходит загрязнение окружающей среды отходами автомобильного транспорта. Основными источниками отходов являются автотранспортные предприятия, базы дорожно-строительной техники, гаражи, стоянки, пункты мойки, АЗС, станции техобслуживания, а также сама дорога и мосты. То есть это комплексная проблема развития и содержания дорожно-транспортной сети, обслуживания, ремонта и эксплуатации автомобилей, производства горючих и смазочных материалов.

Для автотранспортной деятельности характерны следующие виды отходов:

1) жидкие (растворители, нефтепродукты, взвеси, хлориды, противогололедные вещества) – образуются в процессе мойки, очистки деталей, электрохимической обработки материалов, использования спе-

циальных солевых составов для поддержания дорожной сети в работоспособном состоянии и т.д. Они являются основными загрязнителями сточных вод.

На транспортных предприятиях в среднем на единицу подвижного состава приходится по 100 кг сбросов в поверхностные водоемы в год, в том числе сухой остаток – 76, хлориды – 17, сульфаты – 4, взвеси – 1, остальное – 2 кг [1], большое количество ила и грязи, содержащих много вредных примесей, включая нефтепродукты и тяжёлые металлы.

2) твердые – образуются как при эксплуатации транспортных коммуникаций, так и использовании транспортных средств (вплоть до окончания срока их жизни). Эти отходы:

– вывозятся для захоронения на полигоны и свалки;

– передаются на переработку или захоронение другим предприятиям;

– используются для собственных нужд.

Остановимся более подробно на отходах, образующихся на протяжении всего жизненного цикла дороги – при её строительстве, расширении, реконструкции, эксплуатации.

## СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГИ

В городе, где все площади уже заняты либо постройками (деревянными или кирпичными), либо зелеными насаждениями, либо уже проложенными дорогами, строительство новой трассы может вестись в трех вариантах:

а) наземный – со сносом мешающих строений и вырубкой деревьев,

б) подземный – тоннель,

в) надземный – эстакада или мост через водную преграду.

При строительстве образуются:

1) отходы земли и грунта,

2) отходы щебня,

3) отходы песка,

4) отходы асфальтобетонной смеси,

5) отходы битума,

6) отходы железа,

7) отходы бетона,

8) отходы железобетонных конструкций,

9) отходы металлоконструкций,

10) вырубленные зеленые насаждения,

11) разрушенные и снесенные строения.

В прокладке дороги задействованы многие виды индустрии, у которых увеличивается объём отходов от производственной деятельности. Это и добывающая промышленность – карьеры для снабжения дорожно-строительными материалами (гравий, щебень, бутовый камень, песок), и обрабатывающая (камнедробильные заводы, базы по приготовлению песчано-гравийных смесей, органических и битумных вяжущих эмульсий, заводы по переработке гудрона в битум, заводы железобетонных конструкций, асфальтобетонные). Основным фактором, влияющим здесь на массу отходов, является масса изделия.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ И РАСШИРЕНИЕ

В понятие «реконструкция» входят ремонт (комплекс операций по восстановлению исправности) и расширение дороги. При этом основной вид работ – ремонт дорожного покрытия с предварительным удалением изношенного слоя фрезерованием и формированием нового слоя. В ходе таких операций образуются:

1) отходы в виде снятого верхнего слоя асфальта,

2) отходы щебня,

3) отходы песка,

4) отходы асфальтобетонной смеси.

При расширении дороги фигурируют те же виды отходов, что и при строительстве, но в уменьшенном количестве, зависящем от масштабов производимых работ, и отходы в виде снятого верхнего слоя асфальта с ремонтируемого участка.

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОТХОДЫ

При эксплуатации и содержании автомобильной дороги образуются:

1) Отходы от автотранспортных средств.

Объёмы твёрдых отходов в технологических процессах жизненного цикла объектов транспорта определяются периодичностью проведения регламентных работ, уровнем надёжности конструкции, номенклатурой используемого оборудования, степенью аварийности транспортных средств.

2) Отходы от автотранспортных предприятий, находящихся непосредственно у дороги и обслуживающих проходящий транспорт.

При выполнении операций обслуживания и ремонта техники используются:

прокат металлов (прутки круглого и шестигранного сечения, листовая сталь, свинец, олово, медь, металлоизделия и др.), инструмент, электротехнические и фрикционные материалы [2].

Значительным является расход конструкционных материалов, приходящихся на запасные части, которые необходимы для восстановления работоспособности узлов и деталей транспортных средств. В результате механической обработки деталей, их замены, а также других видов производственной деятельности на транспортных предприятиях образуются в расчёте на один автомобиль в год [3]:

– около 250 кг твердых отходов, вывозимых на захоронение на полигоны и свалки, в том числе: смет – 40 %, отходы потребления – 19 %, древесные отходы и макулатура – по 16 %, тормозные накладки – 4 %, стеклобой – 3 %, резина (кроме шин) – 2 %;

– около 900 кг отходов, передаваемых транспортными предприятиями на дальнейшую обработку другим предприятиям, в том числе: лом чёрных металлов – 38 %, осадок очистных сооружений – 31 %, покрышки – 20 %, масла отработанные – 9 %, лом аккумуляторных батарей – 2 %.

Часть образующихся твердых отходов находит применение непосредственно на предприятиях: древесная стружка – как адсорбент при уборке разливов нефтепродуктов, серная кислота – сливается из неисправных аккумуляторных батарей, подвергается регенерации и повторно используется.

3) Отходы АЗС.

4) Отходы торговых и продовольственных учреждений.

5) Твердые бытовые отходы участников движения (мусорные контейнеры вдоль дороги).

6) Смёт с территории дороги, одной из составных частей которого являются продукты износа трущихся деталей, истирания шин и тормозов, разрушения дорожного полотна.

Таким образом, в зависимости от вида работ (реконструкция или строительство) и выбранного варианта ведения трассы образуется разное количество отходов [4]. Среди них наибольший объём занимают отходы от снятого асфальта, получающиеся при ремонте дорожного полотна, отвалы вынутого грунта в ходе земляных работ при прокладке новых участков и строительный мусор, остающийся при сносе строений. Самым отходообразующим видом работ является реконструкция дороги за счёт снятия верхнего дорожного покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Евгеньев И. Е., Каримов Б. Б. Автомобильные дороги в окружающей среде.– М.: Трансдорнаука, 1997.– 285 с.

2. Бабков В. Ф. Автомобильные дороги.– 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Транспорт, 1983.– 280 с.

3. Луканин В. Н., Трофименко Ю. В. Промышленно-транспортная экология: Учебник.– М.: Высшая школа, 2001.– 273 с.

4. Найман С. М. Образование производственных отходов в жизненном цикле дороги // Экология и промышленность России.– 2004.– № 8.– С. 35–39.

Координаты авторов: **Найман С. М.** – nsofa@rambler.ru, **Медведев В. Б.** – medvedev-mail@bk.ru, **Мингалеев Н. З.** – mingaleev_nz52@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 19.10.2016, принята к публикации 26.01.2017.

# ROAD NETWORK AND WASTE PROBLEM

***Naiman, Sofia M.,*** *Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, Kazan, Russia.*
***Medvedev, Vladimir B.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Mingaleev, Nail Z.,*** *Kazan State Agricultural University, Kazan, Russia.*

## ABSTRACT

The authors of the article systematize the processes of waste generation of the motor transport complex throughout the life cycle of the constructed and operated road. At the same time, variants of land, underground and aboveground lines, solid and liquid waste types, as well as factors affecting their quantitative indicators, and the features of the most waste-generating activities related to the road industry are differentiated.

*Keywords: road network, transport enterprises, construction, reconstruction, operation, waste.*

**Background.** *The road network with the objects of the road transport complex occupies significant territories. At the same time, as a result of the use of transport communications and the operation of cars with internal combustion engines, environmental pollution is caused by road transport waste. The main sources of waste are road transport enterprises, road construction equipment bases, garages, parking lots, washing stations, gas stations, service stations, as well as the road and bridges. That is, it is a complex problem of development and maintenance of the road transport network, maintenance, repair and operation of cars, production of combustible and lubricating materials.*

*The following types of wastes are typical for road transport activities:*

*1) liquid (solvents, petroleum products, suspensions, chlorides, antifoaming agents) – are formed during washing, cleaning of parts, electrochemical treatment of materials, use of special salt formulations to maintain the road network in an efficient condition, etc. They are the main pollutants of sewage.*

*In transport enterprises, on average, 100 kg of discharges into surface water bodies per year are accounted for by a unit of rolling stock, including a dry residue – 76, chlorides – 17, sulfates – 4, suspensions – 1, the rest – 2 kg [1], a large volume of mud, containing many harmful impurities, including petroleum products and heavy metals.*

*2) solid – are formed both in the operation of transport communications, and the use of vehicles (until the end of their life). These wastes:*

*– are transported for disposal to landfills and dumps;*

*– are transferred for processing or disposal to other enterprises;*

*– are used for own needs.*

*Let us dwell in more detail on waste generated during the whole life cycle of the road – during its construction, expansion, reconstruction, operation.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider waste problem in the road network.*

**Methods.** *The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach.*

**Results.**

**Road construction**

*In a city where all the areas are already occupied by either buildings (wooden or brick), or green plantations, or already laid roads, the construction of a new route can be conducted in three versions:*

*a) ground – with demolition of disturbing buildings and cutting down trees,,*

*b) underground – tunnel,*

*c) aboveground – overpass or bridge across the water barrier.*

*During construction are formed:*

*1) waste of land and soil,*
*2) waste of rubble,*
*3) waste of sand,*
*4) waste of asphalt-concrete mixture,*
*5) waste of bitumen,*
*6) waste of iron,*
*7) waste of concrete,*
*8) waste of reinforced concrete structures,*
*9) waste of metal structures,*
*10) cut down green plantations,*
*11) destroyed and demolished buildings.*

*In the laying of the road, many types of industry are involved, which increase the volume of waste from production activities. They involve the mining industry – quarries for supply of road building materials (gravel, crushed stone, rubble stone, sand), and processing industry (stone crushing plants, bases for preparation of sand and gravel mixtures, organic and bituminous astringent emulsions, plants for processing tar in bitumen, factories of reinforced concrete structures, asphalt concrete). The main factor affecting here the mass of waste is the mass of the product.*

**Reconstruction and expansion**

*The concept of «reconstruction» includes repairs (a complex of operations for restoration of serviceability) and expansion of the road. In this case, the main type of work is repair of the road surface with preliminary removal of the worn layer by milling and forming a new layer. In the course of such operations are formed:*

*1) waste in the form of the removed top layer of asphalt,*
*2) waste of rubble,*
*3) waste of sand,*
*4) waste of the asphalt-concrete mixture.*

*With expansion of the road, the same types of wastes appear as in construction, but in a reduced amount, depending on the scale of the work done, and waste in the form of the removed top layer of asphalt from the repaired area.*

*Operating waste*

*When operating and maintaining a road, the following are formed:*

*1) Waste from vehicles.*

*1) Volumes of solid waste in technological processes of the life cycle of transport facilities are determined by the frequency of routine maintenance, the level of reliability of the structure, the nomenclature of the equipment used, and the degree of accident of vehicles.*

*2) Waste from road transport enterprises located directly at the road and serving the passing transport.*

*During the maintenance and repair of equipment are used: rolled metals (round and hexagonal bars, sheet steel, lead, tin, copper, metal products, etc.), tools, electrical and friction materials [2].*

*The consumption of structural materials that fall on spare parts, which are necessary to restore the efficiency of units and parts of vehicles, is significant. As a result of machining of parts, their replacement, as well as other types of production activities in transport enterprises are formed per car per year [3]:*

*– about 250 kg of solid waste, exported to landfills and landfills, including: sweepings – 40 %, consumption wastes – 19 %, wood waste and waste paper – 16 % each, brake linings – 4 %, cullet – 3 %, rubber (except tires) – 2 %;*

*– about 900 kg of waste transferred by transport enterprises for further processing to other enterprises, including: scrap of ferrous metals – 38 %, sewage treatment sludge – 31 %, tires – 20 %, waste oil – 9 %, scrap of storage batteries – 2 %.*

*Part of the generated solid waste finds its application directly in the enterprises: wood chips – as an adsorbent in the case of oil spills, sulfuric acid – is drained from faulty storage batteries, is regenerated and reused.*

*3) Waste of the fuel station.*

*4) Waste from trade and food institutions.*

*5) Solid household waste from road users (garbage containers along the road).*

*6) Sweepings from the territory of the road, one of the components of which are products of wear of rubbing parts, wear of tires and brakes, and destruction of the roadway.*

**Conclusion.** *Thus, depending on the type of work (reconstruction or construction) and the selected route option, a different amount of waste is generated [4]. Among them, the largest volume is occupied by waste from asphalt, obtained during repair of the roadway, dumps of excavated soil during excavations during construction of new sites and construction debris remaining during demolition of buildings. The most waste-generating type of work is reconstruction of the road by removing the top pavement.*

## REFERENCES

1. Evgeniev, I. E., Karimov, B. B. Roads in the environment [*Avtomobil'nye dorogi v okruzhajushhej srede*]. Moscow, Transdornauka publ., 1997, 285 p.

2. Babkov, V. F. Automobile roads [*Avtomobil'nye dorogi*]. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1983, 280 p.

3. Lukanin, V. N., Trofimenko, Yu. V. Industrial and Transport Ecology: A Textbook [*Promyshlenno-transportnaja ekologija: Uchebnik*]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 2001, 273 p.

4. Naiman, S. M. Formation of industrial waste in the life cycle of the road [*Obrazovanie proizvodstvennyh othodov v zhiznennom cikle dorogi*]. *Ekologija i promyshlennost' Rossii*, 2004, Iss. 8, pp. 35–39.

Information about the authors:
**Naiman, Sofia M.** – Ph.D. (Biology), professor of Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev, Kazan, Russia, nsofa@rambler.ru.
**Medvedev, Vladimir B.** – D.Sc. (Philology), Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, medvedev-mail@bk.ru.
**Mingaleev, Nail Z.** – D.Sc. (Eng), professor of Kazan State Agricultural University, Kazan, Russia, mingaleev_nz52@mail.ru.

Article received 19.10.2016, accepted 26.01.2017.

# РОССИЙСКО-ЯПОНСКИЙ ЦЕНТР ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ И ДИАГНОСТИКИ

Президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров и заместитель министра здравоохранения, труда и благосостояния Японии Казуо Футагава подписали соглашение о подготовке технико-экономического обоснования проекта создания российско-японского центра профилактической медицины и диагностики.

Стороны договорились подготовить экономическую модель медицинского центра на базе дорожной клинической больницы ОАО «РЖД» в Хабаровске.

Медицинская концепция центра предусматривает создание диагностического, профилактического и реабилитационного блоков, а также центра телемедицины для проведения дистанционных консультаций и видеоконсилиумов с японскими специалистами. Стороны нацелены на объединение лучших российских и японских практик сохранения здоровья и диагностики, повышение качества медицинского обслуживания в Дальневосточном регионе.

Представители сторон – Центральная дирекция здравоохранения – филиал ОАО «РЖД» и Министерство здравоохранения, труда и благосостояния Японии – продолжат совместную работу по выработке ключевых финансовых показателей проекта и выбору инвестиционного партнёра.

В декабре 2016 года между ОАО «РЖД» и министерством здравоохранения, труда и благосостояния Японии был заключен меморандум о сотрудничестве в области медицины и здравоохранения. Стороны выразили намерение содействовать повышению уровня продолжительности здоровой жизни граждан России и граждан Японии и договорились прикладывать необходимые усилия для достижения прогресса в этой области, в частности, продвигать превентивную медицину на Дальнем Востоке России, в том числе в Хабаровске.

**По материалам пресс-службы ОАО «РЖД»** ●

# RUSSIAN-JAPANESE CENTRE FOR PREVENTIVE MEDICINE AND DIAGNOSTICS

Oleg Belozerov, President of Russian Railways, and Kazuo Futagawa, Japan's Deputy Minister of Health, Labour and Welfare, have signed an agreement on the preparation of a feasibility study for the creation of a Japanese-Russian centre for preventive medicine and diagnostics.

The parties agreed to prepare an economic model for the establishment of a medical centre on the basis of the Russian Railways' Clinical Hospital in Khabarovsk, which is about 800 kilometres north of Vladivostik in Russia's Far East.

The centre's medical concept includes the creation of a diagnostic, preventive and rehabilitation unit, as well as a telemedicine centre for remote consultations and video conferencing with Japanese specialists.

The parties intend to combine the best Russian and Japanese preventive healthcare and diagnostics practices and improve the quality of medical care in the Far Eastern region.

Representatives of the parties – the Central Directorate of Health, a branch of Russian Railways, and Japan's Ministry of Health, Labour and Welfare – will continue to work together on developing the project's key financial indicators and selecting an investment partner.

In December 2016, a Memorandum of Cooperation was signed between Russian Railways and Japan's Ministry of Health, Labour and Welfare in the field of medicine and health. The parties expressed their intention to contribute to increasing the length of healthy lives for Russian and Japanese citizens and agreed to undertake the necessary efforts to achieve progress in this area, in particular, to promote preventive medicine in the Russian Far East, including Khabarovsk.

**Based on press releases of JSC Russian Railways** ●

УДК 656.251

# Технология бережливого производства и минимизация потерь от аварий

Николай КРАСИКОВ

Nickolay Y. KRASIKOV

***Красиков Николай Юрьевич*** *– агент по продажам ПАО «Ростелеком», Санкт-Петербург, Россия.*

**Lean Manufacturing Technology and Minimization of Losses from Accidents**
*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 193)*

***В железнодорожном деле существует множество опасных дестабилизирующих факторов. Одна из самых распространённых проблем – столкновение поезда с застрявшим или выехавшим по неосторожности водителя на железнодорожный переезд транспортным средством. В статье рассмотрены способы минимизации потерь от такого вида аварий. Ими могут быть постройка тоннелей и путепроводов в местах пересечения железнодорожного полотна и автомобильной дороги, применение 3D-лазерного радара для предупреждения локомотивной бригады о застрявшем транспорте. Кроме того, возможно использование веб-камер, изображение с которых при помощи роутера, установленного за 4–5 км от переезда, передается в кабину машиниста на отдельный дисплей, чтобы заранее увидеть застрявшее транспортное средство и было время принять меры по экстренному торможению.***

*Ключевые слова: бережливое производство, факторы безопасности, железнодорожный переезд, аварийная ситуация, зрительное восприятие, 3D-лазерный радар, веб-камера.*

Согласно определению Кэмбриджского словаря делового английского языка [1], бережливое производство – это бизнес, ориентированный на выпуск товаров в больших объёмах и использующий методы, которые избегают появления отходов и уменьшают потраченное на производство время.

Исчерпаемость природных недр, глобальное потепление, продовольственный кризис приводят к удорожанию продукции и необходимости экономии всех видов ресурсов [2]. Поэтому актуальными стали разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий, применение эффективных стратегий маркетинга и ценообразования, позволяющих снижать затраты на всех стадиях жизненного цикла продукции.

## ДОМИНАНТА СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ

LEAN-технология – «бережливое производство» (от англ. *lean* – постный, без жира, стройный; в русской версии *lean* – лин, бережливое) – логистическая концепция менеджмента, сфокусированная на оптимизации бизнес-процессов с максимальной ориентацией на рынок [2].

***Рис. 1. Столкновение КамАЗа и пассажирского поезда на железнодорожном переезде в 2015 году в Белгородской области [4].***

Идеи бережливого производства проистекают из философии снижения затрат, исповедуемой корпорацией Toyota, согласно которой цены на продукцию предприятия диктуют рынок и покупатели, а объектами управления со стороны компании могут быть только себестоимость продукции и прибыль от продаж. При этом в центре внимания остается сокращение внутренних затрат предприятия.

Опираясь на идею сокращения себестоимости продукции, необходимо вначале установить цену, по которой покупатели согласны приобретать предлагаемый товар, после чего вычесть из неё себестоимость его изготовления, чтобы оценить ожидаемую прибыль. Основной путь к максимизации прибыли, таким образом, заключается в сокращении потерь при изготовлении продукции.

Потери в LEAN принято подразделять на семь основных разновидностей [3]:

*1) Перепроизводство.* Это изготовление лишнего количества продукции или преждевременное её появление до возникновения реального спроса.

*2) Ожидание.* Любое ожидание – людей, документов, оборудования или информации.

*2) Чрезмерная обработка.* Лишними считаются те операции, которые не нужны потребителям, не желающим переплачивать деньги за их выполнение.

*3) Избыточные запасы.* Хранение таких запасов требует дополнительных площадей, они могут отрицательно влиять на безопасность, загромождая проходы и производственные площади.

*4) Лишние движения.* Любое движение, не требующееся для успешного выполнения рассматриваемой операции, становится потерей. Часто неэффективная организация трудового процесса и неправильная планировка рабочих мест служат причинами лишних движений исполнителей – ходьбы, дотягивания, наклонов.

*5) Потери от дефектов или переделки.* Затраты на переделки, повторное выполнение операций при обнаружении дефектов относятся к категории потерь, поскольку любая работа сверх необходимой является лишней.

***Рис. 2. Столкновение поезда и легкового автомобиля на железнодорожном переезде в Кюйонге (Австралия) в 2014 году. Фото Брюса Маджилтона [5].***

*6) Транспортировка.* Перевозки на большие расстояния или создание временных мест размещения, хранения и складирования, лишние перемещения с места на место материалов, людей, информации или документов – все это ведет к потерям времени и энергии.

## АНАЛИЗ СТОЛКНОВЕНИЙ НА ПЕРЕЕЗДАХ

Одной из серьезных потерь для железнодорожных предприятий является простой поездов из-за блокировки движения, вызванной столкновением состава с транспортными средствами, по тем или иным причинам находившихся на железнодорожном переезде в момент приближения поезда (см. рис. 1, 2).

Для полной остановки грузовому поезду, двигающемуся со скоростью 88,5 км/ч, необходимо не менее 1,61 километра (по данным Национального совета безопасности США). А зачастую прямая видимость до пересечения железнодорожного пути отсутствует, и машинист просто не успевает затормозить.

По данным А. А. Платова [6], суммарное количество потерь времени на восстановление движения после ДТП на железнодорожных переездах в России составляло с 1994 по 2003 год не менее 100 часов (рис. 3). То есть потери во времени снижали возможность использования железнодорожного пути и получения прибыли.

В соответствии с экологическим подходом к зрительному восприятию известного учёного-экспериментатора Дж. Гибсона [7] во время пассивной езды в транспорте мышечно-суставные ощущения положения и движения отдельных частей тела отсутствуют. Единственно надёжную информацию о смещении дают зрительные ощущения. Это верно в особенности сейчас, когда активно развивается технология бесстыкового, «бархатного пути», и движение поезда становится необычайно плавным. Поэтому единственным надёжным источником информации для машиниста выступают показания приборов.

По данным Д. Л. Петрович [8], успешность «сложного» считывания приборной информации зависит от когнитивно-стилевых характеристик операторов. Большая выраженность поленезависимости соответствует более высоким результативным показателям такого считывания, а большая выраженность импульсивности – более низким результативным показателям приборных шкал.

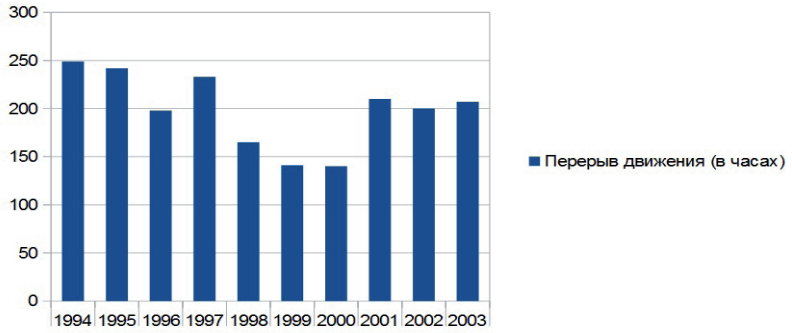



***Рис. 3. Показатели потерь во времени из-за ДТП на железнодорожных переездах в России за период 1994–2003 годов [6].***

Поленезависимость характеризует способность человека находить простую релевантную деталь в сложном перцептивном образе. Поленезависимые люди легко преодолевают самый трудный контекст. Полезависимые, напротив, с трудом справляются с задачей (им нужно время, чтобы увидеть деталь в сложном целом).

Импульсивность и рефлективность проявляются в людях, когда тем надо осуществить правильный выбор из некоторого множества альтернатив. Импульсивные испытуемые склонны быстро реагировать на проблему, быстро принимать решение без тщательного анализа ситуации. Рефлективные – характеризуются замедленным темпом реагирования, решение принимается ими на основе тщательного обдумывания [9].

## СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙ

В соответствии с принципами LEAN работы по предотвращению столкновений поездов с транспортными средствами как добавляющие ценность для потребителя – безопасность перевозок – должны быть расширены, если железнодорожные компании хотят получать прибыль, не нести имиджевых потерь и быть конкурентоспособными в будущем.

Есть несколько путей как это сделать.

Один из них – постройка тоннелей и путепроводов в местах пересечения железнодорожного полотна и автомобильной дороги. Однако, как полагают специалисты Института проблем естественных монополий, подобный путепровод может стоить от одного до двух с половиной миллиардов рублей.

Другой вариант – использовать изобретение Бойджи Раджарама из Индии (патент РФ 2333860) – устройство предупреждения столкновений (УПС) для поездов и транспортных средств на базе микропроцессора с радиоприёмопередатчиком, работающим на заданном расстоянии, например – 2 км, и имеющим независимый источник питания. При установке на локомотиве, тормозном вагоне, переездах, железнодорожной или любой иной станции устройство автоматически генерирует сигналы для инициирования различных мер безопасности. Например, такой мерой может быть включение тормозной системы движущегося поезда, чтобы снизить его скорость до безопасного предела или полной остановки. При этом столкновения предупреждаются благодаря включению сирен на переездах, на которые обязаны отреагировать водители автотранспорта, а машинист или дежурный по переезду получают информацию о приближающихся поездах, их местонахождении, скорости по каналам связи.

Ещё один метод предупреждения аварий – установка устройств заграждения переезда (УЗП), блокирующих проезжую часть поднятием установленной на шарнирах крышки.

В Японии Восточной железнодорожной компанией [10] более чем на 200 переездах применяется 3D-лазерный сканер, который сканирует контролируемое пространство в вертикальной и горизонтальной плоскостях дважды в секунду. Отражённый от объекта сигнал обрабатывается как некоторая совокупность точек,

затем программным обеспечением делается вывод о том, что эта совокупность точек – транспортное средство, находящееся на железнодорожном переезде. Если в этот момент приближается поезд, его машинист тут же получает сигнал тревоги.

В современном тяговом подвижном составе многие процессы по управлению работой узлов и агрегатов, поддержанию задаваемой машинистом скорости движения и её снижению выполняются автоматически. Автоматизация рутинных операций по управлению высокоскоростным поездом повышает безопасность движения, поэтому задача облегчения труда машиниста с замещением его действий автоматическим исполнением особенно актуальна. Хотя, конечно, даже при автоведении около 10 % пути проходится поездом в режиме ручного управления [11], а значит, остаётся востребованным и такой метод элиминирования потерь от столкновений поездов с транспортными средствами, как веб-камеры на наиболее оживлённых железнодорожных переездах.

Веб-камеры должны быть устойчивы к вибрации, дождю, снегу, ветру и другим неблагоприятным погодным условиям. Изображение с веб-камеры при помощи роутера, установленного за 4–5 км от переезда, передается в кабину машиниста на отдельный дисплей, чтобы он заранее видел застрявшее транспортное средство и мог принять меры по экстренному торможению. Наглядное представление изображения с ближайшего переезда на дисплее в качестве средства информации должно упростить процесс считывания и быстрой категоризации контента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с принципами LEAN потери от задержек в следовании поездов, обусловленные столкновениями с транспортными средствами на железнодорожных переездах, должны быть устранены с учётом сокращения совокупных производственных затрат и минимизации потерь.

Какой именно из методов здесь предпочтительнее, зависит от сопутствующих условий. Проблема требует дальнейшего исследования и пилотного тестирования каждого метода, а также сравнительного анализа в зависимости от плотности движения, экономических возможностей железнодорожной компании и прочих факторов, относящихся к сфере применения технологий бережливого производства.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Официальный сайт Кэмбриджского словаря. [Электронный ресурс]: http://dictionary.cambridge.org/. Доступ 11.05.2017.
2. Савкова Е. Философия ЛИН – современный подход к ресурсосбережению при разработке маркетинговых стратегий // Маркетинг. Идеи и технологии.– 2008.– № 6.– С. 14–20.
3. Тюрин А. Е. Применение LEAN-технологий для снижения эксплуатационных затрат и повышения безопасности технологических процессов // VI международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум», 15 февраля – 31 марта 2014 года. [Электронный ресурс]: http://www.scienceforum.ru/2014/400/1524. Доступ 11.05.2017.
4. [Электронный ресурс]: https://fonar.tv/news/2015/07/31/v-belgorodskoy-oblasti-na-zheleznodorozhnom-pereezde-kamaz-stolknulsya-s-passazhirskim-poezdom. Доступ 11.05.2017.
5. Официальный сайт Herald Sun. [Электронный ресурс]: http://www.heraldsun.com.au/. Доступ 11.05.2017.
6. Платов А. А. Анализ аварийности и причин возникновения транспортных происшествий на железнодорожных переездах // Современные проблемы транспортного комплекса России.– 2014.– № 5.– С. 38–42.
7. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию: Пер. с англ.– М.: Прогресс, 1988.– 187 с.
8. Петрович Д. Л. Когнитивно-стилевые характеристики считывания приборной информации / Автореф. дис... канд. психол. наук.– СПб., 2009.– 23 с.
9. Петрович Д. Л. Когнитивно-стилевые особенности операторов и сравнительная оценка приборной информации // Вестник Санкт-Петербургского университета.– Сер. 12.– 2008.– № 3.– С. 454–459.
10. Hisamitsu Yutaka, Sekimoto Kiyohide, Nagata Kouichirou, Uehara Minoru, Ota Eiichi. 3D-Laser Radar Level Crossing Obstacle Detection System // IHI Engineering Review, Vol. 41, No. 2, August 2008, pp. 51–57.
11. Завьялов Е. Е., Волковский Д. В. Автоведение – необходимый инструмент скоростного и высокоскоростного движения // Транспорт Российской Федерации.– 2015.– № 2.– С. 42–43.
12. Безопасность движения на железных дорогах: курс лекций.– В 2 ч.: Ч. 1. Основы безопасности / С. В. Балалаев.– 3-е изд., испр.и доп.– Хабаровск: ДВГУПС, 2008–125 с.
13. Guidelines for the Psychological Assessment of Train Drivers Other Safety Related Personnel. Community of European Railway and Infrastructure Companies, CER Psychologists' Subgroup, 2009, 20 p.


Координаты автора: **Красиков Н. Ю.** – krussikov@mail.ru.

Статья поступила 30.01.2017, принята к публикации 11.05.2017.

# LEAN MANUFACTURING TECHNOLOGY AND MINIMIZATION OF LOSSES FROM ACCIDENTS

***Krasikov, Nickolay Y.,*** *PJSC Rostelecom, St. Petersburg, Russia.*

## ABSTRACT

In railway sector there are many dangerous destabilizing factors. One of the most common problems is collision of a train with a vehicle which is stuck on or entered out of driver's negligence into a railway crossing. In the article methods of minimization of losses from this type of accidents are considered. They comprise construction of tunnels and overpasses at the intersections of the railway and the road, use of a 3D-laser radar to warn the locomotive crew about the stuck transport. In addition, it is possible to use web cameras, the image from which, using a router installed within 4–5 km far from the crossing, is transferred to the train driver's cab on a separate display in advance to see the stuck vehicle and to have time to take emergency braking measures.

*Keywords: lean manufacturing, safety factors, railway crossing, emergency situation, visual perception, 3D-laser radar, web camera.*

**Background.** *According to the definition of the Cambridge Business English Dictionary [1], lean manufacturing is a business focused on producing goods in large volumes and using methods that avoid the occurrence of waste and reduce the time spent on production.*

*The exhaustion of natural resources, global warming, the food crisis lead to a rise in the cost of production and the need to save all types of resources [2]. Therefore, development and implementation of resource-saving technologies, use of effective marketing and pricing strategies, which allow to reduce costs at all stages of the product life cycle, became topical.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider lean manufacturing technology and minimization of losses from accidents.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, economic assessment, psychological theories, comparative analysis.*

**Results.**

***The loss reduction dominant***

*LEAN technology – «lean manufacturing» (from English lean –without fat, slender) is a logistics management concept focused on optimizing business processes with maximum market orientation [2].*

*The ideas of lean manufacturing stem from the Toyota cost reduction philosophy, according to which the prices for the products of the enterprise are dictated by the market and buyers, and the company's management objects can only be the cost of production and the profit from sales. At the same time, the focus is on reducing the company's internal costs.*

*Based on the idea of reducing the cost of production, it is necessary first to determine the price for which buyers agree to purchase the proposed product, and then subtract from it the cost of its manufacturing to estimate the expected profit. The main way to maximize profits, therefore, is to reduce losses in the manufacture of products.*

*The losses in LEAN are generally divided into seven main varieties [3]:*

*1) Overproduction. This is the production of excess quantities of products or its premature appearance before the emergence of real demand.*

*2) Expectation. Any expectation – people, documents, equipment or information.*

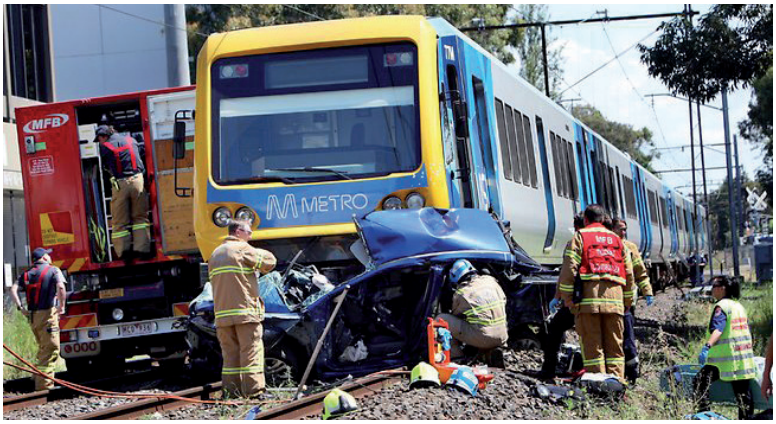
*3) Excessive processing. Superfluous are those operations that are not needed by consumers who do not want to overpay money for their implementation.*

*4) Excessive reserves. Storage of such reserves requires additional areas, they can adversely affect safety, cluttering the aisles and production areas.*

*5) Superfluous movements. Any movement that is not required for successful execution of the operation in question becomes a loss. Often ineffective organization of the work process and incorrect layout of workplaces are the causes of unnecessary movements of performers – walking, reaching, bending.*

*6) Losses from defects, or reworking. The costs of reworking, re-performing operations when defects*

***Pic. 1. Collision of KamAZ and the passenger train at the railway crossing in 2015 in Belgorod region [4].***




**Pic. 2. Collision of a train and a passenger car at the railway crossing in Kyuong (Australia) in 2014. Photo by Bruce Magilton [5].**

*are detected, are classified as losses, since any work beyond the necessary is superfluous.*

*7) Transportation. Transportation to distances large, or creation of temporary places of accommodation, storage, unnecessary movement of materials, people, information or documents from place to place – all this leads to time and energy losses.*

***Analysis of collisions at crossings***

*One of the serious losses for railway enterprises is idle hours of trains due to blocking of traffic caused by the collision of the train with vehicles for one or another reason located at the railway crossing when the train approached (see Pic. 1, 2).*

*To stop, a freight train moving at a speed of 88,5 km/h requires not less than 1,61 kilometers (according to the National Security Council of the United States). And often there is no direct visibility to the intersection of the railway track, and the train driver simply does not have time to brake.*

*According to A. A. Platov [6], the total amount of time lost for restoration of traffic after a road accident at railway crossings in Russia was at least 100 hours from 1994 to 2003 (Pic. 3). That is, the losses in time reduced the possibility of using the railway track and making a profit.*

*In accordance with the ecological approach to visual perception of the known scientist-experimenter J. Gibson [7] during passive driving in transport, the musculo-articular sensations of the position and movement of individual parts of the body are absent. The only reliable information about displacement is provided by visual sensations. This is especially true now, when the technology of the seamless, «velvet track» is actively developing and the movement of the train becomes extraordinarily smooth. Therefore, the only reliable source of information for the train driver is the instrument's readings.*

*According to D. L. Petrovich [8], the success of the «complex» reading of the instrumental information depends on the cognitive-style characteristics of the operators. The high degree of field independence corresponds to higher performance indicators of such a reading, and the high degree of impulsivity corresponds to the lower scores of instrument scales.*

*Field independence characterizes a person's ability to find a simple relevant detail in a complex perceptual image. Field independent people overcome the most complex context easily. Field-dependent persons, on the contrary, barely overcome a complex task (they need time to see the detail in a complex whole).*

*Impulsivity and reflectivity appear when people need to make a right choice from many alternatives. Impulsive subjects tend to quickly respond to a problem, quickly make a decision without a thorough analysis of the situation. Reflective – are characterized by a slow response rate, the decision is made by them on the basis of careful consideration [9].*

***Ways to prevent accidents***

*In accordance with the principles of LEAN work to prevent collisions of trains with vehicles as adding value to the consumer – safety of transportation – should be expanded if railway companies want to profit, not bear image losses, and be competitive in the future.*

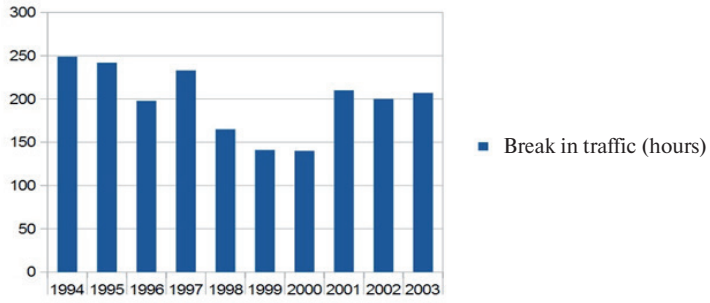
*There are several ways to do this.*

*One of them is construction of tunnels and overpasses at the intersection of the railway tracks and the road. However, according to the specialists of the Institute of Natural Monopolies Problems such an overpass can cost from one billion to even two and a half billion rubles.*

*Another way is to use the invention of Boyji Rajaram from India (RF patent 2333860) – a collision avoidance device (CAD) for trains and similar transport vehicles, based on a microprocessor with a radio transceiver operating at a given distance, for example 2 km, and having an independent power source. When installed on a locomotive, braking car, crossing, railway or any other station the device automatically generates signals for initiating various security measures. For example, such a measure can be switching on of the braking system of a moving train to reduce its speed to a safe limit, or a complete stop of the train at a safe distance. At the same time, the collisions are prevented by the switching on of sirens at the crossings, to which drivers of road transport shall react, and the train driver or the crossing's operator on duty get information about approaching trains, their location, speed through communication channels.*

*Another method of preventing collisions of vehicles can be installation of crossing's barrier devices (CBD), which blocks the roadway by lifting the hinged lid.*

*In Japan, on the East Japanese Railway Company [10], a 3D-laser scanner is used on more than 200 level crossings, which scans the space above the railway crossing in the vertical and horizontal plane twice per second. The signal that is reflected from the object is processed as a certain set of points, then the software makes a conclusion that this set of points is a vehicle located at a railway crossing. If at this moment the train is approaching, its driver receives an alarm signal.*




***Pic. 3. Indicators of losses in time due to road accidents at railway crossings in Russia for the period 1994–2003 [6].***

*In modern traction rolling stock, many processes for controlling the operation of units and assemblies, maintaining the speed of the engine set by the train driver and reducing it are performed automatically. The automation of routine operations to drive a high-speed train increases the safety of traffic, so the task of facilitating the work of a train driver with the replacement of his actions by automatic execution, especially in high-speed traffic, is still relevant. Although, even when auto-driving, about 10 % of the path is traversed by a train in the manual control mode [11], and it means that such method of eliminating the losses from collisions of trains with vehicles as web cameras on especially busy railway crossings remains in demand.*

*Web cameras should be resistant to vibration, rain, snow, wind and other unfavorable weather conditions. The image from the web camera using a router installed 4–5 km far from the crossing is transferred to the driver's cab on a separate display, so that he sees the vehicle in advance and could take emergency braking measures. Visual representation of the image from the nearest crossing on the display as a means of displaying information should simplify the process of reading and quick categorization of the image from the display.*

**Conclusion.** *In accordance with the principles of LEAN, the losses from train delays caused by collisions of trains with vehicles at railway crossings should be eliminated taking into account aggregate costs and minimization of waste.*

*Which of the methods is more preferable depends on the particular conditions. This issue requires further research and pilot testing of each method, as well as comparative analysis depending on traffic density, the economic possibilities of the railway company and other factors, which relate to application of lean manufacturing technologies.*

## REFERENCES

1. Official website of Cambridge Dictionary [*Oficial'nyj sajt Kjembridzhskogo slovarja*]. [Electronic resource]: http://dictionary.cambridge.org/. Last accessed 11.05.2017.

2. Savkova, E. LEAN philosophy – a modern approach to resource saving in the development of marketing strategies [*Filosofija LIN – sovremennyj podhod k resursosberezheniju pri razrabotke marketingovyh strategij*]. *Marketing. Idei i tehnologii*, 2008, Iss. 6, pp. 14–20.

3. Tyurin, A. E. Application of LEAN-technologies to reduce operational costs and improve process safety [*Primenenie LIN-tehnologij dlja snizhenija ekspluatacionnyh zatrat i povyshenija bezopasnosti tehnologicheskih processov*]. *VI International Student Electronic Scientific Conference «Student Scientific Forum» February 15 – March 31, 2014* [Electronic resource]: http://www.scienceforum.ru/2014 / 400/1524. Last accessed 07.05.2016.

4. Official website of the television network RT in Russian [*Oficial'nyj sajt televizionnoj seti RT na russkom*] [Electronic resource]: https: //russian.rt.com/. Last accessed 07.05.2016.

5. Official website of the Herald Sun [*Oficial'nyj sajt Herald Sun*]. [Electronic resource]: http://www.heraldsun.com.au/. Last accessed 07.05.2016.

6. Platov, A. A. Analysis of the accident rate and the causes of the occurrence of transport accidents at railway crossings [*Analiz avarijnosti i prichin vozniknovenija transportnyh proisshestvij na zheleznodorozhnyh pereezdah*]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*, 2014, Iss. 5, pp. 38–42.

7. Gibson, J. The ecological approach to visual perception [*Ekologicheskij podhod k zritel'nomu vosprijatiju: Trans. from English*]. Ed. and introduction by A. D. Logvinenko. Moscow, Progress publ., 1988, 187 p.

8. Petrovich, D. L. Cognitive-style characteristics of reading instrumental information. Abstract of Ph.D. (Psychology) thesis. [*Kognitivno-stilevye harakteristiki schityvanija pribornoj informacii. Avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. psihol. nauk*]. 2009, 23 p.

9. Petrovich, D. L. Cognitive-style features of operators and a comparative assessment of instrumental information [*Kognitivno-stilevye osobennosti operatorov i sravnitel'naja ocenka pribornoj informacii*]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*, Ser. 12, 2008, Iss. 3, pp. 454–459.

10. Hisamitsu Yutaka, Sekimoto Kiyohide,Nagata Kouichirou, Uehara Minoru, Ota Eiichi. 3D-Laser Radar Level Crossing Obstacle Detection System. *IHI Engineering Review*, Vol. 41, Iss. 2, August 2008, pp. 51–57.

11. Zavyalov, E. E., Volkovsky, D. V. Auto-driving – a necessary tool for speed and high-speed traffic [*Avtovedenie – neobhodimyj instrument skorostnogo i vysokoskorostnogo dvizhenija*]. *Transport Rossijskoj Federacii*, 2015, Iss. 2 (57), pp. 42–43.

12. Safety of traffic on the railways: a course of lectures. In 2 parts. Part 1. Fundamentals of safety [*Bezopasnost' dvizhenija na zheleznyh dorogah: kurs lekcij. V 2 ch. Ch. 1. Osnovy bezopasnosti*]. Balalaev, S. V. 3rd ed., rev. i enl. Khabarovsk, Publishing House of FESTU, 2008, 125 p.

13. Guidelines for the Psychological Assessment of Train Drivers and Other Safety Related Personnel. Community of European Railway and Infrastructure Companies, CER Psychologists' Subgroup, 2009, 20 p.

Information about the author:
**Krasikov, Nickolay Y.** – sales agent of PJSC Rostelecom, St. Petersburg, Russia, krussikov@mail.ru.

Article received 30.01.2017, accepted 11.05.2017.

УДК 629.4.077-192

# Влияние человеческого фактора на надёжность тормозного оборудования поезда

Никита МАНУИЛОВ

Nikita I. MANUILOV

***Мануилов Никита Игоревич*** *– аспирант кафедры электроподвижного состава Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС), Иркутск, Россия.*

**Human Factor Influence on Train Brake Equipment Reliability**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 201)*

***В статье рассмотрено влияние человеческого фактора на безотказную работу тормозного оборудования поездов. Исследование проведено аналитическим методом, опираясь на статистику отказов оборудования, оценки выполнения действующих правил технического обслуживания железнодорожного подвижного состава. Выявлена проблема отсутствия эффективного устройства диагностики тормозной сети поезда, которое обеспечивало бы контроль за её целостностью и плотностью по ходу движения и на стоянках. Вместе с тем необходимо и сократить время на замер плотности тормозной сети поезда, автоматизировать этот процесс.***

*Ключевые слова: железная дорога, безопасность движения, тормозное оборудование, плотность тормозной сети поезда, надёжность, человеческий фактор.*

Понятие «человеческий фактор» характеризуется чрезвычайной многогранностью и сложностью. Теоретически сюда могут быть включены все явления в организации безопасности движения, так или иначе связанные с человеком. Движение поезда – это функционирование сложной биомашинной системы, в которую входят подсистемы: человек (локомотивная бригада), техника (поезд), технология, среда (погодные, климатические условия) [1].

В ходе анализа результатов научных исследований, практики локомотивных бригад, данных поисковых экспериментов и наблюдений за работой тормозного оборудования постоянно приходится убеждаться, что предложения по повышению безопасности движения поездов необходимо оценивать в полной мере системно.

Между работоспособностью, надёжностью, производительностью и другими эксплуатационными показателями работы тормозного оборудования имеются определенные связи, выявление которых позволяет контролировать функционирование системы. Однако предупреждение аварийности и обеспечение безопасности движения на ходу поезда выполняется

***Рис. 1. Факторы, влияющие на безопасность движения поездов.***

локомотивной бригадой, поэтому проблемы надежности её действий остаются определяющими, что и нашло отражение в обобщающей схеме, представленной на рис. 1.

Для обеспечения безопасности движения и надёжного действия тормозных приборов нужен непрерывный контроль со стороны локомотивной бригады за состоянием всей тормозной магистрали: от крана машиниста до концевого крана последнего вагона, находящегося в составе поезда.

Принцип действия пневматических тормозов заключается в том, что при снижении давления в тормозной магистрали (далее – ТМ) поезда темпом служебного или экстренного торможения каждый воздухораспределитель вагона наполняет сжатым воздухом из запасного резервуара тормозной цилиндр, а при повышении давления в ТМ – выпускает сжатый воздух из цилиндра в атмосферу. Поезд должен быть остановлен в пределах расчётного тормозного пути, для чего необходимы безотказно действующие тормоза [2].

Автоматические и электропневматические тормоза железнодорожного подвижного состава должны содержаться в соответствии с нормами и правилами, обладать управляемостью и надёжностью действия в различных условиях эксплуатации, обеспечивать плавность торможения, а автоматические – остановку поезда при разъединении или разрыве тормозной магистрали и при открытии стоп-крана [3]. Локомотивная бригада обязана контролировать давление воздуха по манометрам, в случае отсутствия такого контроля есть вероятность несанкционированного снижения зарядного давления в ТМ, что делает невозможным остановку перед запрещаю-

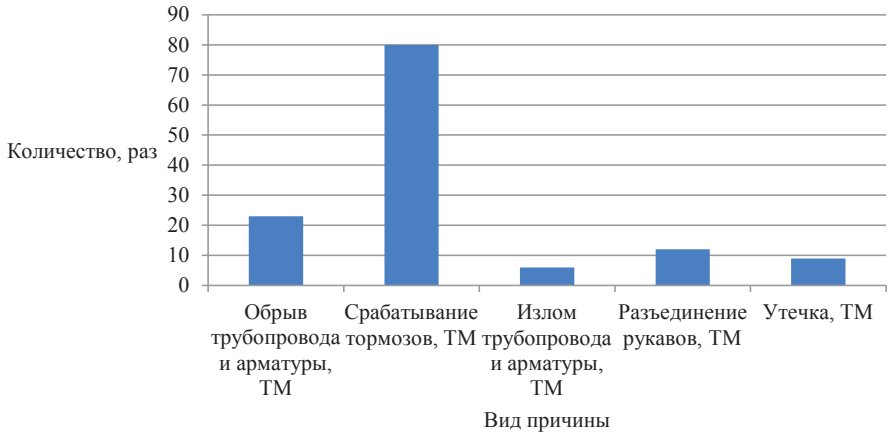



***Рис. 2. Статистика отказов тормозного оборудования вагонов на ВСЖД за 2015 год.***

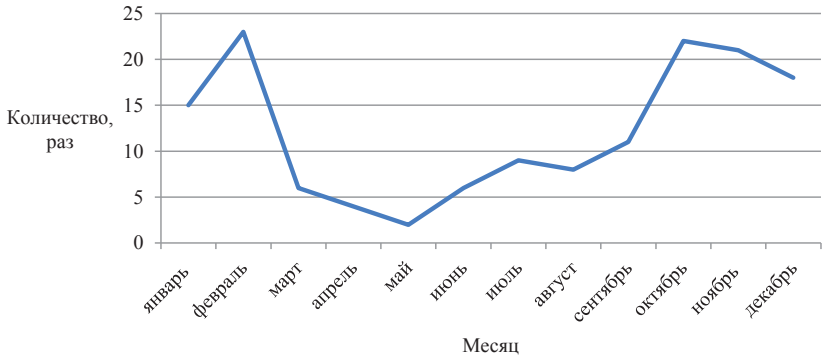



***Рис. 3. Неисправности тормозов на ВСЖД по месяцам.***

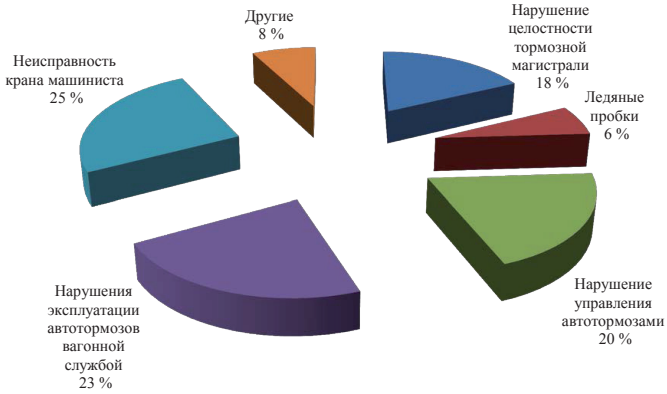



***Рис. 4. Причины отказов тормозного оборудования за последние 15 лет.***

щим сигналом, а это влечет за собой столкновение или крушение поезда.

Случаются как мелкие неисправности, приводящие к самопроизвольному срабатыванию автотормозов, так и полный отказ автотормозного оборудования. На рис. 2 представлена статистика отказов тормозного оборудования вагонов на Восточно-Сибирской железной дороге (далее – ВСЖД) за 2015 год.

В силу отсутствия диагностических устройств большинство отказов тормозного оборудования – «срабатывание» – происходит по неустановленным причинам. Рис. 3 иллюстрирует неисправности тормозов по месяцам на ВСЖД.

Очевидно, с наступлением пониженных температур количество отказов тормозного оборудования возрастает, что демонстрирует значимость учёта внешней среды. И это несмотря на то, что перед отправлением поезда выполняется целый комплекс проверок, охватывающий практически каждый тормозной прибор на подвижном составе. Нарушения возникают в системе «человек – поезд – технология – среда» в большинстве случаев по вине человека. Причины отказов тормозного оборудования за последние 15 лет представлены на рис. 4.

Около 90 % этих неисправностей диагностируется машинистом с помощью такого параметра, как плотность тормозной сети. Плотность тормозной сети поезда – время снижения давления в главных резервуарах с 0,85 МПа до 0,8 МПа.

Человеческий фактор оказывает влияние на существующую методику замера плотности и диагностики тормозной сети в целом, это обусловлено низкой точностью приборов и несовершенством методов определения исправности тормозного оборудования. Плотность измеряют часами, опираясь на показания манометра, погрешность измерения достигает 40 %. Замер делается многократно за поездку.

В соответствии с пунктом IV «Правил технического облуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава»

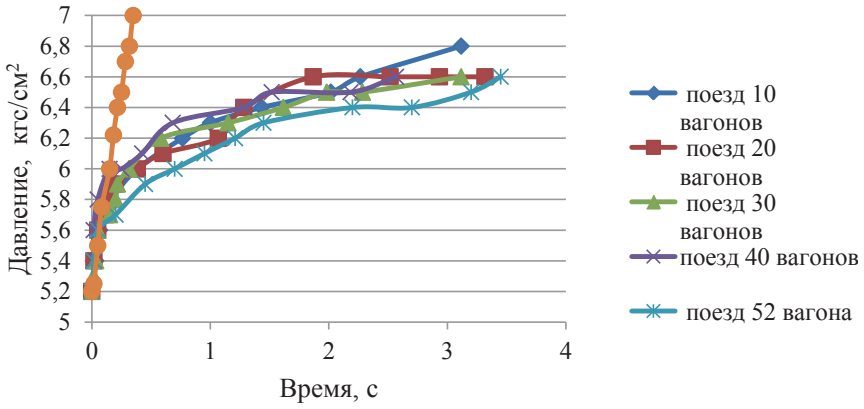



***Рис. 5. Завышение давления в ТМ при постановке ручки крана машиниста в первое положение.***

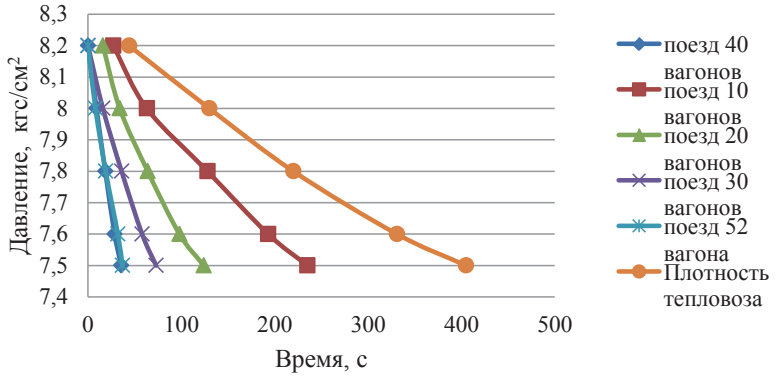



***Рис. 6. Увеличение плотности тормозной сети поезда при перекрытии концевых кранов с интервалом 10 вагонов.***

замер плотности производится: при полном опробовании тормозов, при сокращенном опробовании тормозов, при технологическом опробовании тормозов в грузовых поездах, при приёмке крана машиниста, а также после стоянки 300 секунд (5 минут) и более [4].

С целью проверки проходимости тормозной магистрали перед отправлением осуществляется постановка ручки крана управляющего органа в первое положение – зарядка тормозной магистрали [4]. По интенсивности завышения давления в тормозной магистрали диагностируется перекрытие концевых кранов в поезде. Расшифровка скоростимерных лент и проверка локомотивных бригад показывают, что значительная часть работников эту процедуру производят формально, не контролируют показания манометров. Крушение на перегоне Ярал–Симская 11.08.2011 года – подтверждение этому.

В процессе изучения проблемы было проведено экспериментальное исследование на предмет эффективности процедуры постановки крана машиниста в первое положение для проверки проходимости и целостности тормозной магистрали. Данные представлены на рис. 5.

Осуществлялось перекрытие концевых кранов поезда за локомотивом, после десятого, двадцатого, тридцатого, сорокового вагонов. На графике видно, что перекрытие уже за десятым вагоном с помощью

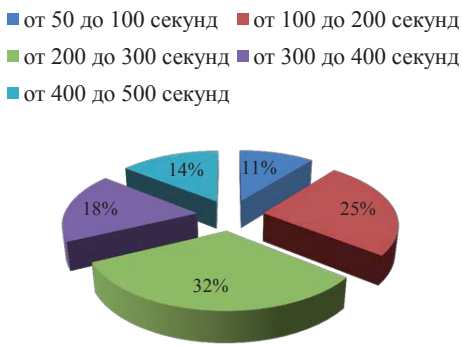



***Рис. 7. Результаты замера плотности грузовых поездов.***

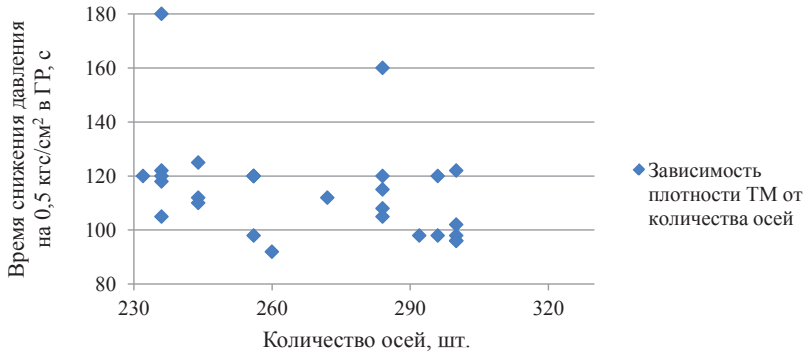



***Рис. 8. Зависимость плотности тормозной сети от количества осей грузовых поездов.***

регламентированного теста не выявить из-за роста объёма тормозной сети.

В ходе эксперимента производился замер плотности тормозной сети поезда при перекрытии концевых кранов с интервалом 10 вагонов, это иллюстрирует рис. 6. Можно заключить, что плотность увеличивается с перекрытием кранов в поезде.

Кроме того, в результате экспериментальных поездок в составе локомотивной бригады на участке обслуживания Таксимо–Северобайкальск–Лена произведен замер плотности в грузовых поездах (во II-м положении управляющего органа крана машиниста) длиной от 200 до 250 осей. Результаты представлены на рис. 7. Из диаграммы видно, что плотность поездов достигает 500 секунд. Такое количество времени не заложено в технологический процесс замера плотности и технологическую операцию по обработке поезда с выдачей справки формы ВУ-45 «Об обеспечении поезда тормозами и исправном их действии».

Далее следует анализ справок формы ВУ-45, полученных в депо. На рис. 8 изображены значения плотности тормозной сети поезда (во II-м положении управляющего органа крана машиниста), соответствующие данным справок.

Анализ свидетельствует, что плотность в справке формы ВУ-45 машинисты указывают фиктивную. Происходит это ввиду того, что перед каждым отправлением грузового поезда с промежуточной станции или перегона при стоянке более 300 секунд (5 минут) машинист обязан проверить плотность тормозной сети с отметкой её значения на обороте справки. Если обнаружится изменение более чем на 20 % в сторону увеличения или уменьшения, то время остановки возрастает на 500 секунд [4], что не допускают график движения поездов, выполнение ходовой, технической, участковой, маршрутной скорости. Особенно это актуально для однопутных участков, где стоянки на станциях наиболее частые.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили необходимость совершенствования процедуры замера плотности тормозной сети поезда, внедрения современных технических средств контроля. С развитием научно-технического прогресса влияние человеческого фактора на безопасность движения можно минимизировать, и именно этой задаче в Иркутском государственном университете путей сообщения подчинено создание «Системы диагностики тормозной сети поезда».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Терских И. П., Овчинникова Н. И., Вильчинский В. М. Надёжность процесса уборки зерновых прямым комбайнированием: Учеб. пособие.– Иркутск, 2002.– 360 с.

2. Венцевич Л. Е. Тормоза подвижного состава железных дорог.– М.: УМЦ ЖДТ, 2010.– 560 с.

3. Приказ Минтранса РФ от 21.12.2010 № 286 «Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации» / В ред. от 25.12.2015.

4. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава / Утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от 6–7 мая 2014 г. № 60).

Координаты автора: **Мануилов Н. И.** – nikita-manuilov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 03.02.2017, принята к публикации 15.03.2017.

# HUMAN FACTOR INFLUENCE ON TRAIN BRAKE EQUIPMENT RELIABILITY

***Manuilov, Nikita I.,*** *Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia.*

## ABSTRACT

The article considers the human factor influence on trouble-free operation of brake equipment of trains. The study was carried out by an analytical method, based on the statistics of equipment failures, assessment of implementation of the current rules for railway rolling stock maintenance. The problem of the lack of an effective device for diagnosing the brake network of a train, which would provide control over its integrity and density in the course of traffic and during stops, is revealed. At the same time, it is also necessary to reduce time for measuring density of the brake network, the train to automate this process.

*Keywords: railway, traffic safety, braking equipment, train brake network density, reliability, human factor.*

**Background.** *The concept of «human factor» is characterized by extreme variety and complexity. Theoretically, it can include all the phenomena in organization of traffic safety, one way or another connected with a man. Train movement is a functioning of a complex biomachine system, which includes subsystems: a man (locomotive crew), equipment (train), technology, environment (weather, climate) [1].*

**Objective.** *The objective of the author is to consider the human factor influence on reliability of the brake equipment of the train.*

**Methods.** *The author uses general scientific and engineering methods, comparative analysis, scientific description, evaluation approach, graph construction.*

**Results.** *In analyzing the results of scientific research, the practice of locomotive crews, data from search experiments and observations of brake equipment, we constantly have to make sure that proposals for improving safety of train traffic must be fully assessed systematically.*

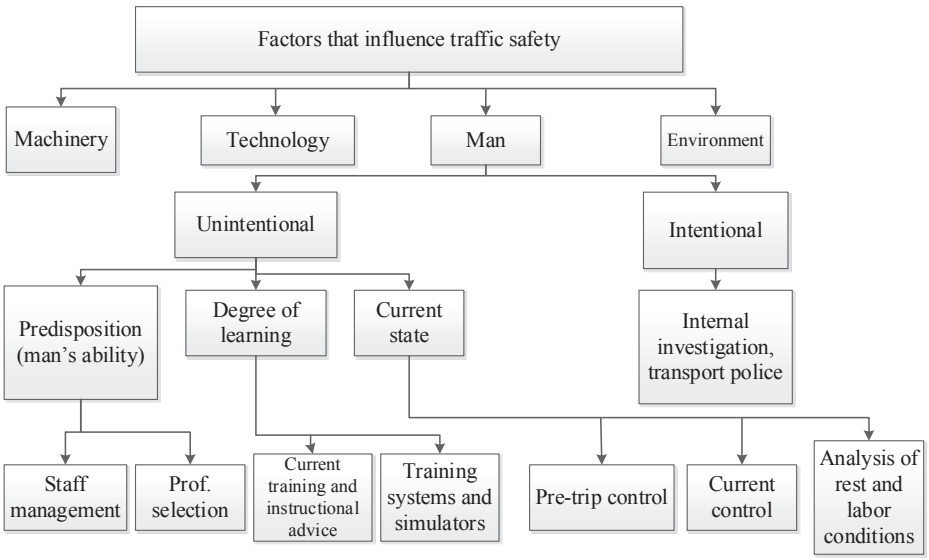
*Between efficiency, reliability, performance and other operational indicators of the brake equipment, there are certain relationships, identification of which allows to monitor functioning of the system. However, prevention of accidents and ensuring traffic safety on the move is carried out by the locomotive crew, therefore reliability problems of its actions remain decisive, which was reflected in the generalization scheme shown in Pic. 1.*

*To ensure traffic safety and reliable operation of brake devices, continuous monitoring by the locomotive crew is required for the state of the entire brake line: from the driver's brake valve to the end valve of the last car in the train.*

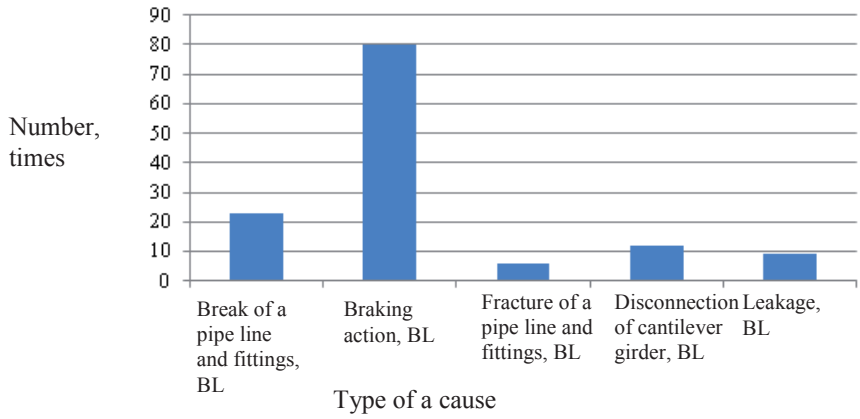
*The principle of operation of pneumatic brakes is that when the pressure in the brake line (hereinafter BL) of the train decreases by the rate of service or emergency braking, each air distributor of the car fills the brake cylinder with compressed air from the reserve tank, and when the pressure in BL increases, it releases compressed air from the cylinder in atmosphere. The train must be stopped within the calculated stopping distance, for which faultlessly functioning brakes are required [2].*

*Automatic and electro-pneumatic brakes of railway rolling stock must be kept in accordance with rules and regulations, have controllability and reliability of operation in various operating conditions, ensure smooth braking, and automatic stop of the train when the brake line is disconnected or broken and when the emergency brake valve is opened [3]. The locomotive crew is obliged to monitor the air pressure through manometers, in the absence of such control there is a possibility of unauthorized reduction of the charging pressure in BL, which makes it impossible to stop before the restrictive signal, and this entails a collision or wreck of the train.*

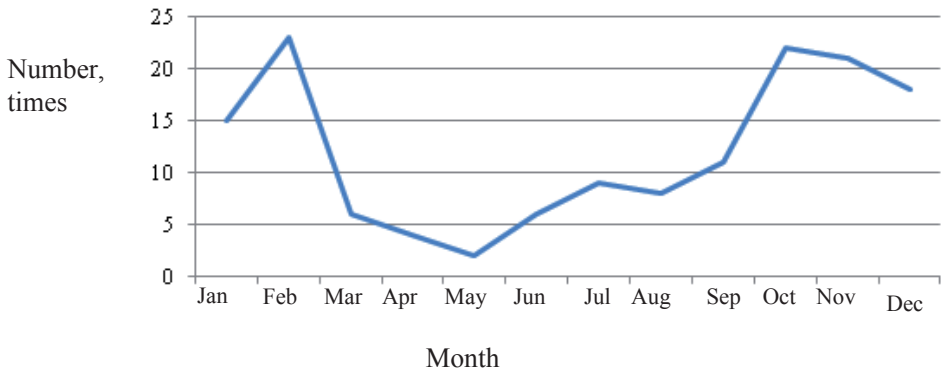
*Minor malfunctions, leading to spontaneous activation of auto brakes, as well a complete failure*



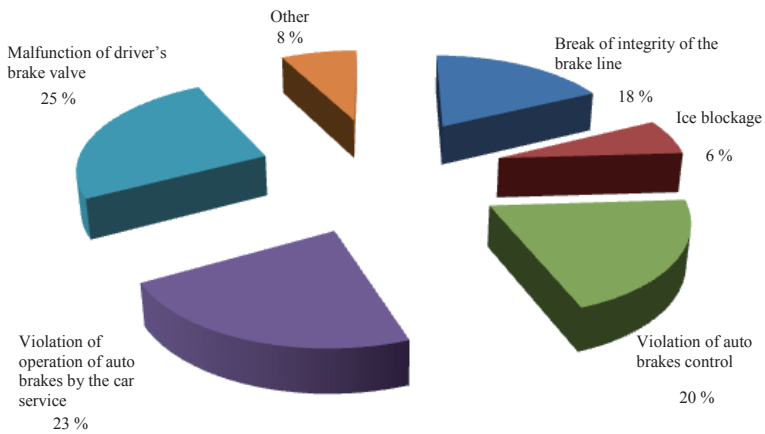

***Pic. 1. Factors affecting traffic safety.***




***Pic. 2. Statistics of failures of braking equipment of cars on the East-Siberian Railway for 2015.***




***Pic. 3. Malfunctions of brakes on the East-Siberian Railway on monthly basis.***

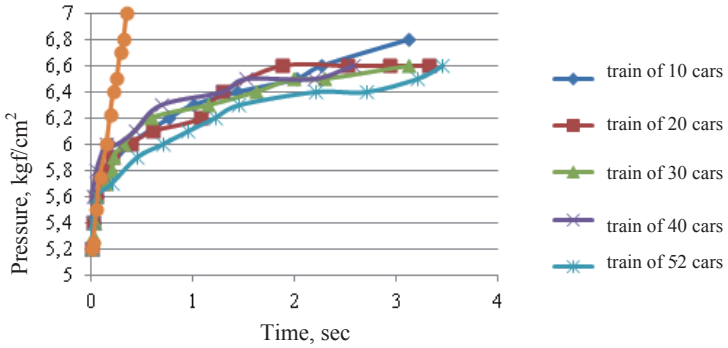



***Pic. 4. Causes of failures of the brake equipment over the last 15 years.***

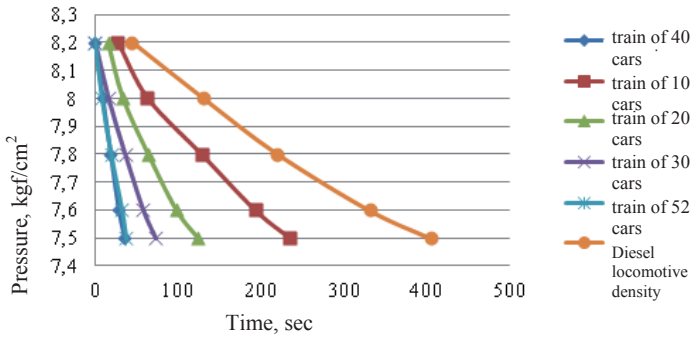
*of auto-braking equipment occur. Pic. 2 shows the statistics of failures of braking equipment of cars on the East Siberian Railway (hereinafter referred to as «ESR») for 2015.*

*Due to the lack of diagnostic devices, most failures of brake equipment – «activation» – occur for unknown reasons. Pic. 3 illustrates the failure of the brakes by months on the ESR.*

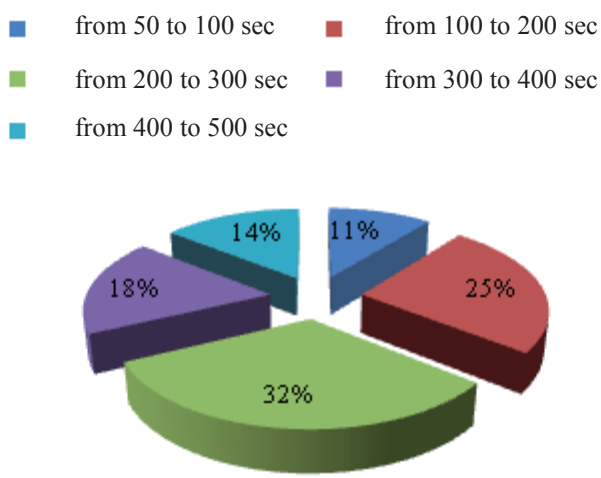
*Obviously, with the onset of low temperatures, the number of failures of brake equipment increases, which demonstrates the importance of taking into account the external environment. And this is despite the fact that before train departure a whole complex of checks is carried out, covering almost every brake device on the rolling stock. Violations arise in the system «man – train – technology – environment» in*




***Pic. 5. Overestimation of pressure in BL when setting the handle of the driver's brake valve in the first position.***




***Pic. 6. Increase in the density of the brake network of the train when the end valves with an interval of 10 cars.***



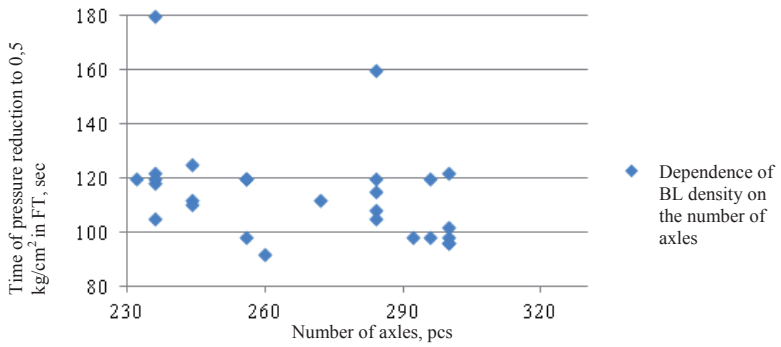

***Pic. 7. Results of measuring the density of freight trains.***

*most cases through the fault of a person. The reasons for failures of the brake equipment over the past 15 years are shown in Pic. 4.*

*About 90 % of these faults are diagnosed by a train driver with the help of such parameter as density of the brake network. The density of the brake network of the train is time of pressure reduction in the main tanks from 0,85 MPa to 0,8 MPa.*

*The human factor influences the existing technique for measuring density and diagnostics of the brake network as a whole, this is due to the low precision of the instruments and imperfection of methods for determining the correctness of the brake equipment. Density is measured by hours, based on the readings of the manometer, the measurement error reaches 40 %. Metering is done many times during the trip.*

*In accordance with paragraph IV of the «Rules for technical maintenance of brake equipment and brake control of railway rolling stock», the density is measured: with full brake testing, with reduced brake testing, with technological testing of brakes in freight trains, with the acceptance of the driver's brake valve, and also after stop for 300 seconds (5 minutes) or more [4].*




***Pic. 8. Dependence of the brake network density on the number of axles of freight trains.***

*In order to check the passability of the brake line, the handle of the drive valve is placed in the first position – charging the brake line before departure [4]. The intensity of the overestimation of pressure in the brake line is used to diagnose the closing of the end valves in the train. The interpretation of speed bands and the checking of locomotive crews show that a significant number of workers perform this procedure formally, do not control the readings of manometers. The crash on the haul of Yaral–Simskaya on 11.08.2011 is a confirmation of this.*

*In the process of studying the problem, an experimental study was conducted to determine the effectiveness of the procedure for placing the driver's brake valve in the first position to check the passability and integrity of the brake line. The data are presented in Pic. 5.*

*Overlapping of the end valves of the train behind the locomotive, after the tenth, twentieth, thirtieth, fortieth cars was carried out. The graph shows that the overlap of already the tenth car with the help of a regulated test cannot be detected due to the growth of the brake network.*

*In the course of the experiment, the density of the brake network of the train was measured while overlapping the end valves at an interval of 10 cars, as illustrated in Pic. 6. It can be concluded that the density increases with the overlapping of valves in the train.*

*In addition, as a result of the experimental trips, density of the freight trains (in the II position of the operating body of the driver's brake valve) in the length of 200 to 250 axes was measured on the service section of Taksimo–Severobaikalsk–Lena service station. The results are shown in Pic. 7. The diagram shows that the density of trains reaches 500 seconds. Such amount of time is not included in the technological process of density measurement and technological operation for processing the train with the issuance of a certificate of the form VU-45 «On providing the train with brakes and their serviceable operation».*

*Then follows the analysis of the certificates of the form VU-45, obtained in the depot. Pic. 8 depicts the values of the density of the brake network of the train (in the II position of the control body of the driver's brake valve), which correspond to the data of certificates.*

*The analysis shows that the drivers indicate a fictitious density in the certificate of the form VU-45. This is due to the fact that before each departure of a freight train from an intermediate station or a haul in stop for more than 300 seconds (5 minutes), the driver must check the density of the brake network with a mark on the back of the certificate. If a change of more than 20 % is seen to increase or decrease, the stopping time increases by 500 seconds [4], which does not allow the train schedule, running, technical, precinct, route speed. This is especially true for single-track sections, where stops at stations are the most frequent.*

**Conclusion.** *The conducted studies confirmed the need to improve the procedure for measuring the density of the brake network of a train, the introduction of modern technical means of control. With development of scientific and technological progress, the influence of the human factor on traffic safety can be minimized, and it is this task at Irkutsk State Transport University the creation of the «Brake Train Network Diagnostics System» is subordinate.*

## REFERENCES

1. Terskikh, I. P., Ovchinnikova, N. I., Vilchinsky, V. M. Reliability of harvesting grain by direct combining: study guide [*Nadezhnost' processa uborki zernovyh prjamym kombajnirovaniem: Ucheb. posobie*]. Irkutsk, 2002, 360 p.

2. Ventsevich, L. E. Brakes of rolling stock of railways [*Tormoza podvizhnogo sostava zheleznyh dorog*].Moscow, UMC ZhDT publ., 2010, 560 p.

3. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of December 21, 2010 No. 286 «On approval of the Rules for Technical Operation of Railways of the Russian Federation». Ed. from 25.12.2015 [*Prikaz Mintransa RF ot 21.12.2010 № 286 «Ob utverzhdenii Pravil tehnicheskoj ekspluatacii zheleznyh dorog Rossijskoj Federacii». V red. ot 25.12.2015*].

4. Rules for maintenance of braking equipment and brake control of railway rolling stock. Approved by the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States (Minutes No. 60 of May 6–7, 2014) [*Pravila tehnicheskogo obsluzhivanija tormoznogo oborudovanija i upravlenija tormozami zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Utverzhdeno Sovetom po zheleznodorozhnomu transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva (protokol ot 6–7 maja 2014 g. № 60)*].

Information about the author:
**Manuilov, Nikita I.** – Ph.D. student at the department of Electric rolling stock of Irkutsk State Transport University (IrGUPS), Irkutsk, Russia, nikita-manuilov@mail.ru.

Article received 03.02.2017, accepted 15.03.2017.

# ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ХОЛДИНГА «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

Директор по информационным технологиям ОАО «РЖД» Евгений Чаркин 7 июня 2017 года на Международном железнодорожном бизнес-форуме «Стратегическое партнёрство 1520» в ходе дискуссии на тему развития цифровых технологий на транспорте подчеркнул, что «мы хотим сделать так, чтобы холдинг «РЖД» стал хабом, который не боролся бы с конкурентами, а, наоборот, для удобства клиента вовлекал в общую систему все возможные виды транспорта».

По его словам, в настоящий момент компании холдинга наращивают долю логистических услуг, развивают интермодальные перевозки, подключая автомобильный транспорт.

«Компания активно занимается мобильными приложениями, осваивает современные механизмы оповещения клиентов о грузовых перевозках через мессенджеры. Наша стратегическая цель – стремиться к единому информационному пространству», – сказал Евгений Чаркин.

Он отметил, что в области управления движением ОАО «РЖД» переходит на интеллектуальные управленческие системы. Это позволит автоматически формировать оптимальный график движения поездов. На стадии проработки находится беспилотное движение поездов, в первую очередь на Московском центральном кольце.

Он также сообщил, что цифровые технологии внедряются и в мониторинге состояния инфраструктуры. Речь идет об интеграции систем видеоконтроля состояния пути скоростных и выскокоскоростных поездов и систем мониторинга путеизмерителей и дефектоскопов.

ОАО «РЖД» проводит большую работу и по унификации национальных систем электронного документооборота, в которую включено уже более 10 стран.

«Сегодня мы активно смотрим на создание электронного транзитного коридора из Китая в Европу. Строим технологию так, чтобы клиенту было выгоднее пользоваться услугами железной дороги, чтобы это было быстрее и дешевле», – резюмировал Евгений Чаркин.

**По материалам пресс-службы ОАО «РЖД»** ●

# UNIFIED INFORMATION SYSTEM OF RZD HOLDING

Yevgeny Charkin, the Director of Information Technologies at Russian Railways, has announced that the RZD Holding is working to create a unified information system which will combine different modes of transport.

He made his announcement at the International Railway Business Forum «1520 Strategic Partnership» during a discussion on the development of digital technologies in transport on 7 June 2017.

«We want to make the RZD Holding a hub that does not compete with competitors, but, on the contrary, includes all the possible modes of transport in a common system for the convenience of the client», said Yevgeny Charkin.

According to the Director of IT, at the moment the Holding's companies are increasing the proportion of logistics services, developing intermodal transport and involving road transport.

«The Company is actively developing mobile applications and mastering modern mechanisms for alerting customers about freight transportation through messengers», said Yevgeny Charkin. «Our strategic goal is to strive for a unified information space».

Charkin noted that in the field of traffic management, Russian Railways is moving towards smart management systems. This will automatically create an optimal train timetable. Driverless trains are now in the development stage, in particular for the Moscow Central Ring.

He also said that digital technologies are being introduced to monitor the state of the infrastructure, including the integration of video monitoring systems for the state of the track used by high-speed trains and monitoring systems for track geometry cars and fault detectors.

Russian Railways is also carrying out extensive work to unify the national electronic document management systems, which cover more than 10 countries.

«Today, we are actively looking at the creation of an electronic transit corridor from China to Europe. We are building technology in such a way that it would be more profitable for the client to use railway services, so that it would be faster and cheaper», summed up Yevgeny Charkin.

**Based on press releases of JSC Russian Railways** ●



● WORLD OF TRANSPORT AND TRANSPORTATION, Vol. 15, Iss. 3, p. 205 (2017)

УДК 656.2.08:621.397.42

# Снижение аварийных рисков с помощью систем интеллектуального видеонаблюдения

Любовь ЖУРАВЛЁВА
Lyubov M. ZHURAVLEVA

Александр БОГАЧЕВ
Alexander P. BOGACHEV

Никита ЯЦКИВСКИЙ
Nikita V. YATSKIVSKY

***Журавлёва Любовь Михайловна*** *– кандидат технических наук, доцент, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*
***Богачев Александр Петрович*** *– старший преподаватель МИИТ, Москва, Россия.*
***Яцкивский Никита Владимирович*** *– студент МИИТ, Москва, Россия.*

**Reduction of Emergency Risks with the Help of Intelligent Video Surveillance Systems**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 210)*

***В статье рассматривается применение систем интеллектуального видеонаблюдения как дополнительной меры по обеспечению безопасности движения поездов на опасных участках железных дорог (переезды, тоннели, сложный рельеф и т.д.). Предлагается для организации каналов связи использовать ресурсы волоконно-оптической передающей сети и частотный диапазон поездной радиосвязи при условии модернизации существующей аппаратуры.***

*Ключевые слова: железная дорога, безопасность движения, видеонаблюдение, высокая чёткость, видеоаналитика.*

Основным критерием оценки усилий по повышению безопасности движения поездов является снижение вероятности аварийной ситуации. Этот параметр отражает предупреждение и нейтрализацию большого числа вероятностей: отказа аппаратуры, обрыва линий связи, ошибок диспетчера и машиниста, оползней, камнепадов, злонамеренных действий и других негативных событий.

Одним из способов обеспечения безопасности на дорогах все увереннее становится внедрение систем интеллектуального видеонаблюдения. Эти системы могут предотвратить дорожно-транспортные происшествия на переездах, аварии на участках со сложным рельефом или с повышенной вероятностью оползней, опасные ситуации в условиях плохой видимости, в случае террористической угрозы взрывов в тоннелях и на других охраняемых объектах.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Автоматические и автоматизированные системы видеонаблюдения выполняют роль

одной из ключевых составляющих комплексных систем безопасности [1]. Задача видеонаблюдения подразумевает визуальный контроль заданной области пространства при помощи видеокамер, позволяющих сохранять и просматривать цифровые видеоданные, а также оценивать состояние контролируемой территории, выделяя так называемые «охранные события», причастные к тем или иным изменениям наблюдаемой обстановки.

Исторически основными функциями систем видеонаблюдения являются вывод информации в непрерывном режиме на пункт контроля и запись в архив. На сегодняшний день к таким системам предъявляются более высокие требования по части функционала, что стимулирует переход от аналоговых способов получения, отображения и хранения видеоинформации к цифровым (IP-камеры, компьютерные мониторы, цифровые базы данных).

Современные распределенные системы видеонаблюдения основаны на клиент-серверной архитектуре, согласно которой видеопоток от камер поступает на сервер, где производится его первичная обработка (сжатие, оцифровка видеосигнала) и хранение. Наличие специализированного программного обеспечения (ПО) для осуществления видеоаналитики – ядро всей системы интеллектуального видеонаблюдения, что, в свою очередь, отличает её от обычной системы видеонаблюдения. Такое ПО использует методы компьютерного зрения, которые позволяют выполнять автоматизированный сбор данных с помощью анализа потока видеоизображений.

Результатом видеоаналитики становятся сообщения об опасных объектах или событиях, которые передаются оператору только в случае обнаружения тревожных признаков, а также записываются в видеоархив.

Видеоаналитика опирается на алгоритмы обработки изображения и распознавания образов, позволяющие анализировать видео без прямого участия человека [2].

В зависимости от целей видеоаналитика может выполнять одну или несколько функций:

1) обнаружение объектов с помощью видеодетекторов движения;

2) слежение за объектом с помощью нескольких видеокамер и специальных алгоритмов обработки;

3) классификация объектов на основании признаков формы и размеров;

4) идентификация объектов (например, людей по биометрическим признакам лица);

5) распознавание (обнаружение) тревожных ситуаций на основе анализа поведения объекта наблюдения.

Видеоаналитика может иметь дополнительные функции, например:

1) прогнозирование поведения объекта;

2) интеллектуальное сжатие видеоконтента (передается только видео, содержащее тревожные ситуации), что уменьшает нагрузку на канал связи и оператора видеонаблюдения;

3) ранжирование (определение приоритета) событий видеоаналитики, что позволяет оператору сосредоточить внимание только на важных событиях и не отвлекаться на второстепенные ситуации.

С точки зрения применения различают следующие типы видеоаналитики:

1) периметральная (охрана протяженных участков);

2) ситуационная (распознавание тревожных ситуаций, связанных с поведением людей, движением транспортных средств);

3) биометрическая (идентификация лиц);

4) бизнес-аналитика (управление организацией).

С точки зрения аппаратно-программной архитектуры наиболее известны три типа систем видеоаналитики:

1) серверная видеоаналитика предполагает централизованную обработку видеоданных на центральном процессоре, непрерывную передачу видео от источника информации на сервер;

2) встроенная видеоаналитика реализуется в источнике видеоданных (видеокамере), работает на выделенном процессоре, передает данные об объекте вместе с видеопотоком на общий для всех камер сервер обработки, видеоанализа и хранения;

3) распределенная система реализуется как гибридный вариант серверной и встроенной видеоаналитики.

Главным недостатком многих вариантов видеоаналитики считается высокая частота ложных срабатываний. Эта проблема постепенно решается путем совершенствования алгоритмов видеоанализа.

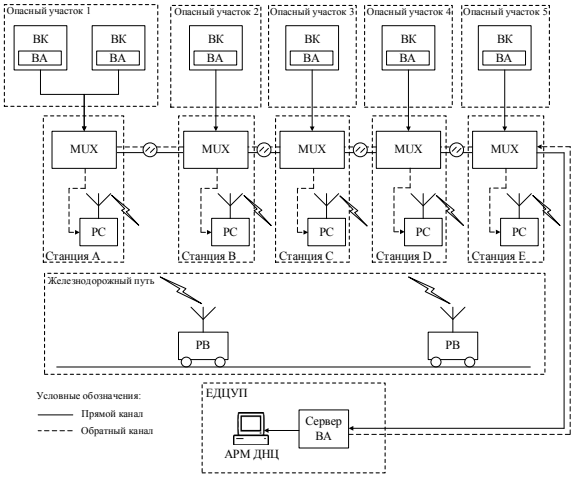



***Рис. 1. Схема организации системы интеллектуального видеонаблюдения на железнодорожном транспорте.***

## ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Интеллектуальное видеонаблюдение за движением поездов можно организовать с помощью волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), предназначенной для сигналов оперативно-технологической связи, и цифровой системы поездной радиосвязи (ПРС).

Схема организации системы интеллектуального видеонаблюдения на железнодорожном транспорте, представленная на рис. 1, имеет следующие обозначения: ВК – видеокамера со встроенной ВА (видеоаналитикой); MUX – аппаратный комплекс, включающий в себя мультиплексор первичной сети и коммутационную станцию, обеспечивающую подключение видеокамер и радиостанций к сети доступа; РС – радиостанция стационарная; РВ – радиостанция возимая; АРМ ДНЦ – автоматизированное рабочее место поездного диспетчера; ЕДЦУП – единый дорожный центр управления перевозками, который располагается на станции управления дороги; СУ – система управления; СПД – сеть передачи данных; прямой канал – это канал передачи видеопотока с камер на сервер ВА и АРМ ДНЦ; обратный канал – это канал передачи видеопотока с сервера ВА в кабину машиниста (включает кроме проводного участка радиоканал ПРС).

Одна или несколько видеокамер (ВК) устанавливаются в местах повышенной опасности: на участках с оползнями, сложным рельефом, плохой видимостью, переездами, тоннелями (на входе и выходе) и т.д.

Встроенная видеоаналитика (ВА), реализованная с помощью видеопроцессора в камере, автоматически формирует управляющий сигнал для начала и конца трансляции видеоизображения от ВК на сервер, расположенный на станции управления дороги, при появлении опасного объекта в поле зрения камеры. После обнаружения видеоизображение объекта и метаданные с описанием содержания каждого кадра (местоположение, идентификация объекта, время, траектория, скорость движения и т.д.) передаются на сервер.

В сервере осуществляется декодирование, сравнение изображения от нескольких камер, видеоанализ, индексирование, оценка степени опасности события, хранение информации и т.д. Затем изображение выводится на экран автоматизированного рабочего места оператора или поездного диспетчера (ДНЦ).

Диспетчер принимает решение о необходимости передачи циркулярного вызова об опасном объекте или событии всем участникам движения (машинистам локомотивов, дежурным по станции ДСП и др.) и операторам подразделений (пути, энергоснабжения, сигнализации и блокировки и т.п.), находящихся на его участке железной дороги. Такой ситуационный режим передачи видеоизображения от ВК позволяет эффективно использовать каналы связи, не нагружает оператора, уменьшает объём хранимой видеоинформации и т.д.

Дополнительно можно реализовать с помощью каналов поездной диспетчерской связи (ПДС) и поездной радиосвязи (ПРС), в случае необходимости, передачу видеоизображения опасного объекта в сжатом формате машинистам локомотивов, полностью используя выделенный диапазон частот

цифровой ПРС на приём и передачу (шириной в 6 МГц). Для реализации этого варианта потребуется модернизация приёмо-передающей аппаратуры стационарных и локомотивных радиостанций или создание новых широкополосных радиостанций. В этом случае сохраняется расчётная трасса для распространения радиосигнала ПРС в выделенном для железнодорожного транспорта диапазоне частот (антенно-фидерные устройства, вышки для установки антенн, базовые станции).

Возможен вариант трансляции видеоизображения на локомотивы за 2 км от места установки видеокамер в случае обнаружения опасного объекта для своевременного торможения поезда. Для этих целей потребуется создание комплектов приёмопередающей аппаратуры в свободном диапазоне частот (2,41 ГГц) и установка дополнительных вышек для антенн [3].

Использование для основного канала передачи видеоизображения на станцию управления дороги волоконно-оптических систем передачи информации дает возможность реализовать мегапиксельную видеоаналитику высокой чёткости (HD), позволяющую снизить объём видеоданных в 5 раз по сравнению со стандартными системами и обеспечить высокую детализацию объекта наблюдения для более качественного детектирования, сопровождения, индентификации и классификации целей в автоматическом режиме [4].

## ВЫВОДЫ

Наибольшей эффективностью для повышения безопасности движения поездов обладает система интеллектуального видеонаблюдения с архитектурой, соединяющей алгоритмы встроенной и распределенной видеоаналитики. Такая схема будет передавать информацию только в случае возникновения тревожных событий, что позволит подключить к одному каналу связи несколько десятков видеокамер и облегчить работу оператора (ДНЦ).

В качестве обратного канала от ДНЦ к машинисту можно использовать каналы ПРС. В простейшем случае передавать речевую информацию в режиме циркулярного вызова. В более сложных вариантах предусмотреть передачу видеосигналов в кабину локомотива в диапазоне частот железнодорожного транспорта или создавать для этих целей самостоятельную систему радиосвязи, непосредственно связанную с видеокамерами.

Основными функциями системы видеонаблюдения должны быть:

– обнаружение объектов;

– слежение за ними с помощью специальных алгоритмов обработки;

– идентификация и классификация объектов;

– ранжирование событий;

– распознавание тревожных ситуаций на основе анализа поведения объекта наблюдения;

– прогнозирование событий для предотвращения аварийных ситуаций.

Огромные возможности ВОСП по ширине полосы пропускания (более 20 ТГц) и современные технологии волнового уплотнения позволят реализовать интеллектуальное видеонаблюдение высокой чёткости, которое обеспечит более качественное детектирование объектов наблюдения и обнаружение опасных ситуаций.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Область применения: видеонаблюдение // Информационный проект профессионального сообщества «Техническое зрение». [Электронный ресурс]: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/. Доступ 20.01.2017.

2. Видеоаналитика // ООО «Синезис». [Электронный ресурс]: http://synesis.ru/technology/videoanalitika. Доступ 20.01.2017.

3. Анопченко Н. В., Косилов Р. А., Терешин Н. В., Богачев А. П. Радиотелевизионная система предотвратит наезд // Локомотив.– 2002.– № 8.– С. 29.

4. Видеоаналитика высокой чёткости (HD) // ООО «Синезис». [Электронный ресурс]: http://synesis.ru/technology/videoanalitika-vyisokoj-chetkosti. Доступ 20.01.2017.

5. Обзор систем видеонаблюдения // ООО «ЮКОНТРОЛ СБ». [Электронный ресурс]: http://www.ucontrol.ru/videonabludenie/obzor/. Доступ 26.01.2017.

6. Хрулев А. А. Интеллектуальная система видеонаблюдения в составе комплексной системы безопасности на метрополитене // Системы безопасности.– 2014.– № 2.– С. 40.

7. Макарецкий Е. А., Овчинников А. В., Нгуен Л. Х. Телевизионные измерительные системы контроля скоростного режима дорожного движения // Компоненты и технологии.– 2007.– № 4.– С. 34.




Координаты авторов: **Журавлёва Л. М.** – zhlubov@mail.ru, **Богачев А. П.** – alpebog@mail.ru, **Яцкивский Н. В.** – nikrestinpiece@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 20.01.2017, принята к публикации 12.04.2017.

# REDUCTION OF EMERGENCY RISKS WITH THE HELP OF INTELLIGENT VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS

***Zhuravleva, Lyubov M.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Bogachev, Alexander P.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*
***Yatskivsky, Nikita V.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article considers the use of intelligent video surveillance systems as an additional measure to ensure the safety of train traffic on dangerous sections of railways (crossings, tunnels, complex terrain, etc.). It is proposed to use the resources of the fiber-optic transmission network and the frequency range of train radio communication for organization of communication channels, provided that the existing equipment is modernized.

*Keywords: railway, traffic safety, video surveillance, high definition, video analytics.*

**Background.** *The main criterion for assessing efforts to improve the safety of train traffic is to reduce the likelihood of an emergency. This parameter reflects the prevention and neutralization of a large number of probabilities: failure of equipment, breakage of communication lines, operator's and driver's errors, landslides, rockfalls, malicious acts and other negative events.*

*One of the ways to ensure safety on the roads is the introduction of intelligent video surveillance systems. These systems can prevent road accidents at crossings, accidents in areas with complex terrain or with an increased likelihood of landslides, dangerous situations in conditions of poor visibility, in case of terrorist threat of explosions in tunnels and other protected sites.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider reduction of emergency risks with the help of intelligent video surveillance systems*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach.*

**Results.**

**Classification of systems**

*Automatic and automated video surveillance systems act as one of the key components of integrated security systems [1]. The task of video surveillance involves visual control of a given area of space using video cameras that allow storing and viewing digital video data, as well as assessing the state of the monitored territory, highlighting the so-called «security events» that are involved in various changes in the observed situation.*

*Historically, the main functions of video surveillance systems are the output of information in a continuous mode to the point of control and recording into the archive. To date, these systems have higher requirements for functionality, which stimulates the transition from analogue methods of obtaining, displaying and storing video information to digital (IP cameras, computer monitors, digital databases).*

*Modern distributed video surveillance systems are based on the client-server architecture, according to which the video stream from the cameras goes to the server, where it is first processed (compression, digitization of the video signal) and stored. The availability of specialized software for the implementation of video analytics is the core of the entire intelligent video surveillance system, which, in turn, distinguishes it from the conventional video surveillance system. Such software uses computer vision techniques that allow automated collection of data by analyzing the flow of video images.*

*The result of video analytics are messages about dangerous objects or events that are transmitted to the operator only in case of detection of alarm signs, and also recorded in the video archive.*

*Video analytics relies on algorithms for image processing and pattern recognition, which allow analyzing video without direct human participation [2].*

*Depending on the goals, the video analyst can perform one or more functions:*

*1) detection of objects using video motion detectors;*

*2) tracking the object with the help of several video cameras and special processing algorithms;*

*3) classification of objects on the basis of signs of shape and size;*

*4) identification of objects (for example, people according to the biometric features of the person);*

*5) recognition (detection) of alarm situations on the basis of an analysis of the behavior of the object of observation.*

*Video analytics can have additional functions, for example:*

*1) prediction of the behavior of the object;*

*2) intelligent compression of video content (only the video containing alarming situations is transmitted), which reduces the load on the communication channel and the video surveillance operator;*

*3) ranking (prioritizing) the events of video analytics, which allows the operator to focus only on important events and not be distracted by secondary situations.*

*From the point of view of application, the following types of video analytics are distinguished:*

*1) perimeter (protection of extended areas);*

*2) situational (recognition of anxiety situations associated with human behavior, movement of vehicles);*

*3) biometric (identification of persons);*

*4) business intelligence (organization management).*

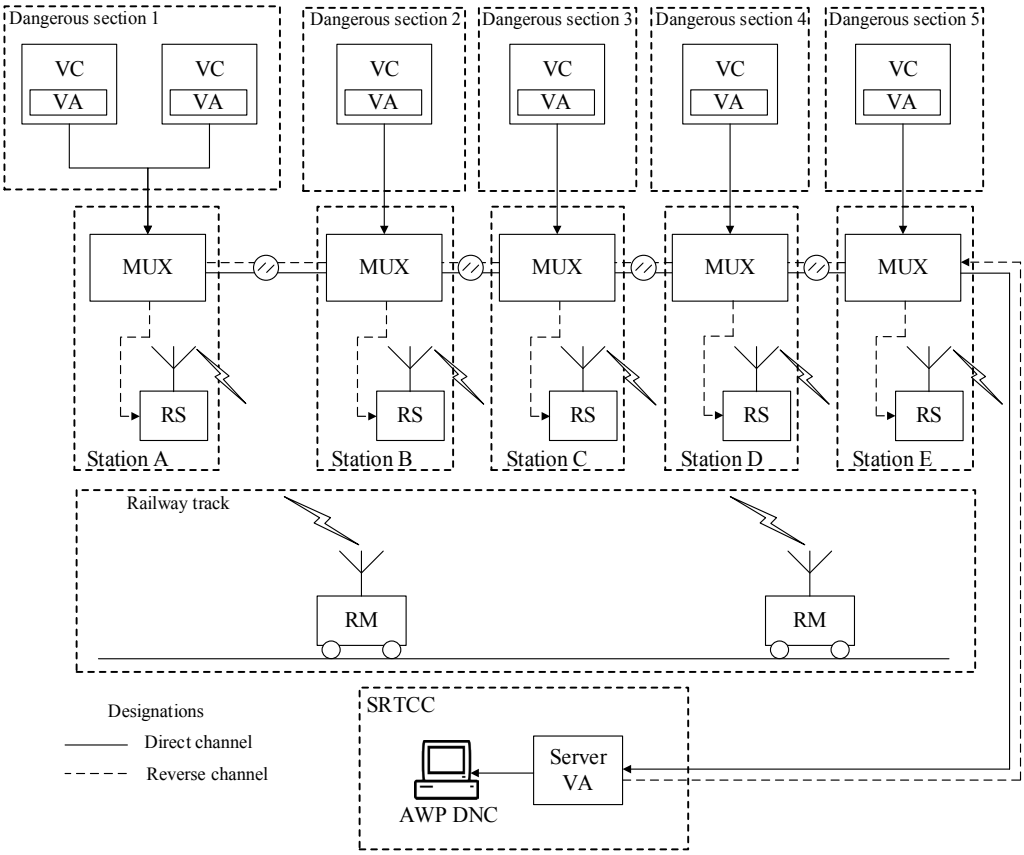
*From the point of view of the hardware-software architecture, three types of video analytics systems are best known:*

*1) server video analytics assumes centralized processing of video data on the central processor, continuous transmission of video from the source of information to the server;*

*2) built-in video analytics is implemented in the video data source (video camera), works on a dedicated processor, transmits data about the object along with the video stream to a common processing, video analysis and storage server for all cameras;*

*3) distributed system is implemented as a hybrid version of server and embedded video analytics.*

*The main disadvantage of many variants of video analytics is the high frequency of false positives. This problem is gradually solved by improving the algorithms of video analysis.*




***Pic. 1. Scheme of organization of an intelligent video surveillance system in railway transport.***

**Organization of intelligent video surveillance**

*Intelligent video monitoring of the movement of trains can be organized with the help of a fiber optic transmission system (FOTS), designed for signals of operational and technological communication, and a digital system of train radio communications (TRC).*

*The scheme of organization of the intelligent video surveillance system in railway transport, presented in Pic. 1, has the following designations: VC – video camera with built-in VA (video analytics); MUX – hardware complex, including a multiplexer of the primary network and a switching station, which provides the connection of video cameras and radio stations to the access network; RS – stationary radio station; RM – mobile radio station; AWP DNC – automated workplace of the train dispatcher; SRTCC – single road transport control center, which is located at the road control station; CS – control system; DTN – data transmission network; a direct channel is a channel for transmitting a video stream from cameras to an VA server and AWP DNC; a reverse channel is a channel for transmitting the video stream from the VA server to the driver's cabin (includes the radio channel TRC in addition to the wire section).*

*One or several video cameras (VC) are installed in places of increased danger: in areas with landslides, difficult terrain, poor visibility, crossings, tunnels (at the entrance and exit), etc.*

*Built-in video analytics (VA), realized with the help of a video processor in the camera, automatically generates a control signal for the beginning and end of the video transmission from the VC to the server located at the road control station when a dangerous object appears in the camera's field of view. After detection, the video image of the object and metadata describing the contents of each frame (location, object identification, time, path, speed, etc.) are transmitted to the server.*

*In the server decoding, image comparison from several cameras, video analysis, indexing, event risk assessment, storage of information, etc. are performed. Then the image is displayed on the screen of the automated workplace of the operator or train dispatcher (DNC).*

*The dispatcher makes a decision on the need to send a circular call about a dangerous object or event to all participants of the movement (locomotive drivers, station duty officers SDO, etc.) and to the operators of the units (of track, power supply, signaling and blocking, etc.) located on his section of the railway. Such a situation mode of video image transmission from VC allows to effectively use communication channels, does not burden the operator, reduces the amount of stored video information, etc.*

*In addition, it is possible to implement with the help of train dispatch communication (TDC) and train radio communication (TRC) channels, if necessary, the transmission of a video image of a dangerous object in a compressed format to locomotive drivers, using the allocated frequency band of a digital TRC for reception and transmission (6 MHz wide). To implement this option, modernization of the receiving and transmitting equipment of stationary and locomotive radio stations or creation of new broadband radio stations will be required. In this case, the*

*calculation path for propagation of the radio signal of TRC in the frequency band allocated for the railway transport (antenna-feeder devices, towers for antenna installation, base stations) is retained.*

*It is possible to transmit video images to locomotives 2 km away from the installation site of video cameras in case of detection of a dangerous object for the timely braking of the train. For this purpose, the creation of sets of transceiver equipment in the free frequency band (2,41 GHz) and the installation of additional towers for antennas is required [3].*

*The use of a fiber-optic data transmission system for the main channel of video transmission to the road control station enables megapixel high-definition (HD) video analytics to reduce the amount of video data by 5 times compared to standard systems and provide high detailization of the object for better detection, tracking and classification of targets in automatic mode [4].*

**Conclusions.** *The most effective for improving the safety of train traffic is the intelligent video surveillance system with an architecture that connects the algorithms of built-in and distributed video analytics. Such a scheme will transmit information only in the event of alarm events, which will allow connecting several dozens of video cameras to one communication channel and facilitate the operator's work (DNC).*

*As a reverse channel from the DNC to the driver, one can use the TRC channels. In the simplest case, transmit voice information in the circular call mode. In more complex versions, provide for transmission of video signals to the locomotive cabin in the frequency range of the railway transport or to create for these purposes an independent radio communication system directly connected with the video cameras.*

*The main functions of the video surveillance system should be:*

*– detection of objects;*

*– tracking them with the help of special processing algorithms;*

*– identification and classification of objects;*

*– ranking of events;*

*– recognition of alarm situations based on the analysis of the behavior of the object of observation;*

*– prediction of events to prevent emergencies.*

*The huge capabilities of FOTS over the bandwidth (more than 20 THz) and modern wave-sealing technologies will allow the implementation of intelligent high-definition video surveillance that will provide better detection of objects of observation and detection of dangerous situations.*

## REFERENCES


1. Information project of the professional community «Technical Vision». [Electronic resource]: http://wiki.technicalvision.ru/index.php/. Last accessed 20.01.2017.

2. Video analytics [*Videoanalitika*]. LLC «Synesis». [Electronic resource]: http://synesis.ru/technology/videoanalitika. Last accessed 20.01.2017.

3. Anopchenko, N. V., Kosilov, R. A., Tereshin, N. V., Bogachev, A. P. Radio-TV system will prevent the collision [*Radiotelevizionnaja sistema predotvratit naezd*]. *Lokomotiv*, 2002, Iss. 8, p. 29.

4. Video analytics of high definition (HD) [*Videoanalitika vysokoj chetkosti (HD)*]. LLC «Synesis». http://synesis.ru/technology/videoanalitika-vyisokoj-chetkosti. Last accessed 20.01.2017.

5. Survey of CCTV systems [*Obzor sistem videonabljudenija*]. LLC «YUKONTROL SB». http://www.ucontrol.ru/videonabludenie/obzor/. Last accessed 26.01.2017.

6. Khrulev, A. A. Intelligent video surveillance system as part of a comprehensive security system on the subway [*Intellektual'naja sistema videonabljudenija v sostave kompleksnoj sistemy bezopasnosti na metropolitene*]. *Sistemy bezopasnosti*, 2014, Iss. 2, p. 40.

7. Makaretsky, E. A., Ovchinnikov, A. V., Nguen, L. Kh. Television measuring systems for controlling the high-speed traffic regime [*Televizionnye izmeritel'nye sistemy kontrolja skorostnogo rezhima dorozhnogo dvizhenija*]. *Komponenty i tehnologii*, 2007, Iss. 4, p. 34



Information about the authors:

**Zhuravleva, Lyubov M.** – Ph.D. (Eng), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, zhlubov@mail.ru.

**Bogachev, Alexander P.** – senior lecturer of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, alpebog@mail.ru.

**Yatskivsky, Nikita V.** – student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, nikrestinpiece@gmail.com.


Article received 20.01.2017, accepted 12.04.2017.

# ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • HRM, EDUCATION & TRAINING


**ВЫСШАЯ ШКОЛА** 214

*Время собирать «болонские камни».*

**ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР** 222

*Интертипные взаимоотношения и эффективность взаимодействия.*

**АНГЛОСАКСОНСКАЯ МОДЕЛЬ** 234

*Рурский университет предпочитает международное сотрудничество.*

**HIGHER SCHOOL** 214

*It is time to gather «Bologna stones» together.*

**HUMAN FACTORS** 222

*Interindividual relations and efficiency of interaction.*

**EDUCATION MODEL** 234

*Ruhr University prefers international cooperation.*

УДК 378.1

# К вопросу о качестве подготовки и аттестации научных кадров, аспирантов и магистрантов

Сергей МАЗУР

Sergey F. MAZUR

*Мазур Сергей Филиппович – доктор юридических наук, профессор кафедры гражданского права и гражданского процесса Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**On the Issue of Training and Certification of Scientific Personnel, Ph.D. Students and Master's Students**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 218)*

***В статье предпринята попытка разрешить некоторые проблемы повышения качества подготовки и аттестации научных кадров для высшей школы, а также магистрантов по юридической специальности. Показаны объективные предпосылки процесса совершенствования вузовской практики в условиях, когда всё острее проявляют себя очевидные противоречия Болонской системы образования, серьёзно усугубившей квалификационный уровень специалистов, преемственный характер учебных программ и транспарентности предлагаемых при обучении знаний. Особое внимание автор уделяет средствам формализации оценки качества научных работ, их оригинальности и достоверности.***

*Ключевые слова: Болонская система, высшее образование, магистратура, бакалавриат, аттестация научных кадров, аспирантура, система «Антиплагиат», подготовка диссертаций по юридической специальности.*

На проходившем 7–8 декабря 2016 года в Московском государственном университете конгрессе «Инновационная практика: наука плюс бизнес» ректор МГУ академик В. А. Садовничий заявил, что переход России на Болонскую систему образования (четыре года бакалавриата, плюс два – магистратура) был ошибкой. Образование в высшей школе должно составлять, по его мнению, пять, даже шесть лет[1]. Нельзя не согласиться с этой точкой зрения (о чём также говорят и многие другие ученые и практики нашей страны). Однако трудно даже представить, сколько сил, средств и, главное, времени теперь уйдет на хотя бы частичный возврат к системе подготовки специалистов высшей школы, где её главенствующим звеном был бы, как когда-то, специалитет.

Считаю, что основной формой подготовки должен стать именно специалитет (за счёт значительного преобразования бакалавриата, в первую очередь академического). Прикладной бакалавриат имеет, конечно, право на существование, но в меньшей степени, чем сейчас, а магистратура должна быть существенно сокращена (в зависимости от того, в какой мере высшая школа нуждается в будущих ученых и ротации профессорско-преподавательского состава). Продолжительность обучения в специалитете не может

[1] Российская газета.– 2016.– 8 декабря.

составлять менее пяти лет (а для отдельных специальностей – в первую очередь технических – шесть лет).

Трудно представить себе подготовку специалистов с высшим образованием в транспортном вузе (а транспорт, как известно, имеет стратегическое значение, тем более в нашей необъятной стране) по программе бакалавриата – слишком серьезные задачи стоят перед выпускниками, чтобы довольствоваться заведомо усеченными, без должного фундамента знаниями. Продолжение обучения в магистратуре, разумеется, свою пользу приносит, но в силу разных причин не всем доступно и, главное, требует больших дополнительных усилий и расходов, так что гораздо более рентабельным способом получения полноценного высшего образования представляется только специалитет.

Предполагаемое в Юридическом институте МИИТ решение об установлении выпускных квалификационных работ (дипломных для тех, кто их ранее не готовил) видится абсолютно верным, значительно повышающим ответственность как самих выпускников, так и профессорско-преподавательского состава. Тому же призвано помочь и введение дополнительного государственного экзамена по направлению «Документоведение и архивоведение» (профиль – «Документоведение и документационное обеспечение управления»). Единственно что необходимо заметить в этой связи: выпускники должны быть заранее уведомлены о таком значительном увеличении нагрузки и столь серьёзном испытании. Думается, что данное решение (в случае его принятия) станет первым шагом к преобразованию части бакалавриата в специалитет.

Что же касается магистратуры, то она должна не на словах, а на деле стать реальной ступенью выращивания кадров для высшей школы (наряду с аспирантурой и докторантурой). Магистерская диссертация не может оставаться обычной выпускной квалификационной работой обучающегося (как это массово происходит в настоящее время), ей предназначено быть научно-квалификационной работой, результатом научного, теоретико-прикладного исследования (как и диссертации на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук).

Немаловажной проблемой для системы вузовской подготовки стало отсутствие запрета на поступление в магистратуру лиц с квалификацией «бакалавр» либо «специалист» не по профильной специальности (т.е. без соответствующего базового образования). Закон «Об образовании в Российской Федерации» [1] не препятствует такому варианту и тем самым способствует массовой, не побоюсь этого слова, дисквалификации готовящихся в вузе профессионалов, профанирует и без того сложный, веками апробированный процесс. Причём если вуз изначально осуществляет подготовку специалистов по полному циклу «бакалавр–магистр», это ещё неплохо, потому что большинство желающих стать магистрами будут составлять бакалавры, подготовленные по данной специальности. Ситуация хуже там, где готовят только магистров, как многие ведомственные вузы правоохранительных органов. В таких учебных заведениях контингент будущих магистров на 100 % составляют лица, не имеющие базового профильного высшего образования.

Комментарии, как говорится, излишни, хотя существует немало объективных причин, дающих повод продолжать тему. Здесь мог бы быть полезен опыт некоторых ведущих вузов страны (МГУ, МГИМО), производящих на годичных курсах предварительную целевую правовую подготовку абитуриентов в магистратуру для лиц без базового высшего юридического образования.

Теперь относительно шагов по повышению качества подготовки магистрантов и одного из важнейших показателей производимой ими работы – магистерской диссертации.

Помимо целого ряда юридических дисциплин их учебные программы предусматривают семинарские занятия, научно-исследовательскую и научно-педагогическую практику, на проведение которых отводится значительное количество часов аудиторной нагрузки. Однако поскольку ныне во многом утрачена разработанная советской школой юриспруденции идея неразрывности теории и практики при подготовке правоведов, представляется необходимым, во-первых, усилить практическую составляющую подготовки будущих магистров и магистерских диссертаций, а во-вторых, вспомнить опыт преподавания выпускникам юридических вузов таких специальных дисциплин и курсов, как «Проблемы гражданского права», «Проблемы уголовного права», «Проблемы административного права». Полезными могли бы стать, в частности, предметы частно-правового профиля на кафедре организации финансово-экономического, материально-технического и медицинского обес-

печения Академии управления МВД России. Впрочем, это только полумеры, которые ни в коей мере не заменят полный курс подготовки специалистов высшей квалификации по системе «бакалавр–магистр». Обучение магистрантов (даже с высшим непрофильным образованием и работающих по специальности) в течение двух–двух с половиной лет не равноценно получению знаний и компетенций в течение шести вузовских.

Как известно, магистерская диссертация является высшей формой исследовательской письменной работы, выполняемой в процессе обучения в вузе. Она завершает подготовку и показывает профессиональный уровень магистранта, его способность грамотно решать теоретические и практические задачи. Первейшие требования к автору диссертации: полнота освещения и глубина научного анализа исследуемой проблемы; умение выходить на теоретические обобщения, делать практические выводы, вносить аргументированные рекомендации и предложения; логически последовательное изложение материала; обоснованность предложений по совершенствованию правового регулирования исследуемых отношений и практики реализации правовых норм; использование достоверных фактов и нормативных актов, действующих в последней редакции; владение современными приёмами поиска, отбора, обработки и использования материалов информационных правовых баз данных; умелая защита своей позиции по дискуссионным проблемам темы магистерской диссертации.

Более того, представляется существенным нормативно закрепить основные требования, предъявляемые к магистерской диссертации и её оформлению (а для профессорско-преподавательского состава уточнить ещё и её основные отличия как от дипломных работ специалистов, так и диссертаций на соискание ученой степени кандидата юридических наук), содержанию и глубине проведенного исследования. Дискуссию часто вызывают мера самостоятельности научно-исследовательской деятельности магистранта в рамках защищаемой диссертации, критерии оценки её результатов, характер публикаций в научных изданиях, выступлений на научно-практических семинарах и конференциях. Немало вопросов и по поводу признаков научной новизны исследования, основных его положений, выносимых на защиту.

Бесспорна сама необходимость ужесточения требований при подготовке специалистов высшей квалификации и наведения порядка в процессе присвоения учёных степеней и званий. Но это не дает нам оснований для ломки всей российской системы подготовки научных кадров (любая реформа должна вести лишь к улучшению системы). В нынешних условиях ответственность за присуждение ученых степеней естественным образом перемещается на уровень диссертационных советов, а также вузов и НИИ, при которых они созданы. И важно осознать: повышается репутационная ответственность всех лиц, вовлеченных в процесс защиты диссертаций.

В нашей стране пока только каждый третий-четвертый выпускник аспирантуры идет на защиту диссертации и ему присваивается в случае её успеха ученая степень кандидата наук. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» не закрепляет защиту диссертации при окончании обучения в аспирантуре в качестве обязательного элемента. Очевидно, что государство должно стимулировать вузы и самих аспирантов к тому, чтобы приложить все усилия для достижения искомой цели – подготовки и публичного завершения качественного научного труда. А для этого, думается, гораздо рентабельнее было бы сокращение числа обучающихся в аспирантуре при одновременном повышении её научной результативности. Повышению качества научных исследований могло бы также послужить введение аналога принятых на Западе ученых степеней DBA (доктор бизнес-администрирования) и DPA (доктор государственного управления). Это, наверное, помогло бы разгрузить научное сообщество от избыточного давления нынешних многочисленных соискателей учёных степеней из сферы как крупного предпринимательства, так и государственного управления на диссертационные советы.

В настоящее время все научные статьи, рефераты, курсовые и выпускные квалификационные работы, дипломы и диссертации подвергаются предварительной проверке на оригинальность их текста сетевыми информационными системами «Антиплагиат». Вместе с тем нужно сказать, во-первых, об ограниченных возможностях повышения качества научных исследований посредством таких системы. Во-вторых, их обобщающее наименование «Антиплагиат» неудачно и нелигитимно, не основано на авторском праве. Они помогают выявлять идентичность, оригинальность проверяемых текс-

тов, самостоятельность работы автора, но отнюдь не всегда реальный плагиат – например, потому, что эти системы признают не идентичными и не оригинальными тексты, содержащие цитаты или их изложение с соблюдением всех правил цитирования, нормативные правовые акты, а также акты применения права, фрагменты ранее изданных или защищенных собственных работ (тексты, на которых часто базируется конечная авторская научная идея).

Между тем, не будем забывать, что любая правовая научная работа включает в себя в том числе и анализ нормативных правовых актов и актов применения права. Да и почему пересказ и развитие собственных мыслей лишает исследователя «авторства», ставит под сомнение оригинальность, принадлежность текстов?

Главным недостатком проверочных информационных систем является их несовершенство, выражающееся прежде всего в чисто механической идентификации контента разобщенности, неузаконенности критериев его оценки. Какие именно из данных систем можно полноценно использовать и каково их собственное качество? Или, например, какой должен быть минимальный процент оригинальности текста научной работы, заимствований, цитирования и где это определено, в каком нормативном правовом акте? Какова степень обоснованности контролируемых показателей?

В наших вузах, НИИ и издательствах отношение к этим показателям совершенно неоднозначно, ими применяются различные системы проверки идентичности текстов, не сертифицированные в установленном федеральным законом порядке. В существующих условиях формальная оценка оригинальности научных работ часто преобладает над иными, более значимыми (на мой взгляд) критериями их качества. Кроме того, не секрет, что для достижения поставленной цели (например, успешной защиты диплома или диссертации) соискатели нередко идут на аморальные и неправомерные действия, а именно, либо сами беззастенчиво списывают всю или значительную часть используемых данных, либо приобретают на широко уже развившемся рынке написанные «добровольными помощниками» труды. Причем профессорско-преподавательский и редакторский состав соучаствующих в этом учреждений не может, а иногда и не хочет (зачастую небескорыстно) им эффективно противостоять.

## ВЫВОДЫ

Безусловно, предполагаемые меры по совершенствованию проверки результатов всех видов учебной и научно-исследовательской деятельности помогут наведению должного порядка в работе высшей школы, но это, как представляется, недостаточно – необходимо в первую очередь существенное улучшение морально-психологического климата среди как самих обучающихся, так и профессорско-преподавательского состава.

Что касается использования информационных систем «Антиплагиат», то их нужно максимально апробировать и закрепить на законодательном уровне. Определить, какой должен быть минимально допустимый процент оригинальности, идентичности текста проверяемой научной работы, уровень заимствований и цитирования в них для той или иной оценки качества исследования с учётом специфики науки, к которой оно относится. Эти показатели должны быть в достаточной степени обоснованы, и здесь свое веское слово обязаны сказать ученые и практики соответствующей сферы знаний.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ // Собрание законодательства РФ.– 2012.– № 53 (Часть I). Ст. 7598.
2. О порядке присуждения ученых степеней. Постановление правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 // Собрание законодательства РФ.– 2013.– № 40 (Часть III). Ст. 5074.
3. Скворцова Л. М. Методология научных исследований: Учебное пособие.– М.: МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2014.– 79 с.
4. Горелов Н. А., Круглов Д. В. Методология научных исследований: Учебник.– М.: Юрайт, 2015.– 290 с.
5. Кузнецов И. Н. Основы научных исследований: Учебное пособие.– М.: Дашков и К°, 2014.– 283 с.
6. Методы исследований и организация экспериментов / К. П. Власов и др.– Харьков: Гуманитарный центр, 2013.– 410 с.
7. Сырых В. М. Подготовка диссертаций по юридическим наукам: настольная книга соискателя.– М.: Рос. гос. университет правосудия, 2012.– 500 с.
8. Эрштейн Л. Б. Этические аспекты коммуникации субъектов научного руководства в процессе подготовки квалификационных работ // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России.– 2012.– № 4.– С. 245–248.




Координаты автора: **Мазур С. Ф.**– dingo3@list.ru.

Статья поступила в редакцию 27.01.2017, принята к публикации 10.04.2017.

# ON THE ISSUE OF TRAINING AND CERTIFICATION OF SCIENTIFIC PERSONNEL, PH.D. STUDENTS AND MASTER'S STUDENTS

***Mazur, Sergey F.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article attempts to resolve some problems of improving the quality of training and certification of scientific personnel for higher education, as well as master's students in the legal specialty. The objective preconditions of the process of improving the university practice are shown in conditions when the obvious contradictions of the Bologna education system are becoming more acute, thus seriously worsening the qualification level of specialists, the continuity of the curricula and the transparency of the knowledge offered in the training process. The author pays special attention to means of formalizing the evaluation of the quality of scientific works, their originality and reliability.

*Keywords: Bologna system, higher education, master's studies, bachelor's studies, certification of scientific personnel, Ph.D. studies, «Antiplagiat» system, preparation of theses on legal specialty.*

**Background.** *At the congress held on December 7–8, 2016 in Moscow State University «Innovative Practice: Science plus Business», the rector of Moscow State University, Academician V. A. Sadovnichy said that the transition of Russia to the Bologna education system (four years of bachelor's studies, plus two – master's studies) was a mistake. Higher education should, in his opinion, last for five, even six years*[1]*. One cannot disagree with this point of view (which is also supported by many other scientists and practitioners of our country). However, it is difficult to imagine how much effort, money and, most importantly, time will now go to an at least partial return to the system of training specialists in higher education, where its main line would be, as it once was, specialist's studies.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider main problems in today's organization of university study.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach.*

**Results.** *I believe that the main form of training should be specialist's studies (due to significant transformation of bachelor's studies, primarily academic). Applied bachelor's studies have, of course, a right to exist, but to a lesser extent than now, and master's studies should be substantially reduced (depending on the extent to which the higher school needs future scientists and rotation of the faculty). The duration of training in the specialist's studies cannot be less than five years (and for individual specialties – primarily technical – six years).*

*It is difficult to imagine training of specialists with higher education in a transport university (and transport, as is well known, is of strategic importance, especially in our vast country) under the bachelor's program – graduates face serious tasks to be content with knowledge, which is deliberately truncated and without proper foundation. Of course, continuing to study in the master's programs, of course, brings its own benefits, but for various reasons, is not available for all, and, most importantly, it requires a lot of extra effort and expense, so only specialist's studies are a much more cost-effective way to get a full higher education.*

*The solution, proposed at Law Institute of MIIT, to establish final qualification papers (graduation theses for those who did not prepare them before) is expected to be absolutely correct, which significantly increases the responsibility of both the graduates themselves and the faculty. The introduction of an additional state exam in the direction of «Document Management and Archival Studies» (profile – «Document Management and Documentation Management») aims at the same. The only thing that should be noted in this regard: graduates should be informed in advance of such a significant increase in the load and such a serious test. It seems that this decision (in case of its adoption) will be the first step towards transformation of part of bachelor's studies into specialist's studies.*

*As for master's studies, they should not in words, but in reality become a real step in the growth of staff for higher education (along with Ph.D. and doctoral studies). The master's thesis cannot remain an ordinary final qualifying work of a trainee (as it is currently happening massively), it is intended to be a scientific and qualifying work, the result of a scientific, applied theory research (like the theses for obtaining scientific degrees of Ph.D. and D. Sc.).*

*An important problem for the system of higher education is the absence of a ban on enrolling for persons with the qualification «Bachelor» or «Specialist» not in the profile specialty (i.e. without a corresponding basic education). The Law «On Education in the Russian Federation» [1] does not prevent such a variant, and thereby promotes the mass, I am not afraid of this word, disqualification of professionals trained in the university, profaning the already complicated process, which has been tested for centuries. And if the university initially trains specialists for the full cycle of «bachelor–master», this is still good, because most of those willing to become masters will be bachelors trained in this specialty. The situation is worse where only masters are trained, like many departmental universities of law enforcement agencies. In such educational institutions, the contingent of future masters is 100 % of those who do not have a basic specialized higher education.*

*Comments, as they say, are superfluous, although there are many objective reasons that give rise to the topic. Here, the experience of some of leading universities of the country (for example, MSU, MGIMO), where one-year preliminary legal training is organized for applicants for a master's degree– people without a basic higher legal education, could be useful here.*

*Let's now turn to the steps to improve the quality of training of master's students and one of the most important indicators of their work – the master's thesis.*

*In addition to a number of legal disciplines, their curricula provide for seminars, research and scientific and pedagogical internship, for which a significant number of hours of classroom work are assigned. However, since the idea of inseparability of theory and practice in training of lawyers, developed by the Soviet*

[1] Rossiiskaya gazeta, 2016, December 8.

*school of jurisprudence, is now largely lost, it seems necessary, firstly, to strengthen the practical component of training of future masters and master's theses, and secondly, to recall the experience of teaching such special disciplines to graduates of law schools courses, such as «Problems of Civil Law», «Problems of Criminal Law», «Problems of Administrative Law». In particular, objects of a private legal profile could be useful at the Department of Financial, Economic, Material and Technical and Medical Support of the Academy of Management of the Ministry of Internal Affairs of Russia. However, these are only half measures, which in no way will replace the full course of training of specialists of higher qualification in the system of «bachelor–master». The training of master's students (even with a higher non-specialized education and working in the specialty) for two or two and a half years is not equivalent to gaining knowledge and competence during six university years.*

*As is known, the master's thesis is the highest form of research written work performed in the process of studying at a university. It is final stage of training and it shows the professional level of the master's student, his ability to competently solve theoretical and practical problems. The first requirements for the author of the thesis: completeness of coverage and depth of the scientific analysis of the problem under study; the ability to come up with theoretical generalizations, draw practical conclusions, make reasoned recommendations and suggestions; logically consistent presentation of the material; validity of proposals for improving the legal regulation of the relations under consideration and the practice of implementing legal norms; use of reliable facts and regulations in force in the latest edition; possession of modern methods of searching, selecting, processing and using materials of information legal databases; skilful defense of his position on the issues of discussion of the topic of the master's thesis.*

*Moreover, it seems essential to normatively fix the basic requirements for the master's thesis and its execution (and for the faculty to clarify its main differences both from the theses of specialists and Ph.D. (Law) theses), content and depth of the study. Discussion is often caused by the measure of independence of the research activity of the master's student in the framework of the defended thesis, the criteria for evaluating its results, the nature of publications in scientific editions, speeches at scientific and practical seminars and conferences. Quite a few questions arise with regard to the signs of the scientific novelty of the study, its main provisions, brought to the defense.*

*It is indisputable that there is a need for stricter requirements for training of highly qualified specialists and for establishment of order in the process of awarding academic degrees and titles. But this does not give us grounds for breaking the entire Russian system of training scientific personnel (any reform should lead only to the improvement of the system). In the present conditions, the responsibility for awarding academic degrees naturally moves to the level of dissertational councils, as well as universities and research institutes under which they are created. And it is important to realize: the reputational responsibility of all persons involved in the defense of theses increases.*

*In our country so far, only every third or fourth graduate of Ph.D. studies goes to the defense of the thesis and is awarded, in case of its success, the scientific degree of Ph.D. The Federal Law «On Education in the Russian Federation» does not fix the defense of the thesis at the end of Ph.D. studies as an obligatory element. It is obvious that the state should stimulate universities and Ph.D. students to make every effort to achieve the desired goal – preparation and public completion of a qualitative scientific work. And for this, I think, it would be much more cost-effective to reduce the number of Ph.D. students, while increasing the scientific*

*effectiveness of Ph.D. studies. Improving the quality of scientific research could also be facilitated by introduction of an analogue of the accepted in the West academic degrees of DBA (Doctor of Business Administration) and DPA (Doctor of Public Administration). This would probably help relieve the scientific community of the excessive pressure of the current numerous applicants for academic degrees from the sphere of both large-scale entrepreneurship and public administration to dissertational councils.*

*Currently, all scientific articles, abstracts, course and final qualification works, graduation works and theses are subject to preliminary verification of the originality of their text by the network information systems «Antiplagiat». At the same time, it is necessary to speak, firstly, about limited possibilities for improving the quality of scientific research through such a system. Secondly, their generalized name «Antiplagiat» is unsuccessful and illegitimate, it is not based on copyright. They help to identify the identity, the originality of the texts being checked, the autonomy of the author's work, but not always the real plagiarism – for example, because these systems recognize texts as being not identical or not original if they contain quotations or their presentation in compliance with all citation rules, regulatory legal acts, as well as acts of the application of law, fragments of previously published or defended own works (texts on which the ultimate author's scientific idea is often based).*

*Meanwhile, let's not forget that any legal scientific work includes, among other things, analysis of normative legal acts and acts of application of law. And why does retelling and development of one's own thoughts deprive the researcher of «authorship», casts doubt on the originality, the ownership of the texts?*

*The main shortcoming of verification information systems is their imperfection, expressed primarily in purely mechanical identification of content of disunity, illegality of criteria for its evaluation. Which of these systems can be fully used and what is their own quality? Or, for example, what should be the minimum percentage of originality of the text of scientific work, loan words, citation and where is it defined, in which normative legal act? What is the degree of validity of monitored indicators?*

*In our universities, research institutes and publishing houses, the attitude towards these indicators is quite ambiguous, they use different systems for checking the identity of texts that are not certified in accordance with the procedure established by federal law. Under existing conditions, a formal evaluation of originality of scientific works often prevails over other, more significant (in my opinion) criteria for their quality. In addition, it is no secret that in order to achieve the set goal (for example, the successful defense of a graduation work or a thesis), applicants often go to immoral and illegal actions, namely, either they shamelessly write off all or a significant part of the data used, or purchase on a already widely developed market works written by «voluntary assistants». Moreover, the faculty of the institutions participating in this cannot, and sometimes does not want (often self-centeredly) to effectively resist them.*

**Conclusions.** *Undoubtedly, the proposed measures to improve the verification of the results of all types of educational and research activities will help to establish proper order in the work of higher education, but this seems to be insufficient – first of all, a significant improvement in the moral and psychological climate is needed among both the students themselves and teaching staff.*

*As for the use of the information systems «Antiplagiat», they need to be tested as much as possible and fixed at the legislative level. It is necessary to determine what should be the minimum permissible percentage of originality, the identity of the text of the scientific work being checked, the level of loan words and quoting in them for a particular assessment of the quality of the research, taking into account the specific nature of the science to which it relates. These indicators should be reasonably justified, and here scientists and practitioners of the relevant field of knowledge are obliged to say their weighty word.*

## REFERENCES


1. On Education in the Russian Federation: Federal Law No. 273-FZ of December 29, 2012 [*Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii: Federal'nyj zakon ot 29 dekabrja 2012 g. № 273-FZ*]. *Sobranie zakonodatel'stva RF* [*Collection of Legislation of the Russian Federation*], 2012, № 53 (Part I), Article 7598.

2. On the order of awarding academic degrees. Decree of the Government of the Russian Federation No. 842 of September 24, 2013 [*O porjadke prisuzhdenija uchenyh stepenej. Postanovlenie pravitel'stva RF ot 24 sentjabrja 2013 g. № 842*]. *Sobranie zakonodatel'stva RF* [*Collection of Legislation of the Russian Federation*], 2013, № 40 (Part III), Article 5074.

3. Skvortsova, L. M. Methodology of scientific research: Educational guide [*Metodologija nauchnyh issledovanij: uchebnoe posobie*]. Moscow, MGSU, IPS Media, EBS ASV publ., 2014, 79 p.

4. Gorelov, N. A., Kruglov, D. V. Methodology of scientific research: Textbook [*Metodologija nauchnyh issledovanij: uchebnik*]. Moscow, Yurait publ., 2015, 290 p.

5. Kuznetsov, I. N. Fundamentals of scientific research: Educational guide [*Osnovy nauchnyh issledovanij: uchebnoe posobie*]. Moscow, Dashkov i K° publ., 2014, 283 p.

6. Methods of research and organization of experiments [*Metody issledovanij i organizacija eksperimentov*]. K. P. Vlasov *et al*. Kharkov, Gumanitarnyj centr publ., 2013, 410 p.

7. Syrykh, V. M. Preparation of theses in legal sciences: a reference book of an applicant [*Podgotovka dissertacij po juridicheskim naukam: nastol'naja kniga soiskatelja*]. Moscow, Russian State University of Justice, 2012, 500 p.

8. Ershtein, L. B. Ethical aspects of communication of subjects of scientific management in the process of preparation of qualification works [*Eticheskie aspekty kommunikacii sub'ektov nauchnogo rukovodstva v processe podgotovki kvalifikacionnyh rabot*]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii*, 2012, Iss. 4, pp. 245–248.



Information about the author:
**Mazur, Sergey F.** – Ph.D. (Law), professor at the department of Civil Law and Civil Process of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, dingo3@list.ru.


Article received 27.01.2017, accepted 10.02.2017.

# БЕСПЛАТНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ БОЛЕЛЬЩИКОВ КУБКА КОНФЕДЕРАЦИЙ FIFA-2017

**15 июня 2017 года на российских железных дорогах стартовали бесплатные перевозки болельщиков Кубка Конфедераций FIFA-2017 поездами дальнего следования. Так, 15 июня в рейс отправились два поезда с болельщиками, а 16 июня — ещё 9 поездов.**

Напомним, для транспортного обеспечения футбольного турнира ОАО «РЖД» совместно с АНО «Транспортная дирекция-2018» был разработан и утвержден график движения пассажирских поездов на период Кубка Конфедераций FIFA 2017 года. Согласно данному графику, с 15 июня по 4 июля между городами-организаторами соревнований по шести маршрутам курсируют 262 дополнительных поезда, на которых будут бесплатно перемещаться болельщики. Поезда состоят из купейных вагонов, вагона-ресторана, а в штабном вагоне находится специальное купе для маломобильных граждан. Купейные вагоны последних лет постройки оборудованы экологически чистыми биотуалетными комплексами и системами кондиционирования воздуха. На некоторых маршрутах курсируют составы из двухэтажных вагонов.

Холдингом «РЖД» ускорен ряд дневных и ночных поездов, курсирующих между городами-участниками соревнований, а также подготовлены 23 железнодорожных вокзала в четырёх городах России: Москве, Санкт-Петербурге, Сочи и Казани и другая пассажирская инфраструктура.

Иностранным гражданам на вокзалах будет оказана всесторонняя информационная поддержка. С этой целью на английский язык переведены навигационные указатели. Кроме того, двуязычными стали все сообщения по громкоговорящей связи. Волонтеры со знанием английского языка помогут болельщикам сориентироваться на вокзалах и в городе. В день на дежурстве будет находиться более 340 волонтеров.

На территории всех вокзальных комплексов организована безбарьерная среда для передвижения маломобильных групп населения: установлены пандусы, лифты и специальные подъёмники, открылись удобные кассы. Работают специальные места отдыха и санитарные комнаты. Слабовидящие пассажиры могут ориентироваться с помощью ярко-желтой тактильной плитки. Людям с ограниченными возможностями оказывается дополнительная квалифицированная помощь.

Персонал вокзальных комплексов прошел интенсивную подготовку по работе с увеличенным пассажиропотоком, иностранными группами болельщиков и маломобильными пассажирами.

**По материалам пресс-службы ОАО «РЖД»** ●

# FREE LONG-DISTANCE TRAIN TRANSPORTATION FOR FANS ATTENDING FIFA-2017 CONFEDERATION CUP

**Russian Railways has begun providing long-distance train transportation free of charge to fans of the FIFA-2017 Confederations Cup.**

On 15 June 2017, the Company laid on two trains to carry fans to their matches and 9 more trains on 16 June.

In order to provide transport support during the upcoming competitions to be held in 2017 and 2018, Russian Railways, together with ANO Transport Directorate-2018, developed and approved a passenger train timetable for the period of the FIFA 2017 Confederations Cup.

In accordance with this timetable, the Company will run 262 additional trains on 6 routes between the competition's four host cities and transport fans free of charge from 15 June to 4 July 2017.

Trains will consist of compartment cars and a dining car, while the staff car will have a special compartment for low-mobility citizens. Double-decker carriages will run on some routes.

Compartment carriages built in the last few years are equipped with environmentally-friendly bio-toilet complexes and air conditioning systems.

The RZD Holding has also accelerated a number of day and night trains running between the cities participating in the competitions and in addition undertaken special preparations at 23 railway stations in four Russian cities: Moscow, St. Petersburg, Sochi and Kazan. In addition, it has adapted other passenger infrastructure.

Comprehensive information support will be provided to international visitors at the stations. Direction navigation signs have been translated into English and all messages broadcast on the PA system will be bilingual. Volunteers with a knowledge of English will help fans orient themselves at the stations and in the city. On match days, more than 340 volunteers will be on duty.

In addition, there is a barrier-free environment for the movement of low-mobility groups of people on the territory of all the station complexes. Ramps, elevators and special lifts have been installed and convenient ticket offices set up. There are also special recreation areas and sanitary rooms. Bright yellow tactile tiles help guide visually impaired passengers. Additional qualified assistance is provided to people with disabilities.

The personnel of the station complexes have undergone intensive training to work with increased volumes of passengers and with foreign fan groups and low-mobility passengers.

**Based on press releases of JSC Russian Railways** ●

УДК 629.7

# Интертипные отношения в экипаже

Алексей МАЛИШЕВСКИЙ

Alexey V. MALISHEVSKY

*Малишевский Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Лётная эксплуатация и профессиональное обучение авиационного персонала» Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУ ГА), Санкт-Петербург, Россия.*

**Intertype Relationship within the Crew**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 229)*

***Анализируются результаты экспериментов, которые проводятся автором с 2004 года по настоящее время с профессиональными пилотами и студентами Университета гражданской авиации. Целью исследования была проверка возможности использования соционической модели интертипных отношений с использованием теорий В. В. Гуленко и Г. А. Шульмана для оценки эффективности взаимодействия в двухчленном экипаже летательного аппарата. В качестве критерия используются данные косвенной социометрии. Приводятся статистические критериальные зависимости. Статья продолжает ранее начатую тему (см. «МТ», 2014, № 5 и «МТ», 2016, № 1).***

Ключевые слова: *гражданская авиация, экипаж летательного аппарата, взаимодействие пилотов, интертипные отношения, социометрия, управление ресурсами экипажа.*

Человеческий фактор [1] – это причина 80 % всех авиационных происшествий. Различные пути снижения негативного влияния ЧФ на безопасность полётов рассматривались в работах [2–4]. Один из таких путей, а именно повышение эффективности взаимодействия в экипаже летательного аппарата (ЛА), нашёл отражение в работах [4–11]. В данной статье, являющейся продолжением исследований автора и других учёных университета гражданской авиации, которые были опубликованы в трудах [5–11], исследуется особенность оценки эффективности взаимодействия в экипаже ЛА на основе соционического подхода, то есть с использованием теории интертипных отношений (ИО).

При этом, поскольку речь идет о соционике, естественно, рассматривается только информационный аспект взаимодействия между людьми. И кроме того результаты исследований, опубликованные ранее [5–11], носят несколько противоречивый характер. Так, например, при использовании ИО, предложенных В. В. Гуленко [12], автором было выявлено лишь негативное влияние несовпадения у испытуемых рационального и иррационального начала,

**Таблица 1**

**Результаты экспериментов и теоретические прогнозы по Г. А. Шульману [14]**

| ТИМ | Прогноз по Г.А. Шульману | | Результаты экспериментов | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Количество отрицательных значений коэффициента относительной интенсивности ИО [14, с. 37] | | Данные из [11, с. 231] (823 пары) | | Новые данные 2016 года (895 пар) | |
| | | | Сумма рангов для данного ТИМ по отдельным составляющим СМИО с его участием | Ранг по результатам эксперимента | Сумма рангов для данного ТИМ по отдельным составляющим СМИО с его участием | Ранг по результатам эксперимента |
| СЛЭ | 0 | 1 | 700 | 1 | 464 | 2 |
| ЛСЭ | 1 | 2 | 756 | 2 | 1400 | 11 |
| ИЛЭ | 12 | 13 | 849 | 3 | 1557 | 15 |
| СЛИ | 9 | 10,5 | 979 | 4 | 660 | 4 |
| ЛИЭ | 4 | 5 | 994 | 5 | 1504 | 13 |
| ЭСЭ | 2 | 3 | 1019 | 6 | 439 | 1 |
| ЛСИ | 7 | 8,5 | 1090 | 7 | 1561 | 16 |
| СЭЭ | 3 | 4 | 1136 | 8 | 591 | 3 |
| СЭИ | 11 | 12 | 1215 | 9 | 1236 | 9 |
| ИЛИ | 13 | 14 | 1231 | 10 | 788 | 5 |
| ЭИЭ | 5 | 6,5 | 1267 | 11 | 1552 | 14 |
| ЛИИ | 9 | 10,5 | 1277 | 12 | 1155 | 8 |
| ЭСИ | 5 | 6,5 | 1288 | 13 | 1357 | 10 |
| ИЭЭ | 15 | 16 | 1298 | 14 | 795 | 6 |
| ЭИИ | 7 | 8,5 | 1437 | 15 | 1500 | 12 |
| ИЭИ | 14 | 15 | 1449 | 16 | 1098 | 7 |

Здесь: ЛСЭ – логико-сенсорный экстраверт; ЛСИ – логико-сенсорный интроверт; ЛИЭ – логико-интуитивный экстраверт; ЛИИ – логико-интуитивный интроверт; ЭСЭ – этико-сенсорный экстраверт; ЭСИ – этико-сенсорный интроверт; ЭИЭ – этико-интуитивный экстраверт; ЭИИ – этико-интуитивный интроверт; СЛЭ – сенсорно-логический экстраверт; СЛИ – сенсорно-логический интроверт; ИЛЭ – интуитивно-логический экстраверт; ИЛИ – интуитивно-логический интроверт; СЭЭ – сенсорно-этический экстраверт; СЭИ – сенсорно-этический интроверт; ИЭЭ – интуитивно-этический экстраверт; ИЭИ – интуитивно-этический интроверт.

то есть несовпадения по психологической дихотомии (ПД) «рациональность-иррациональность» (Р/И). В качестве проверочного показателя для сравнения была взята нормативность (N), определяемая по методике А. М. Эткинда [13].

Из существующих взглядов на теорию ИО наиболее продуктивными представляются некоторые идеи Г. А. Шульмана [14]. Учёный первым высказал крайне логичную, надо полагать, идею о том, что ИО существует отнюдь не 16. Сам Шульман называл число 256 и необоснованно приписывал авторство данной идеи А. Аугустинавичюте [14, с. 37] (в работе [10] показано, что это не так). Однако, учитывая, что отношения, например, этико-сенсорного экстраверта с интуитивно-логическим интровертом это абсолютно то же самое, что отношения интуитивно-логического интроверта с этико-сенсорным экстравертом, то интертипных отношений будет всё-таки лишь 136.

Согласно гипотезе, выдвинутой в монографии [11], совпадение по любой из ПД предпочтительнее несовпадения, что в определённой мере на тот момент подтверждалось. В работе [11] для 823 пар, образованных из 81 человека, автором были рассчитаны соционические модели интертипных отношений (СМИО) с использованием ИО по В. В. Гуленко [12], но

**Таблица 2**

**Сумма рангов ИО в зависимости от совпадения или несовпадения по отдельным психологическим дихотомиям**

| ПД | | Э/И | Л/Э | С/И | Р/И |
|---|---|---|---|---|---|
| По данным из [11], на базе 823 пар | Совпадение | 8937 | 9217 | 8833 | 4883 |
| | Несовпадение | 9048 | 8768 | 9152 | 13102 |
| По данным из [10] | Совпадение | 9005 | 9559 | 8825 | 5407 |
| | Несовпадение | 8854 | 8300 | 9034 | 12452 |
| По данным нового эксперимента на базе 895 пар | Совпадение | 8419 | 8719 | 8889 | 8011 |
| | Несовпадение | 9238 | 8938 | 8768 | 9646 |

по всем 256 ИО по Г. А. Шульману. Далее, используя в качестве критерия для оценки эффективности взаимодействия в паре нормативность (N), определённую по методике А. М. Эткинда [13], был обозначен ранг каждого из 256 ИО. Затем данные ранги были просуммированы для каждого из 16 типов информационного метаболизма (ТИМ) [11, 15] с целью найти, для какого из ТИМ отношения с другими типами наиболее «комфортны». Полученные при этом результаты представлены в табл. 1, где наименьшая сумма рангов соответствует наибольшей степени комфортности.

При суммировании ранги 16 тождественных ИО учитывались однократно, а ранги всех прочих ИО удваивались.

По таблице $К_И$ (коэффициент интенсивности, интерпретированный как квазипифагорово расстояние между «гнездами» ТИМ в «Периодической системе социона» (ПСС) [14, с. 37–39]) для каждого из ТИМ было подсчитано количество отрицательных значений $К_И$, исходя из предположения, что наивысшая «комфортность» в отношениях будет у ТИМ, у которых таковых меньше всего (речь, конечно, о непосредственных контактах, поскольку для рассматриваемой нами ситуации, то есть взаимодействие в паре (экипаже ЛА), характерны в первую очередь именно они, а не контакты опосредованные).

Из сравнения двух получившихся выборок по критерию ранговой корреляции Спирмена [16, с. 208–223] получим значимую ранговую корреляцию средней силы $r_S = 0{,}5471$ (поскольку для $n = 16$ и $p \leq 0{,}05$ критическое значение $r_{Sкр} = 0{,}5$ [16, с. 340]).

Так как с момента издания монографии [11] прошёл значительный период, и были накоплены многие новые статистические данные, автором были повторены вычисления, для других 895 пар, образованных из 72 человек, действующих пилотов и студентов-пилотов выпускного курса (в работе [10] эти результаты не рассматривались, и с выборками из [10] и [11] они не пересекаются). Результаты представлены в таблице 1.

При этом из сравнения новой выборки с прогностической по критерию ранговой корреляции Спирмена [16, с. 208–223] получим лишь незначимую, очень слабую ранговую корреляцию $r_S = 0{,}1235$. А при сравнении этой новой выборки с выборкой из [11] ранговая корреляция и вовсе малая: $r_S = 0{,}0676$.

Единственное, что совпадает во всех трёх случаях (и с данными [10] тоже) это высокая степень комфортности для ТИМ СЛЭ. По мнению автора, ТИМ СЛЭ действительно должен быть самым «комфортным» для его носителя. Здесь у нас нет расхождений ни с Г. А Шульманом [14], ни с результатами обоих экспериментов. Далее стоило бы поставить (но не вполне понятно, в каком порядке) такие ТИМ, как ЛСЭ, ЛИЭ, СЭЭ, ЛСИ и СЛИ. Тут, однако, начинаются расхождения уже и с Г. А. Шульманом, и с результатами экспериментов. Наиболее неясны мотивы, по которым Шульман довольно «высоко» в ПСС поставил ТИМ ЭИИ, «прямо противоположный» ТИМ СЛЭ. У нас он оказался «некомфортен» и по теории, и на практике, и по результатам всех экспериментов, включая [10].

Из данного эксперимента можно также оценить и комфортность различных ИО при взаимодействии в паре, аналогично тому, как это оценивалось в [5–11], но уже с применением подхода Г. А. Шульмана [14].

В таблице 2 показано, как зависит сумма рангов от совпадения или же несовпа-

**Таблица 3**

**Ранги «комфортности» ИО по прогнозу [11], результатам обследования 2255 пар пилотов, образованных из 343 человек [9], и по данным экспериментов 2016 года [10] и нового, на базе 895 пар, составленных из 72 человек**

| ИО по В. В. Гуленко [12] | | | | Результаты экспериментов 2016 года | | | | Ранг по данным [9] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № | ИО [12] | | Ранг по прогнозу [11] Сумма рангов | Из [10] | | Новый эксперимент | | |
| | | | | Итоговый ранг | Сумма рангов | Итоговый ранг | | |
| 1 | тождество | 1111 | 1 | 773 | 7 | 975 | 3 | 4 |
| 2 | квазитождество | 1110 | 9 | 1586 | 13 | 1132 | 10,5 | 11 |
| 3 | рациородство | 1101 | 3 | 806 | 8 | 970 | 1,5 | 1 |
| 4 | рациозаказ | 1100 | 11 | 1628 | 15 | 1098 | 9 | 10 |
| 5 | иррациородство | 1011 | 2 | 590 | 2 | 982 | 4 | 3 |
| 6 | иррациозаказ | 1010 | 10 | 1462 | 10 | 1160 | 12 | 12 |
| 7 | СуперЭго | 1001 | 4 | 642 | 4 | 970 | 1,5 | 2 |
| 8 | активация | 1000 | 13 | 1518 | 11 | 1132 | 10,5 | 9 |
| 9 | нейтрализация | 0111 | 7 | 742 | 5 | 1040 | 7 | 8 |
| 10 | зеркальность | 0110 | 12 | 1598 | 14 | 1246 | 13 | 15 |
| 11 | рациомираж | 0101 | 6 | 770 | 6 | 998 | 5 | 5 |
| 12 | иррациоревизия | 0100 | 14 | 1656 | 16 | 1260 | 14 | 14 |
| 13 | иррациомираж | 0011 | 5 | 626 | 3 | 1052 | 8 | 7 |
| 14 | рациоревизия | 0010 | 15 | 1448 | 9 | 1302 | 15 | 16 |
| 15 | дуализация | 0001 | 8 | 458 | 1 | 1024 | 6 | 6 |
| 16 | конфликт | 0000 | 16 | 1556 | 12 | 1316 | 16 | 13 |

дения в паре испытуемых по отдельным психологическим дихотомиям (ПД): экстраверсия / интроверсия (Э/И), логика / этика (Л/Э), сенсорика / интуиция (С/И) и рациональность / иррациональность (Р/И). Согласно гипотезе, выдвинутой в [11], совпадение по любой из ПД предпочтительнее несовпадения.

Однако по результатам экспериментов это однозначно справедливо (и как увидим далее, ошибочно справедливо) только для ПД Р/И, для трёх же других ПД гипотеза не вполне подтвердилась. Другое дело, что для ПД Э/И, Л/Э и С/И, в отличие от ПД Р/И, полученные суммы рангов совпадающих и несовпадающих ИО относительно мало различаются.

По таблице 2 довольно сложно оценить, какие же ИО наиболее комфортные. Согласно прогнозу [11], таковыми должны были бы быть тождественные (1111), по результатам эксперимента на базе 823 пар наиболее комфортными должны стать ИО иррациородства (1011), по данным из [10] – иррациомиражные ИО (0011), а по данным «нового эксперимента» на базе 895 пар – ИО рациородства (1101).

Однако в эксперименте из [10] иррациомиражные ИО (0011), как видно из таблицы 3, оказались лишь на третьем месте, уступив дуальным ИО (0001) и ИО иррациородства (1011). Наибольшая комфортность дуальных ИО, разумеется, вполне совпадает с теоретическими предпосылками А. Аугустинавичюте [15], но противоречит гипотезе из монографии [11], согласно которой оптимальными в экипаже ЛА будут тождественные ИО (1111), как обеспечивающие наилучшее взаимопонимание. Если же брать результаты экспериментов из [9] и «нового эксперимента», то здесь наиболее комфортными оказались ИО рациородства (1101) и СуперЭго (1001), а в реальном эксперименте из [11] – рациородства (1101) и дуальные (0001).

Если (пусть это и не вполне корректно) сложить ранги из таблицы 3 по трём непересекающимся выборкам из [10], [9] и «нового эксперимента» (выборка из [10] включает в себя и выборку в 823 пары из [11]), то наиболее обещающими в порядке убывания комфортности будут: СуперЭго (1001), иррациородство (1011), рациородство (1101), дуализация (0001), тождество

Таблица 4

**Средний ранг ИО в зависимости от совпадения или несовпадения по отдельным ПД для 823 пар [11]**

| | | ПД Э/И | | | ПД Л/Э | | | ПД С/И | | | ПД Р/И | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Совпадение по экстраверсии | Несовпадение по ПД Э/И | Совпадение по интроверсии | Совпадение по логике | Несовпадение по ПД Л/Э | Совпадение по этике | Совпадение по сенсорике | Несовпадение по ПД С/И | Совпадение по интуиции | Совпадение по рациональности | Несовпадение по ПД Р/И | Совпадение по иррациональности |
| ПД Э/И | Совпадение по экстраверсии | | | | 38,56 | 50,88 | 78,13 | 41,13 | 55,25 | 66,81 | 30,75 | 86,31 | 15,05 |
| | Несовпадение по ПД Э/И | | | | 53,00 | 69,06 | 91,63 | 56,13 | 71,47 | 83,69 | 41,56 | 102,91 | 35,38 |
| | Совпадение по интроверсии | | | | 73,69 | 85,00 | 96,44 | 72,06 | 87,81 | 92,44 | 47,19 | 117,31 | 58,31 |
| ПД Л/Э | Совпадение по логике | 38,56 | 53,00 | 73,69 | | | | 43,75 | 55,43 | 63,63 | 27,13 | 85,56 | 20,00 |
| | Несовпадение по ПД Л/Э | 50,88 | 69,06 | 85,00 | | | | 56,56 | 69,69 | 82,06 | 37,38 | 101,69 | 33,25 |
| | Совпадение по этике | 78,13 | 91,63 | 96,44 | | | | 76,56 | 91,19 | 98,88 | 59,19 | 120,50 | 57,63 |
| ПД С/И | Совпадение по сенсорике | 41,13 | 56,13 | 72,06 | 43,75 | 56,56 | 76,56 | | | | 31,63 | 90,63 | 12,56 |
| | Несовпадение по ПД С/И | 55,25 | 71,47 | 87,81 | 55,43 | 69,69 | 91,19 | | | | 42,25 | 104,81 | 34,13 |
| | Совпадение по интуиции | 66,81 | 83,69 | 92,44 | 63,63 | 82,06 | 98,88 | | | | 44,94 | 109,19 | 63,61 |
| ПД Р/И | Совпадение по рациональности | 30,75 | 41,56 | 47,19 | 27,13 | 37,38 | 59,19 | 31,63 | 42,25 | 44,94 | | | |
| | Несовпадение по ПД Р/И | 86,31 | 102,91 | 117,31 | 85,56 | 101,69 | 120,50 | 90,63 | 104,81 | 109,19 | | | |
| | Совпадение по иррациональности | 15,05 | 35,38 | 58,31 | 20,00 | 33,25 | 57,63 | 12,56 | 34,13 | 63,61 | | | |

(1111), рациомираж (0101), иррациомираж (0011) и нейтрализация (0111). Средний уровень комфортности (также в порядке её убывания) обеспечивают: активация (1000), рациозаказ (1100), иррациозаказ (1010) и квазитождество (1110), а очень плохими станут: рациоревизия (0010), конфликт (0000), зеркальность (0110) и иррациоревизия (0100).

Из сравнения прогноза и данных по трём экспериментальным выборкам (из [10], [9] и «нового эксперимента») по критерию ранговой корреляции Спирмена [16, с. 208–223] мы во всех 6 случаях получим высокозначимую ранговую корреляцию. Но для выборки из [10] она окажется без вариантов средней силы ($r_S$ = 0,6853, $r_S$ = 0,6647 и $r_S$ = 0,6971), а между выборками из «нового эксперимента», а также прогнозом корреляция будет сильной.

Ближе всего к прогнозу результаты «нового эксперимента» ($r_S$ = 0,9279),

**Таблица 5**

**Средний ранг ИО в зависимости от совпадения или несовпадения по отдельным ПД для 895 пар (2016)**

| | | ПД Э/И | | | ПД Л/Э | | | ПД С/И | | | ПД Р/И | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Совпадение по экстраверсии | Несовпадение по ПД Э/И | Совпадение по интроверсии | Совпадение по логике | Несовпадение по ПД Л/Э | Совпадение по этике | Совпадение по сенсорике | Несовпадение по ПД С/И | Совпадение по интуиции | Совпадение по рациональности | Несовпадение по ПД Р/И | Совпадение по иррациональности |
| ПД Э/И | Совпадение по экстраверсии | | | | 51,19 | 56,25 | 58,63 | 45,19 | 54,50 | 68,13 | 103,19 | 56,25 | 6,63 |
| | Несовпадение по ПД Э/И | | | | 69,63 | 73,34 | 72,38 | 59,19 | 71,84 | 85,81 | 107,88 | 80,06 | 17,88 |
| | Совпадение по интроверсии | | | | 81,00 | 76,38 | 70,13 | 61,38 | 75,81 | 90,88 | 103,19 | 85,06 | 30,56 |
| ПД Л/Э | Совпадение по логике | 51,19 | 69,63 | 81,00 | | | | 52,63 | 66,88 | 85,06 | 88,63 | 82,88 | 17,06 |
| | Несовпадение по ПД Л/Э | 56,25 | 73,34 | 76,38 | | | | 56,63 | 69,41 | 83,88 | 108,38 | 76,72 | 17,50 |
| | Совпадение по этике | 58,63 | 72,38 | 70,13 | | | | 59,06 | 68,31 | 77,81 | 122,38 | 65,13 | 20,88 |
| ПД С/И | Совпадение по сенсорике | 45,19 | 59,19 | 61,38 | 52,63 | 56,63 | 59,06 | | | | 98,19 | 55,75 | 15,25 |
| | Несовпадение по ПД С/И | 54,50 | 71,84 | 75,81 | 66,88 | 69,41 | 68,31 | | | | 107,69 | 75,09 | 16,13 |
| | Совпадение по интуиции | 68,13 | 85,81 | 90,88 | 85,06 | 83,88 | 77,81 | | | | 114,19 | 95,50 | 25,44 |
| ПД Р/И | Совпадение по рациональности | 103,19 | 107,88 | 103,19 | 88,63 | 108,38 | 122,38 | 98,19 | 107,69 | 114,19 | | | |
| | Несовпадение по ПД Р/И | 56,25 | 80,06 | 85,06 | 82,88 | 76,72 | 65,13 | 55,75 | 75,09 | 95,50 | | | |
| | Совпадение по иррациональности | 6,63 | 17,88 | 30,56 | 17,06 | 17,50 | 20,88 | 15,25 | 16,13 | 25,44 | | | |

а наиболее тесная корреляция между результатами «нового эксперимента» и данными [9] ($r_S = 0{,}9662$) (для $n = 16$ и $p \leq 0{,}01$ критическое значение $r_{Sкр} = 0{,}64$ [16, с. 340]). То есть прогноз выглядит достаточно оправданным. Но анализ полученных результатов вызывал существенные сомнения.

Поэтому было исследовано другое предположение, о том, что необходимо учитывать не только совпадение либо несовпадение по той или иной ПД, но и то, какие именно психологические функции или установки совпали.

В этом случае мы имеем не $16 = 2\times2\times2\times2$ ИО, а $3\times3\times3\times3 = 81$ ИО, причём количество, так сказать, исходных интертипных отношений по Г. А. Шульману в каждом из 81 ИО типа не одинаково. Соответственно поэтому в таблицах 4 и 5 указывается не сумма рангов, а средний ранг по группе однотипных ИО с учётом их количества. И вот здесь результаты получились существенно интереснее.

Результаты двух сходных экспериментов «старого» (таблица 4), описанного в [11] (823 пары, составленных из 81 человека), и «нового» (таблица 5), проведённого в 2016 году (895 пар, составленных из 72 человек), совпали далеко не во всём.

Наиболее интересен, пожалуй, результат по ПД Э/И. Так, в «старом» эксперименте в 100 % случаев совпадение по экстраверсии лучше несовпадения по ПД Э/И, но то в свою очередь лучше, чем совпадение по интроверсии. В «новом» эксперименте результат практически тот же, за исключением двух случаев: совпадение по интроверсии при совпадении по этике лучше, чем несовпадение по ПД Э/И, но хуже, чем совпадение по экстраверсии, а также при совпадении по рациональности; совпадение по экстраверсии и интроверсии одинаково лучше несовпадения по ПД Э/И.

В «старом» эксперименте также в 100 % случаев совпадение по логике лучше несовпадения по ПД Л/Э, но то в свою очередь лучше, чем совпадение по этике. В «новом» эксперименте такая картина наблюдается только в четырёх случаях из девяти. В трёх случаях наблюдается обратная картина, и ещё в двух совпадение по логике лучше, чем совпадение по этике, а то, в свою очередь, лучше несовпадения по ПД Л/Э.

И в «старом», и «новом» экспериментах опять-таки в 100 % случаев совпадение по сенсорике оказалось лучше несов-

падения по ПД С/И, но то опять же оказалось лучше, чем совпадение по интуиции.

Наибольшие расхождения между двумя экспериментами оказались по ПД Р/И. В обоих случаях в 100 % совпадение по иррациональности оказалось лучше несовпадения по ПД Р/И. В «новом» эксперименте несовпадение по ПД Р/И в 100 % случаев оказалось лучше совпадения по рациональности. А вот в «старом» эксперименте при совпадениях по интроверсии и интуиции совпадение по рациональности лучше совпадения по иррациональности, и в 100 % случаев несовпадение по ПД Р/И было хуже совпадения.

## ВЫВОДЫ

Делать какие-либо однозначные заключения, видимо, преждевременно, но, учитывая достаточно большие примерно одинаковые по объёму и составу и непересекающиеся выборки, с определённой степенью уверенности можно говорить о том, что гипотеза, высказанная в монографии [11] о превосходстве тождественных ИО, не подтвердилась. Картина явно сложнее.

Более или менее уверенно можно утверждать о положительном характере совпадений по экстраверсии, сенсорике, иррациональности и, в какой-то степени, по логике. Также можно говорить об отрицательном характере совпадений по интроверсии и интуиции. Однако следует учесть, что корреляции достаточно слабые и нормативность как критерий сравнения вариант в данном случае далеко не оптимальный. Поэтому требуется продолжение исследований с целью дальнейшего улучшения подготовки экипажей ЛА.

## ЛИТЕРАТУРА


1. Руководство по обучению в области человеческого фактора. Doc. 9683-AN/950. 1-е изд.– Монреаль: ICAO, 1998.– 370 с.

2. Малишевский А. В., Власов Е. В., Каймакова Е. М. Возможные пути решения проблемы снижения негативного влияния человеческого фактора в чрезвычайных ситуациях на транспорте // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях.– 2015.– № 1.– С. 108–114.

3. Малишевский А. В., Ариничева О. В., Власов Е. В. Возможные пути решения проблемы снижения негативного влияния человеческого фактора на безопасность полетов // Транспорт: наука, техника, управление.– 2016.– № 2.– С. 12–20.

4. Михайлик Н. Ф., Малишевский А. В. Концепция национальной системы специальной психологической подготовки летного состава // Прикладная психология.– 1999.– № 4.– С. 30–44.

5. Малишевский А. В., Бровкин П. Е., Власов Е. В. Оценка эффективности экипажей летательного аппарата // Мир транспорта.– 2014.– № 5.– С. 216–229.

6. Ариничева О. В., Малишевский А. В., Власов Е. В. Экипаж самолёта: ресурсы взаимодействия // Мир транспорта.– 2016.– № 1.– С. 220–231.

7. Ариничева О. В., Коваленко Г. В., Малишевский А. В., Парфёнов И. А., Петрова М. В. Исследование методов управления в сфере воздушного транспорта с использованием соционических моделей // Полёт.– 2008.– № 1.– С. 45–49.

8. Ариничева О. В. Соционические подходы к комплектованию коллективов авиационных специалистов на воздушном транспорте / Дис... канд. техн. наук.– СПб., 2006.– 256 с.

9. Малишевский А. В., Ариничева О. В., Бровкин П. Е. Анализ экспериментов по оценке эффективности взаимодействия в парах пилотов // Транспорт Урала.– 2013.– № 3.– С. 28–35.

10. Малишевский А. В. Вопросы оценки эффективности взаимодействия в экипаже воздушного судна с использованием интертипных отношений Г. А. Шульмана – В. В. Гуленко // Вестник С.-Петербургского государственного университета гражданской авиации.– 2017.– № 1.– С. 24–38.

11. Лейченко С. Д., Малишевский А. В., Михайлик Н. Ф. Человеческий фактор в авиации: В 2 т. Т. 2.– СПб.: Изд-во С.-Петербургского государственного университета гражданской авиации; Кировоград: Гос. лётная академия Украины, 2006.– 512 с.

12. Гуленко В. В. Какие отношения построил бы Юнг (условия интертипной устойчивости в диаде) // Соционика, психология и межличностные отношения. [Электронный ресурс]: http://www.socioniko.net/ru/articles/yung.html. Доступ 27.06.2017.

13. Эткинд А. М. Цветовой тест отношений и его применение в исследовании больных неврозами // Социально-психологические исследования в психоневрологии: сб. науч. тр. / НИИ психоневрологии им. В. М. Бехтерева.– Л., 1980.– С. 110–114.

14. Шульман Г. А. Картина интертипных отношений. Ч. 1 // Соционика, психология и межличностные отношения.– 2000.– С. 35–49.

15. Аугустинавичюте А. Соционика – М.: Чёрная белка, 2008.– 568 с.

16. Сидоренко Е. В. Методы математической обработки в психологии.– СПб.: Речь, 2007.– 350 с.

17. Малишевский А. В., Ариничева О. В., Бровкин П. Е. и др. Оценка эффективности взаимодействия в парах пилотов // Вестник С.-Петербургского государственного университета гражданской авиации.– 2013.– № 1.– С. 5–12.

18. Власов Е. В. Анализ методических проблем специального программного обеспечения, применяемого при подготовке по программе CRM // Вестник С.-Петербургского государственного университета гражданской авиации.– 2015.– № 1.– С. 27–34. ●


Координаты автора: **Малишевский А. В.** – 9909395@bk.ru.

Статья поступила в редакцию 27.05.2016, принята к публикации 30.06.2017.

# INTERTYPE RELATIONSHIP WITHIN THE CREW

***Malishevsky, Alexey V.,*** *St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia.*

## ABSTRACT

The results of experiments conducted by the author from 2004 to the present with professional pilots and students of the University of Civil Aviation are analyzed. The purpose of the study was to test the possibility of using a socionic model of intertype relationships using the theories of V. V. Gulenko and G. A. Shulman to evaluate the effectiveness of interaction in a two-member crew of an aircraft. As a criterion, the data of indirect sociometry are used. Statistical criterial dependencies are given. The article continues the previously started topic (see World of Transport and Transportation, 2014, Iss. 5 and World of Transport and Transportation, 2016, Iss. 1).

*Keywords: civil aviation, crew of an aircraft, interaction of pilots, intertype relations, sociometry, management of crew resources.*

**Background.** *«Human Factor» (HF) [1] is the cause of 80 % of all aviation accidents. Various ways to reduce the negative impact of HF on flight safety were considered in [2–4]. One of these ways, namely, the increase in efficiency of interaction in the crew of an aircraft was considered in [4–11]. This article continues the research of the author and other scientists of the University of Civil Aviation, which were published in the works [5–11].*

**Objective.** *The objective of the author is to consider the effectiveness of interaction in the aircraft crew basing on the socionic approach, that is, using the theory of intertype relations (IR).*

**Methods.** *The author uses general scientific and mathematical methods, comparative analysis, evaluation approach.*

**Results.** *Moreover, since we are talking about socionics, naturally, only the information aspect of interaction between people is considered. But the results of the studies published in [5–11] are somewhat contradictory. Thus, for example, using IR proposed by V. V. Gulenko in [12], the author has revealed only the negative influence of the discrepancy of the rational and irrational beginnings of the persons under tests, that is, the mismatch in the psychological dichotomy (PD) of «rationality-irrationality» (R/I). As a verification indicator for comparison, normality (N) was taken, determined by the method of A. Etkind [13].*

*Of the existing views on the theory of IR, some ideas of G. A. Shulman [14] are presented to the author as the most productive. G. A. Shulman first expressed an extremely logical, in the author's view, the idea that there are not 16 IR. Shulman himself called the number 256, and unreasonably attributed the authorship of this idea to A. Augustinavichyute [14, p. 37] (in work [10] it is shown that this is not so). However, considering that the relationship, for example, of an ethical-sensory extravert with an intuitive-logical introvert is absolutely the same as that of an intuitive-logical introvert with an ethical-sensory extrovert, then IR will still only be 136.*

*According to the hypothesis put forward in the monograph [11], the match of any of the PD is preferable to the mismatch, which was confirmed to a certain extent at that time. In [11], for 823 pairs formed from 81 people, the author computed socionic models of intertype relations (SMIR) using IR according to V. V. Gulenko [12], but for all 256 IR according to G. A. Shulman. Further, using the normality (N), determined by the method of A. Etkind [13], as the criterion for estimating the effectiveness of the interaction in a pair, the rank of each of 256 IR was determined. Then these ranks were summed up for each of 16 types of information metabolism (TIM) [11, 15], in order to determine for which of TIM the relationships with other TIM are most «comfortable». The results obtained are presented in Table. 1, where the lowest sum of ranks corresponds to the greatest «degree of comfort».*

*(When summing, the ranks of 16 identical IR were counted one time, and the ranks of all other IR were doubled.)*

*According to the table $C_I$ (the intensity coefficient interpreted as the quasi-spiragonal distance between the «nests» of TIM in the «Periodic System of the Socion» (PSS) [14, pp. 37–39]) for each of TIM, the number of negative $C_I$ values was calculated, based on the assumption, that the highest «comfort» in the relationship will have TIM, which have the least of them (we are talking, of course, about direct contacts, since for the situation we are considering, that is, the interaction in the pair (the crew of the aircraft), they are primary ones, and not the indirect contacts.)*

*From a comparison of two samples obtained using the Spearman rank correlation criterion [16, pp. 208–223], we obtain a significant rank correlation of the mean force $r_S = 0,5471$ (since for $n = 16$ and $p \leq 0,05$ the critical value $r_{Scr} = 0,5$ [16, p.340]).*

*Since a significant period has passed after the publication of the monograph [11], and many new statistical data have been accumulated, the author has repeated the calculations for the other 895 pairs formed from 72 active pilots and student pilots of the final year of study (In [10] these results were not considered, and they do not intersect with the samples from [10] and [11]. The results are shown in Table 1.*

*At the same time, comparing the new sample with the forecasting by the Spearman rank correlation criterion [16, pp. 208–223], we obtain only an insignificant very weak rank correlation $r_S = 0,1235$. And when comparing this new sample with the sample from [11], the rank correlation is even $r_S = 0,0676$.*

*The only thing that coincides in all three cases (and with the data [10] too) is a high «degree of comfort» for TIM SLE. According to the author, TIM SLE really should be the most «comfortable» for its carrier. Here we do not disagree with either G. A. Shulman [14] or with the results of both experiments. Further, the author would put (but not quite clearly in what order) such TIMs as LSE, LIE, SEE, LSI and SLI. Here the discrepancies begin already with G. A. Shulman and with the results of the experiments. The motives are most unclear to the author, according to which G. A. Shulman put rather «high» in the PSS TIM EII, «directly opposite» to TIM SLE? In our country, it turned out to be «uncomfortable»*

Table 1

**Results of experiments and theoretical forecasts according to G. A. Shulman [14]**

| TIM | Forecast according to G. A. Shulman | | Results of experiments | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Number of negative values of the coefficient CI of relative intensity of IR [14, p. 37] | | Data from [11, p. 231] (823 pairs) | | New data of the year 2016 (895 pairs) | |
| | | | Sum of ranks for this type of TIM for individual components of SMIR with its participation | Rank according to the results of the experiment | Sum of ranks for this type of TIM for individual components of SMIR with its participation | Rank according to the results of the experiment |
| SLE | 0 | 1 | 700 | 1 | 464 | 2 |
| LSE | 1 | 2 | 756 | 2 | 1400 | 11 |
| ILE | 12 | 13 | 849 | 3 | 1557 | 15 |
| SLI | 9 | 10,5 | 979 | 4 | 660 | 4 |
| LIE | 4 | 5 | 994 | 5 | 1504 | 13 |
| ESE | 2 | 3 | 1019 | 6 | 439 | 1 |
| LSI | 7 | 8,5 | 1090 | 7 | 1561 | 16 |
| SEE | 3 | 4 | 1136 | 8 | 591 | 3 |
| SEI | 11 | 12 | 1215 | 9 | 1236 | 9 |
| ILI | 13 | 14 | 1231 | 10 | 788 | 5 |
| EIE | 5 | 6,5 | 1267 | 11 | 1552 | 14 |
| LII | 9 | 10,5 | 1277 | 12 | 1155 | 8 |
| ESI | 5 | 6,5 | 1288 | 13 | 1357 | 10 |
| IEE | 15 | 16 | 1298 | 14 | 795 | 6 |
| EII | 7 | 8,5 | 1437 | 15 | 1500 | 12 |
| IEI | 14 | 15 | 1449 | 16 | 1098 | 7 |

Here: LSE is a logical-sensory extrovert; LSI is a logical-sensory introvert; LIE is a logical-intuitive extrovert; LII is a logical-intuitive introvert; ESE is an ethical-sensory extrovert; ESI is an ethical-sensory introvert; EIE is an ethical-intuitive extrovert; EII is an ethical-intuitive introvert; SLE is a sensory-logical extrovert; SLI is a sensory-logical introvert; ILE is an intuitive-logical extravert; ILI is an intuitive-logical introvert; SEE is a sensory-ethical extrovert; SEI is a sensory-ethical introvert; IEE is an intuitive-ethical extravert; IEI is an intuitive-ethical introvert.

*in theory, in practice, and in the results of all experiments, including [10].*

*From this experiment it is also possible to estimate the comfort of various IR in the interaction in a pair, in the same way as was estimated in [5–11], but already with the application of G. A. Shulman's approach [14].*

*In Table. 2 it is shown how the sum of ranks depends on the match or mismatch in a pair of persons under tests according to individual psychological dichotomies (PD) extraversion/introversion (E/I), logic/ethics (L/E), sensorics/intuition (S/I) and rationality/irrationality (R/I). According to the hypothesis advanced in [11], the match of any of the PD is preferable to a mismatch.*

*However, according to the results of the experiments, this is unambiguously true (and as we shall see later, it is erroneously true) only for the PD R/I, for the other three PDs the hypothesis was not fully confirmed. It is another matter that for PD E/I, L/E and S/I, in contrast to PD R/I, the obtained sums of ranks of coinciding and non-coinciding IR differ relatively little.*

*According to Table 2, it is difficult to estimate which IR are the most comfortable. According to the prognosis [11], these should be identical (1111), according to the results of the experiment on the basis of 823 pairs from the same [11], the most comfortable should be the IR of irratio-relationship (1011), according to the data from [10] the most comfortable should have been irratio-miragy IR (0011), and according to the data of the «new experiment» on the basis of 895 pairs – IR of irratio-relationship (1101).*

*However, in the experiment from [10], irratio-miragy IR (0011), as can be seen from Table 3, were only in third place, behind the dual IR (0001) and IR of irratio-relationship (1011). The greatest comfort of dual IR, of course, fully coincides with the theoretical prerequisites of A. Augustinavichyute [15], but it contradicts the hypothesis from the monograph [11], according to which the identical IR (1111) will be optimal in the aircraft crew as providing the best mutual understanding. If we take the results of experiments from [9] and the «new experiment», then the most convenient are the IR of raio-relationship (1101) and the Super Ego (1001), and in the real experiment from [11] – ratio-relationship (1101) and the dual (0001).*

*If (even if it is not entirely correct) to add the ranks from Table. 3 on three disjoint samples from [10], [9] and the «new experiment» (the sample from [10] includes a sample of 823 pairs from [11]), the most comfortable ones in order of decreasing comfort are: SuperEgo 1001), irratio-relationship (1011), ratio-relationship (1101), dualization (0001), identity (1111), ratio-mirage (0101), irratio-mirage (0011) and neutralization (0111). The average comfort level*

**Table 2**

**The sum of the ranks of IR, depending on match or mismatch for individual psychological dichotomies**

| PD | | E/I | L/E | S/I | R/I |
|---|---|---|---|---|---|
| According to the data from [11], based on 823 pairs | Match | 8937 | 9217 | 8833 | 4883 |
| | Mismatch | 9048 | 8768 | 9152 | 13102 |
| According to the data from [10] | Match | 9005 | 9559 | 8825 | 5407 |
| | Mismatch | 8854 | 8300 | 9034 | 12452 |
| According to the data of the new experiment based on 895 pairs | Match | 8419 | 8719 | 8889 | 8011 |
| | Mismatch | 9238 | 8938 | 8768 | 9646 |

**Table 3**

**The ranks of «comfort» of IR according to the forecast [11], according to the results of a survey of 2255 pairs of pilots, formed from 343 people [9] and according to experiments in 2016 from [10] and a new, based on 895 pairs, made up of 72 people**

| IR according to V. V. Gulenko [12] | | | | Results of experiments of the year 2016 | | | | Rank according to the data [9] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № | IR [12] | | Rank according to the forecast | From [10] | | New experiment | | |
| | | | | Sum of ranks | Final rank | Sum of ranks | Final rank | |
| 1 | identity | 1111 | 1 | 773 | 7 | 975 | 3 | 4 |
| 2 | quasiidentity | 1110 | 9 | 1586 | 13 | 1132 | 10,5 | 11 |
| 3 | ratio-relationship | 1101 | 3 | 806 | 8 | 970 | 1,5 | 1 |
| 4 | ratio-order | 1100 | 11 | 1628 | 15 | 1098 | 9 | 10 |
| 5 | irratio-relationship | 1011 | 2 | 590 | 2 | 982 | 4 | 3 |
| 6 | irratio-order | 1010 | 10 | 1462 | 10 | 1160 | 12 | 12 |
| 7 | SuperEgo | 1001 | 4 | 642 | 4 | 970 | 1,5 | 2 |
| 8 | activation | 1000 | 13 | 1518 | 11 | 1132 | 10,5 | 9 |
| 9 | neutralization | 0111 | 7 | 742 | 5 | 1040 | 7 | 8 |
| 10 | glassiness | 0110 | 12 | 1598 | 14 | 1246 | 13 | 15 |
| 11 | ratio-mirage | 0101 | 6 | 770 | 6 | 998 | 5 | 5 |
| 12 | irratio-revision | 0100 | 14 | 1656 | 16 | 1260 | 14 | 14 |
| 13 | irratio-mirage | 0011 | 5 | 626 | 3 | 1052 | 8 | 7 |
| 14 | ratio-revision | 0010 | 15 | 1448 | 9 | 1302 | 15 | 16 |
| 15 | dualization | 0001 | 8 | 458 | 1 | 1024 | 6 | 6 |
| 16 | conflict | 0000 | 16 | 1556 | 12 | 1316 | 16 | 13 |

*(also in descending order) is provided by: activation (1000), ratio-order (1100), irratio-order (1010) and quasi-identity (1110), and very bad will be: ratio-revision (0010), conflict (0000), glassiness (0110) and irratio-revision (0100).*

*From the comparison of the forecast and the data from three experimental samples (from [10], [9] and «new experiment») to the Spearman rank correlation criterion [16, p. 208–223], we obtain a highly significant rank correlation in all 6 cases. But for the sample from [10], in all three cases it will be of the mean force ($r_S = 0,6853$, $r_S = 0,6647$ and $r_S = 0,6971$), and between the samples from the «new experiment», and the forecast, the correlation will be strong.*

*The results of the «new experiment» ($r_S = 0,9279$) are the closest to the forecast, and the closest correlation between the results of the «new experiment» and the data of [9] ($r_S = 0,9662$) (For $n = 16$ and $p \leq 0.01$ the critical value $r_{Scr} = 0,64$ [16, p. 340]). That is, the forecast looks justified. But the analysis of the results obtained raised considerable doubts.*

*Therefore, the author studied another assumption, that it is necessary to take into account not only match or mismatch in a particular PD, but also exactly which psychological functions or settings coincide.*

*In this case, we do have not $16 = 2 \times 2 \times 2 \times 2$ IR, but $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ IR, and the number of so-called initial IR according to G. A. Shulman in each of IR81 type is not the same. Accordingly, therefore, in Table 4 and 5 not the sum of ranks, but the average rank for a group of similar IR, taking into account their quantity, is indicated. And here the results turned out to be much more interesting.*

*The results of two similar experiments of the «old» (see Table 4) described in [11] (823 pairs composed of 81 people) and the «new» (see Table 5) conducted in 2016 (895 pairs compiled from 72 people) did not coincide in all.*

**Table 4**

**The average rank of IR, depending on match or mismatch of individual PDs for 823 pairs from [11]**

| | | PD E/I | | | PD L/E | | | PD S/I | | | PD R/I | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Match in extraversion | Mismatch in PD E/I | Match in introversion | Match in logic | Mismatch in PD L/E | Match in ethics | Match in sensorics | Mismatch in PD S/I | Match in intuition | Match in rationality | Mismatch in PD R/I | Match in irrationality |
| PD E/I | Match in extraversion | | | | 38,56 | 50,88 | 78,13 | 41,13 | 55,25 | 66,81 | 30,75 | 86,31 | 15,05 |
| | Mismatch in PD E/I | | | | 53,00 | 69,06 | 91,63 | 56,13 | 71,47 | 83,69 | 41,56 | 102,91 | 35,38 |
| | Match in itroversion | | | | 73,69 | 85,00 | 96,44 | 72,06 | 87,81 | 92,44 | 47,19 | 117,31 | 58,31 |
| PD L/E | Match in logic | 38,56 | 53,00 | 73,69 | | | | 43,75 | 55,43 | 63,63 | 27,13 | 85,56 | 20,00 |
| | Mismatch in PD L/E | 50,88 | 69,06 | 85,00 | | | | 56,56 | 69,69 | 82,06 | 37,38 | 101,69 | 33,25 |
| | Match in ethics | 78,13 | 91,63 | 96,44 | | | | 76,56 | 91,19 | 98,88 | 59,19 | 120,50 | 57,63 |
| PD S/I | Match in sensorics | 41,13 | 56,13 | 72,06 | 43,75 | 56,56 | 76,56 | | | | 31,63 | 90,63 | 12,56 |
| | Mismatch in PD S/I | 55,25 | 71,47 | 87,81 | 55,43 | 69,69 | 91,19 | | | | 42,25 | 104,81 | 34,13 |
| | Match in intuition | 66,81 | 83,69 | 92,44 | 63,63 | 82,06 | 98,88 | | | | 44,94 | 109,19 | 63,61 |
| PD R/I | Match in rationality | 30,75 | 41,56 | 47,19 | 27,13 | 37,38 | 59,19 | 31,63 | 42,25 | 44,94 | | | |
| | Mismatch in PD R/I | 86,31 | 102,91 | 117,31 | 85,56 | 101,69 | 120,50 | 90,63 | 104,81 | 109,19 | | | |
| | Match in irrationality | 15,05 | 35,38 | 58,31 | 20,00 | 33,25 | 57,63 | 12,56 | 34,13 | 63,61 | | | |

**Table 5**

**The average rank of IR, depending on match or mismatch for individual PDs for 895 pairs (2016)**

| | | PD E/I | | | PD L/E | | | PD S/I | | | PD R/I | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Match in extraversion | Mismatch in PD E/I | Match in introversion | Match in logic | Mismatch in PD L/E | Match in ethics | Match in sensorics | Mismatch in PD S/I | Match in intuition | Match in rationality | Mismatch in PD R/I | Match in irrationality |
| PD E/I | Match in extraversion | | | | 51,19 | 56,25 | 58,63 | 45,19 | 54,50 | 68,13 | 103,19 | 56,25 | 6,63 |
| | Mismatch in PD E/I | | | | 69,63 | 73,34 | 72,38 | 59,19 | 71,84 | 85,81 | 107,88 | 80,06 | 17,88 |
| | Match in introversion | | | | 81,00 | 76,38 | 70,13 | 61,38 | 75,81 | 90,88 | 103,19 | 85,06 | 30,56 |
| PD L/E | Match in logic | 51,19 | 69,63 | 81,00 | | | | 52,63 | 66,88 | 85,06 | 88,63 | 82,88 | 17,06 |
| | Mismatch in PD L/E | 56,25 | 73,34 | 76,38 | | | | 56,63 | 69,41 | 83,88 | 108,38 | 76,72 | 17,50 |
| | Match in ethics | 58,63 | 72,38 | 70,13 | | | | 59,06 | 68,31 | 77,81 | 122,38 | 65,13 | 20,88 |
| PD S/I | Match in sensorics | 45,19 | 59,19 | 61,38 | 52,63 | 56,63 | 59,06 | | | | 98,19 | 55,75 | 15,25 |
| | Mismatch in PD S/I | 54,50 | 71,84 | 75,81 | 66,88 | 69,41 | 68,31 | | | | 107,69 | 75,09 | 16,13 |
| | Match in intuition | 68,13 | 85,81 | 90,88 | 85,06 | 83,88 | 77,81 | | | | 114,19 | 95,50 | 25,44 |
| PD R/I | Match in rationality | 103,19 | 107,88 | 103,19 | 88,63 | 108,38 | 122,38 | 98,19 | 107,69 | 114,19 | | | |
| | Mismatch in PD R/I | 56,25 | 80,06 | 85,06 | 82,88 | 76,72 | 65,13 | 55,75 | 75,09 | 95,50 | | | |
| | Match in irrationality | 6,63 | 17,88 | 30,56 | 17,06 | 17,50 | 20,88 | 15,25 | 16,13 | 25,44 | | | |

*The most interesting, perhaps, is the result of the PD E/I. So in the «old» experiment in 100 % of cases match in extraversion is better than mismatch in PD E/I, but that in turn is better than match in introversion. In the «new» experiment, the result is essentially the same, except for two cases: match in introversion with match in ethics is better than mismatch in PD E/I, but worse than match in extraversion, and also in match in rationality, match in extraversion and introversion is equally better than mismatch in PD E/I.*

*In the «old» experiment, also in 100 % of cases, match in logic is better than mismatch in PD L/E, but that in turn is better than match in ethics. In a «new» experiment, such a picture is observed only in 4 cases out of 9. In 3 cases, the opposite situation is observed, and in two more match in logic, it is better than match in ethics, and then, in turn, mismatch in PD L/E.*

*And in the «old» and «new» experiments, again in 100 % of cases, match in sensorics turned out to be*

*better than mismatch in PD S /I, but in turn it turned out to be better than match in intuition.*

*The greatest discrepancies between the two experiments turned out to be in PD R /I. In both cases, 100 % match in irrationality turned out to be better than mismatch in PD R/I. In the «new» experiment, mismatch in PD R/I was 100 % better than match in rationality. But in the «old» experiment with match in introversion and intuition, match in rationality turned out to be better than match in irrationality, and in 100 % of cases mismatch in PD R/I turned out to be worse than match.*

**Conclusion.** *It is probably premature to draw any unequivocal conclusions, but considering the relatively large samples that are approximately the same in volume and composition and are non-intersecting, it can be said with certain confidence that the hypothesis stated in the monograph [11] on the superiority of identical IR is not confirmed. The picture is clearly more complicated.*

*One can assert more or less confidently about the positive nature of match in extraversion, sensory, irrationality, and, to some extent, logically. One can also talk about the negative nature of match in introversion and intuition. However, it should be taken into account that the correlation is rather weak and normative, as a criterion of comparison, the option in this case is far from optimal. Therefore, it is necessary to continue these studies in order to further improve the training of the aircraft crews.*

## REFERENCES


1. Human Factors Training Manual. Doc. 9683-AN/950 [*Rukovodstvo po obucheniju v oblasti chelovecheskogo faktora. Doc. 9683-AN/950*]. 1st ed. Montreal, ICAO, 1998, 370 p.

2. Malishevsky, A. V., Vlasov, E. V., Kaimakova, E. M. Possible ways of solving the problem of reducing the negative impact of the human factor in emergency situations on transport [*Vozmozhnye puti reshenija problemy snizhenija negativnogo vlijanija chelovecheskogo faktora v chrezvychajnyh situacijah na transporte*]. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah*, 2015, Iss. 1, pp. 108–114.

3. Malishevsky, A. V., Arinicheva, O. V., Vlasov, E. V. Possible ways of solving the problem of reducing the negative impact of the human factor on flight safety [*Vozmozhnye puti reshenija problemy snizhenija negativnogo vlijanija chelovecheskogo faktora bezopasnost' poletov*]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie,* 2016, Iss. 2, pp. 12–20.

4. Mikhaylik, N. F., Malishevsky, A. V. The concept of the national system of special psychological training of the flight crew [*Koncepcija nacional'noj sistemy special'noj psihologicheskoj podgotovki letnogo sostava*]. *Prikladnaja psihologija*, 1999, Iss. 4, pp. 30–44.

5. Malishevsky, A. V., Brovkin, P.E., Vlasov, E. V. Evaluating the effectiveness of crews of an aircraft. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 5, pp. 216–229.

6. Arinicheva, O.V., Malishevsky, A. V., Vlasov, E. V. Aircraft crew: resources of interaction. *World of Transport and Transportation*, Vol.14, 2016, Iss. 1, pp. 220–231.

7. Arinicheva, O. V., Kovalenko, G. V., Malishevsky, A. V., Parfenov, I. A., Petrova, M. V. Research of control methods in the sphere of air transport using socionic models [*Issledovanie metodov upravlenija v sfere vozdushnogo transporta s ispol'zovaniem socionicheskih modelej*]. Polet, 2008, Iss. 1, pp. 45–49.

8. Arinicheva, O. V. Socionic approaches to staffing aviation specialists in air transport. D.Sc. (Eng) thesis [*Socionicheskie podhody k komplektovaniju kollektivov aviacionnyh specialistov na vozdushnom transporte: dis. ... kand. tehn. nauk*]. St. Petersburg, 2006, 256 p.

9. Malishevsky, A. V., Arinicheva, O. V., Brovkin, P. E. Analysis of experiments on evaluation of effectiveness of interaction in pairs of pilots [*Analiz eksperimentov po ocenke effektivnosti vzaimodejstvija v parah pilotov*]. *Transport Urala*, 2013, Iss. 3, pp. 28–35.

10. Malishevsky, A. V. Issues of evaluation of effectiveness of interaction in the aircraft crew using intertype relations of G. A. Shulman – V. V. Gulenko [*Voprosy ocenki effektivnosti vzaimodejstvija v ekipazhe vozdushnogo sudna s ispol'zovaniem intertipnyh otnoshenij G. A. Shul'mana – V. V. Gulenko*]. *Vestnik S.– Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoj aviacii*, 2017, Iss. 1, pp. 24–38.

11. Leichenko, S. D., Malishevsky, A. V., Mikhaylik N. F. The human factor in aviation. In 2 vol. Vol. 2 [*Chelovecheskij faktor v aviacii. V 2 t. T. 2*]. St. Petersburg, Publishing house of St. Petersburg State University of Civil Aviation; Kirovograd, State Flight Academy of the Ukraine, 2006, 512 p.

12. Gulenko, V. V. What kind of relationship Jung would build (conditions for intertype stability in the dyad) [*Kakie otnoshenija postroil by Jung (uslovija intertipnoj ustojchivosti v diade)*]. *Socionika, psihologija i mezhlichnostnye otnoshenija*. [Electronic resource]: http://www.socioniko.net/ru/articles/yung.html. Last accessed 27.06.2017.

13. Etkind, A. M. Color test of relations and its application in the study of patients with neuroses [*Cvetovoj test otnoshenij i ego primenenie v issledovanii bol'nyh nevrozami*]. Socio-psychological research in psychoneurology: collection of scientific works / Research Institute of Psychoneurology n.a. V. M. Bechterev. Leningrad, 1980, pp. 110–114.

14. Shulman, G. A. The pattern of intertype relationships. Part 1 [*Kartina intertipnyh otnoshenij. Ch. 1*]. *Socionika, psihologija i mezhlichnostnye otnoshenija*, 2000, pp. 35–49.

15. Augustinavichyute, A. Socionics [*Socionika*]. Moscow, Chjornaja belka publ., 2008, 568 p.

16. Sidorenko, E. V. Methods of mathematical processing in psychology [*Metody matematicheskoj obrabotki v psihologii*]. St.Petersbug, Rech' publ., 2007, 350 p.

17. Malishevsky, A. V., Arinicheva, O. V., Brovkin, P. E. [*et al*]. Evaluation of the effectiveness of interaction in pairs of pilots [*Ocenka effektivnosti vzaimodejstvija v parah pilotov*]. *Vestnik S.-Peterburgskogo gos. un-ta grazhdanskoj aviacii*, 2013, Iss. 1, pp. 5–12.

18. Vlasov, E. V. Analysis of methodological problems of special software used in training on the CRM program [*Analiz metodicheskih problem special'nogo programmnogo obespechenija, primenjaemogo pri podgotovke po programme CRM*]. *Vestnik S.-Peterburgskogo gos. un-ta grazhdanskoj aviacii*, 2015, Iss. 1, pp. 27–34.



Information about the author:
**Malishevsky, Alexey V.** – Ph.D. (Eng), associate professor of the department of Flight Operations and Professional Training of Aviation Personnel of St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia, 9909395@bk.ru.



Article received 27.05.2016, accepted 30.06.2017.

УДК 378:658

# Интернационализация обучения и преподавания: инновационные направления

Корнелия ФРАЙТАГ

Kornelia FREITAG

*Фрайтаг Корнелия – доктор, профессор, проректор по вопросам обучения и профессионального развития Рурского университета Бохума, Германия.*

**Internationalization of Study and Teaching: Innovative Trends**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 237)*

***Статья посвящена опыту организации межвузовского сотрудничества и партнёрства, интернационализации обучения и преподавания на инновационной основе. Рурский университет в Бохуме известен не только в Германии своей приверженностью передовым образовательным технологиям, стремлением развивать международные связи, культивировать совместные учебные программы с зарубежными партнёрами, к которым уже несколько лет относится и МИИТ. Автор показывает особенности интернационализации учебных программ, мобильности студентов и преподавателей, обмена исследователями и их контактов в начале карьеры. При этом отдельно отмечена проблема языковой среды и её значение для успеха преподавания и исследовательской деятельности в стенах университета.***

*Ключевые слова: университет, обучение, исследования, интернационализация, межвузовское сотрудничество.*

Рурский университет в Бохуме (РУБ) является молодым и динамичным, исследовательским по своему характеру. Он был первым немецким университетом, основанным после Второй мировой войны. Обучение и исследования начались в 1965 году. Сегодня – это более 43000 студентов и штат в 6000 человек. РУБ предлагает – наряду с Университетом Эрланген-Нюрнберг – самый большой набор дисциплин по сравнению с любым другим вузом в Германии: от гуманитарных и социальных наук до естественных наук, передовых инженерных наук и медицины. Учебно-исследовательскую миссию Рурского университета мы называем словом «*universitas*», которое можно интерпретировать как «единство обучаемого и обучения». Это очень созвучно нашему девизу «Гуманизм, стремление к достижениям, открытость миру».

Наша академическая структура соответствует англосаксонской модели кафедр, а не традиционной для Германии модели факультетов Университета Гумбольдта. Это означает плоскую иерархию, дисциплинарные секции, междисциплинарные исследовательские подразделения, очень тесное общение на территории кампуса, четкий акцент на развитие международных связей на каждом уровне. Рурский университет выиграл и теперь реализует проекты по двум из трех направлений финансирования «Инициативы немецких университетов по совершенствованию», то есть он

стал одним из 16 университетов, получивших элитный инновационный статус.

Университет в Бохуме имеет богатую историю первопроходческих достижений в области поддержки и продвижения молодых ученых. Приведу только два примера: (1) РУБ один из двух университетов (второй – это Технический университет Мюнхена), которым принадлежит инициатива создания исследовательских центров для молодых ученых. Такой центр в Рурском университете был открыт в 2006 году; (2) наш университет первым в Германии ввел систему обучения по Болонской системе (бакалавриат-магистратура).

## В БОХУМЕ СЛОЖИЛИСЬ СВОИ ВЕКТОРЫ В ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИИ

В рамках университетской программы по работе с иностранными студентами уделяется большое внимание процессу обучения. В этой статье я хочу коснуться трех моментов, которые уже реализованы или находятся в процессе реализации:

(1) интернационализация в домашних условиях;

(2) мобильность студентов и преподавателей;

(3) обмены и встречи с молодыми учеными.

Эти темы я выбрала специально. Они предполагают взаимодействие с МИИТ, с которым мы находимся в партнёрстве в течение нескольких последних лет. Я уверена, что пришло время для дальнейших, более плодотворных совместных проектов.

## (1) ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИЯ В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ / ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ ПРОГРАММ

Эти две тесно связанные меры направлены на то, чтобы: (а) все студенты Рурского университета знали, что они живут и учатся в условиях глобализации и транснациональном контексте, и это требует интернационализации; (б) привлечь немецких студентов к межкультурному общению во время их пребывания на территории кампуса; (с) дать иностранным студентам возможность познакомиться с Германией, погрузить их в живую среду немецкого языка, а также внести свой личный вклад в занятия и другие виды деятельности, общаясь на родном языке.

Первая и общая мера вызывает необходимость повышения осведомленности о существующей повседневной и предметно-связанной глобальной взаимозависимости жизни, обучения и исследований на территории кампуса немецкого университета. Это означает, что должна появиться среда общения, которая позволит ежедневно лицом к лицу вступать в прямой рабочий контакт студентов и профессоров. Она позволит наладить поиск новых адаптивных форм международного взаимодействия в преподавании и обучении в Рурском университете, направленных на приобретение знаний и интеграцию опыта, обеспечение критической ориентации в отношении уже более глобальных категорий спроса и предложения.

Одной из основных задач деятельности ректората и международного бюро является увеличение числа иностранных преподавателей. Мы стремимся не только приглашать все больше лекторов в наш университет. Наша идея ещё состоит и в том, чтобы создать специальные совместные обучающие семинары или лекции. Это позволит привлечь студентов к различным методам преподавания и обучения и обогатит профессиональный обмен преподавательским составом. Для поддержки и финансирования этой деятельности ректорат создал собственную целевую программу и, кроме того, мы активно используем программу Евросоюза ERASMUS+.

До сих пор средства дистанционного обучения и другие сетевые (цифровые) формы, связанные с исследовательской и преподавательской деятельностью, использовались нерегулярно и ещё реже с целью укрепления процесса интернационализации. Мы полны решимости использовать эту возможность более интенсивно. Хотя, конечно, дистанционное обучение внутри Германии стало применяться чаще и во все большем количестве курсов в различных областях. В международных программах пока такой активности не наблюдается.

Сегодня Рурский университет предлагает курсы дистанционного обучения во время ознакомительного пребывания и на этапе прибытия иностранных студентов на учебу или проведения исследований в Германии. Существует, например, веб-страница start@rub.de, консультирующая по формальным и практическим аспектам новичков или недавно проживающих в стране, которая встроена в онлайн-языковой курс.

Есть и другие электронные предложения, разработанные в Рурском университете, потенциально полезные для иностранных студентов,– подготовительные онлайн-модули в области техники и науки, которые сочетают в себе знакомство с технической терминологией (на немецком языке), введение в базовые знания по соответствующим предметам, которые будут изучать будущие студенты.

Кроме таких электронных вариантов есть и иные формы помощи новичкам:

• Международные студенческие службы Рурского университета (RUBiss) и «Гостевой центр для исследователей Рурского универси-

тета» уже на протяжении многих лет помогают приезжающим в Бохум, обеспечивают лёгкий старт в учебе и жизни иностранным студентам и молодым ученым.

• Международные спортивные команды университета объединяют местных и иностранных студентов.

• Немецкие студенты могут выбрать специальные образовательные программы, чтобы потом выступать в качестве наставников по дисциплине «Немецкий язык как иностранный» в рамках обучения в бакалавриате, получения кредитных баллов на своих факультативных курсах, посвященных приобретению недисциплинарных, дополнительных навыков. Такая система взаимопомощи помогает иностранным студентам быстрее освоить немецкий язык.

• В программе международного обучения было разработано новое направление для получения 30 кредитных баллов, дающих право на дополнительные курсы в соответствии с академической успеваемостью и будущими карьерными предпочтениями. Студентам, которые не имеют возможности поехать за границу на длительное время, предлагаются курсы, посвящённые введению в язык, культуру, экономику различных регионов, которые иногда завершаются экскурсией в соответствующий город.

## (2) МОБИЛЬНОСТЬ СТУДЕНТОВ И ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Студенческая мобильность считается одним из традиционных и необходимых средств интернационализации обучения. Она позволяет студентам в качестве регулярной части своих исследований проводить время за границей. Соответственно ей отводится значимая роль в обеспечении международных обменов и увеличении числа регулярных студентов в Рурском университете.

Недавние и новые действия в этой области включают в себя:

• Использование в бакалавриате ранее упомянутой программы «Международные образования» с 30-ти балльной системой, что позволит студентам с дополнительной пользой провести семестр за границей, причем без задержек в основном курсе обучения.

• Международную программу для преподавателей, которая открыта для всех дисциплин и реализуется при поддержке центральных фондов. Она предполагает длительное пребывание в нашем кампусе и называется «Международный преподавательский состав Рурского университета».

• Программу «Лаборатория обмена» с участием студентов, которые, как правило, проводят эксперименты в Рурском университете и иностранном университете. Каждый студент имеет возможность поехать в другой университет для проведения исследований.

## (3) ОБМЕНЫ И ВСТРЕЧИ С МОЛОДЫМИ УЧЁНЫМИ

Молодые учёные, согласно нашему пониманию, это кандидаты и доктора наук, в том числе те, кто занимает младшие должности на кафедрах без постоянной работы в качестве преподавателя (т.е. или аспиранты, или исследователи, имеющие степень до того, как они получат такую работу).

Усилия Рурского университета, направленные на поддержку продвижения молодых учёных, нашли отражение в проекте «Инициативы немецких университетов по совершенствованию» и привели к созданию Исследовательской школы Рурского университета (RS) в 2006 году. С тех пор RS координирует и развивает не только программы, касающиеся общего образования и поощрения молодых учёных, но и – в тесном сотрудничестве с международным бюро – все меры, относящиеся к приобретению ими международного опыта и формированию личной научно-исследовательской карьеры в рамках сложившейся сегодня интернационализации обучения и преподавания.

Недавние и новые активности в этой области:

• Программы PLUS в Исследовательской школе Рурского университета доступны всем докторам наук. Они предлагают средства для длительного пребывания ученых в другой стране, приглашения зарубежных коллег к сотрудничеству, средства для организации и проведения международных научных конференций.

• Программы для преодоления «разрыва в докторантуре», которые позволят докторам наук продолжить свои научные исследования, они смогут начать проект в зарубежной лаборатории ещё до того, как целевые средства на этот проект будут выделены.

Интернационализация остается одним из приоритетов Рурского университета, и мы рады, что имеем возможность представить и обсудить наши усилия в этой области (internationalization@home), проблемы мобильности студентов и преподавателей. И, конечно, мы надеемся на продолжение наших отношений с МИИТ, рассчитываем на плодотворный обмен идеями и новую совместную деятельность. ●

Координаты автора: **Фрайтаг К.** – prorektor-lehre@ruhr-uni-bochum.de.

Статья поступила в редакцию 06.09.2016, принята к публикации 19.12.2016.

# INTERNATIONALIZATION OF STUDY AND TEACHING: INNOVATIVE TRENDS

***Freitag, Kornelia,*** *Ruhr University Bochum, Germany.*

## ABSTRACT

The article is devoted to the experience of the organization of interuniversity cooperation and partnership, internationalization of study and teaching on an innovative basis. Ruhr University Bochum is known not only in Germany for its commitment to advanced educational technologies, its desire to develop international relations, and to cultivation of joint training programs with foreign partners, to which MIIT has been belonging for several years. The author comments on internationalization of educational programs, mobility of students and teachers, exchange of researchers and their contacts at the beginning of a career. At the same time, the problem of the linguistic environment and its importance for the success of teaching and research activities within the walls of the university are also noted.

Keywords: *university, training, research, internationalization, interuniversity cooperation.*

**Background.** *Ruhr-University Bochum is a young and dynamic research university. It was the first German university founded after World War II. Teaching and research started in 1965. With over 43.000 students and a staff of 6.000, it offers – next to the University of Erlangen-Nürnberg – the largest range of disciplines of any German university. Subjects extend from the humanities and social sciences to the natural sciences, full-fledged engineering sciences, and medicine. RUB's teaching and research mission is the universitas – which we interpret as 'the Community of the Learned and the Learning' and which is translated into our motto «humane, accomplished, open to the world».*

*Our academic structure follows the Anglo-Saxon department model rather than the traditional faculty model of the Humboldtian University. This means flat hierarchies, disciplinary sections, transdisciplinary research units, a high degree of co-operation on campus, and a clear focus on international performance at every level. Ruhr University won and is now realizing projects in two funding lines of the German Excellence Initiative.*

*Ruhr-University has a continuing history of pioneering major advancements in study, research, and the promotion of early career researchers. To name just two examples: (1) RUB was one of the two German universities (together with TU Munich) introducing a university-wide doctorate college (in Bochum: the RUB Research School, founded in 2006), which became the blueprint for similar institutions at many other German universities in the years thereafter. (2) RUB pioneered the introduction of the bachelor-master study system ('Bologna reform') in Germany.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider innovative trends which are applied within internationalization of study and teaching at Ruhr University Bochum.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, scientific description, comparative analysis.*

**Results.**

**Trends in the Internationalization of Study and Teaching at RUB**

*As part of our all-encompassing international strategy, internationalization of study and teaching plays a prominent role. In this article, the focus is on three measures that have been or are in the process of implementation over the course of the last couple of years:*

*(1) Internationalization@home,*

*(2) Mobility of Students and Faculty, and*

*(3) Exchange and Encounter of Early Career Researchers.*

*These topics were selected because they are apt to enter into the discussion with the MIIT. We have been enjoying a partnership with the MIIT for several years and think that it may now be the time for further and stronger joint projects.*

**(1) Internationalization@home / Internationalization of the Curriculum**

*These two, intricately related measures encompass actions determined to (a) make all Bochum students aware of the fact that they are living and studying in a globalized and transnational context that allows and demands internationalizing measures, (b) expose German students to intercultural experiences while staying on campus, and (c) allow international students to acquaint themselves with Germany and the study of German as well as to contribute to classes and other activities at RUB in their own mother tongue.*

*The first and general measure necessitates raising the awareness of the existing everyday and subject-related global interconnectedness of living, studying, and researching on a German university campus. This means, in particular, to integrate students' and professors' daily face-to-face and digital international interactions into teaching and study at RUB. This will require embedding learning arrangements and teaching aims into an international context of knowledge acquisition and exchange as well as securing a critical orientation with regard to global supply and demand structures.*

*One of our major fields of action guided by the rectorate and the International Office will be to increase the number of international guest lecturers who will take over teaching in parts of the curriculum in various courses. We will not only invite more guest lecturers to RUB, but the idea is to set up especially co-teaching seminars or lectures. This will not only expose the students to different methods of teaching and learning, but will also enrich the professional exchange between the local and the international teaching staff. To support and finance these activities the rectorate of Ruhr-University has already set up a special program to increase the number of international lecturers and, in addition, we will also use EU programs like ERASMUS+ to reach this goal.*

*So far, measures of E-learning and other forms of research- and teaching-related digitalization have not yet been used systematically and too seldom in content courses for the purpose of internationalization. We are determined to explore this field more intensely in the years to come. Although E-learning has started to be used in more and more courses across various fields, it has rarely been used for the purposes of internationalization.*

• Today, Ruhr-University Bochum offers E-learning courses during the pre-arrival or the arrival phase in order to familiarize international students with the conditions of living, learning or doing research in Germany and at the Ruhr-University Bochum. There is e.g. the webpage start@rub.de, advising on the formal and practical aspects of arriving and living in Germany, which is embedded in an online language course.

• Other already existing E-offers, developed at RUB and potentially useful for international students, are preparatory online modules in the fields of engineering and science that combine the teaching of technical terminology (in German) with the introduction to basic skills of thinking and reasoning in the respective subjects in self-learning courses for future students.

Next to existing and developing digital offers, international students and researchers are assisted by a variety of established measures.

• After arriving at Bochum, the 'RUB international student services (RUBiss)' and the 'RUB Welcome Centre für Researchers', both having been offering their services for many years, ensure an easy start for international students and researchers;

• A number of International teams in various university sports brings together local and international students.

• Buddy systems serve the mutual support of language proficiency.

• In special courses, German students can choose to be trained to act as tutors for 'German as a Foreign Language' as part of their undergraduate course work, receiving credit points in their optional courses devoted to the acquisition of non-disciplinary, supplementary skills.

• A new track 'International Studies' was designed for the 30-credit-points part of undergraduate studies that is devoted to the acquisition of non-disciplinary, supplementary skills and can be filled with courses according to the students' own academic and later career preferences ('Optionalbereich'). In this new track, students who do not have the chance to go abroad for a longer time are offered two- or three-part courses devoted to the introduction to the language, culture, and/or economy of different regions, sometimes culminating in an excursion to a respective city. Recent courses took students – prepared by an introductory and/or a language course and a course taught by a guest professor from the respective country – to London, Washington, Krakow, Hong Kong, and various places in Morocco.

**(2) Mobility of Students and Faculty**

Student mobility is one of the 'traditional' and indispensable means to further internationalization for students. It allows them, as a regular part of their studies, to spend time abroad. Hence, it is one of the most important tasks of the rectorate and the International Office to secure sufficient capacity to increase the number of international exchange and regular students at RUB.

Recent and new actions in the field include

• Using the newly developed track 'International Studies' in the 30-credit-point part of undergraduate studies devoted to the acquisition of non-disciplinary, supplementary skills, mentioned above, to allow undergraduates to integrate a semester abroad easily and without further delay in their course of studies;

• An international lecturer program open to all disciplines and supported by central funds for longer stays of guest researchers willing to do research and teaching on our campus, called 'The RUB International Faculty';

• A 'Lab Exchange' program involving students who, typically, experiment in a lab at RUB and a lab at an international university. Each student travels to the other university in order to experiment and co-operate on research topics.

**(3) Exchange and Encounter of Early Career Researchers**

Early career researchers are, according to our definition, doctoral and postdoctoral researchers, including the ones holding a junior professorship without tenure (i.e. Ph.D. students or, (in Russian – aspiranty) and researchers with a Ph.D. before they hold a permanent professorial position).

RUB's efforts to enhance the promotion of early career researchers were honored and have been substantially supported by the successful application in the German Excellence Initiative and led to the establishment of the RUB Research School (RS) in 2006. Since then, the RS co-ordinates and develops not only all activities concerning the general education and promotion of early career researchers but also – in close collaboration with the International Office – all measures pertaining to their acquisition of international experience and the development of their personal international network.

Recent and new activities include:

• The PLUS-programs of the RUB Research School, funded by the German Excellence initiative. These programs – accessible to all doctoral researchers on campus – offer funds for an extended research stay in another country, funds to invite international peers for co-operation on campus, funds to organize and to conduct international doctoral conferences on research topics suggested by the Research School or the early career researchers, and many more programs;

• Programs to bridge the 'postdoc-gap', i.e., funds to allow brilliant doctoral researchers who seek a continuation of their career in research to start a project in a foreign guest lab or other research facility even before funds for their postdoc proposals have been raised.

**Conclusion.** Internationalization is one of the top priorities of Ruhr-University Bochum and we are happy to have the opportunity to present and discuss our efforts in the fields of internationalization@home, mobility of students and faculty, and the internationalization measures for early career researchers on the occasion of the anniversary of the MIIT in Moscow. We sincerely hope to continue our relationship with the MIIT and are looking forward to a fruitful exchange of ideas and to new co-operative activities. ●

Information about the author:
**Freitag, Kornelia** – Professor Dr., Vice Rector for Academic Affairs and Professional Development of Ruhr University Bochum, Germany, prorektor-lehre@ruhr-uni-bochum.de.

Article received 06.09.2016, accepted 19.12.2016.

# КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL


**ГАЛЕРЕЯ ИМЕН** 240

*Пётр Рыбкин и радиотелефония.*

**ПРЕСС-АРХИВ** 247

*Подвесные железные дороги: проект вековой давности. Трансмонгольская железная дорога.*

**GALLERY OF NAMES** 240

*Pyotr Rybkin and radio phone communications.*

**PRESS ARCHIVES** 247

*Suspension railways: a century old project. Trans Mongolian railway.*

УДК 621.3(09)

# «Упрощённо тчк Замечательно тчк Чувствительна тчк»

Николай ГРИГОРЬЕВ

Nikolai D. GRIGORIEV

*Григорьев Николай Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**«Simplifiedly Stop Remarkably Stop Sensitive Stop»**

*(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 244)*

***Пётр Николаевич Рыбкин – «первый радист», «дедушка советских радистов», ближайший соратник Александра Попова. Именно Пётр Рыбкин в марте 1896 года при помощи азбуки Морзе передал первую в мире радиограмму – «Генрих Герц». В мае 1899 года вместе с другим ассистентом Попова, Д. С. Троицким, открыл возможность приёма радиосигналов на слух. На основании этого открытия был разработан радиоприёмник с телефонной трубкой для приёма радиосигналов.***

*Ключевые слова: приём радиосигналов на слух, беспроволочный телеграф, электромагнитные волны, радиоприёмник, когерер, радиосвязь, детектирование.*

Русский радиотехник, открывший возможность приёма радиосигналов на слух, Пётр Николаевич Рыбкин родился в семье педагогов 14 мая (2 мая по старому стилю) 1864 года в Санкт-Петербурге. Его родители содержали в своем доме частную школу начального обучения, где мальчик и получил первоначальное образование. Позже, учась уже во Введенской гимназии Петроградской стороны, он самостоятельно прошел первый курс высшего учебного заведения и в 1888 году после получения аттестата о среднем образовании был сразу зачислен на второй курс математического отделения физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета (СПУ). В 1892 году студент Рыбкин, показавший незаурядные способности во время обучения, был оставлен при СПУ для подготовки к самостоятельной научной деятельности. Он одновременно проходил научную стажировку адъюнктом (помощником профессора) в Главной физической обсерватории (с 1924 года Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова).

Весной 1894 года в Минном офицерском классе в Кронштадте (МОК) в связи с переездом Н. Н. Георгиевского в Москву

освободилась должность лаборанта физического кабинета. Морское ведомство обратилось в СПУ и там порекомендовали молодого талантливого физика Рыбкина, интересовавшегося изучением электромагнитных волн. С 1 мая 1894 года его зачислили в МОК на должность лаборанта и ассистента преподавателей гальванизма и практической физики. Помимо этого на Петра Николаевича было возложено заведование физическим кабинетом, составление каталогов приборов и материалов, а также исполнение различных научных поручений. В этом, одном из старейших учебных заведений русского флота, больше полувека Пётр Рыбкин готовил морских радиоспециалистов. Вместе с А. С. Поповым в физическом кабинете и в саду МОК испытывал работу радиоприёмника с первой в мире антенной. Присутствовал 7 мая (25 апреля по старому стилю) 1895 года на заседании Русского физико-химического общества (РФХО), где Попов доложил присутствующим об изобретении радио и продемонстрировал первый радиоприёмник. В марте 1896 года на заседании РФХО Рыбкин электромагнитными сигналами при помощи азбуки Морзе передал на телеграфную ленту первую в мире радиограмму «Генрих Герц». Расстояние, правда, было всего 250 м. Телеграмма была передана из химической лаборатории в физическую аудиторию, помещающуюся в другом здании СПУ.

Свои первые опыты передачи сигналов на расстоянии Петр Николаевич проводил летом 1897 года на Кронштадском рейде между берегом и небольшим судном «Рыбка», а затем они продолжились в учебно-минном отряде на Транзундском рейде вблизи Выборга. Александр Попов в это время находился в Нижнем Новгороде, где заведовал электрической станцией, и руководил опытами Рыбкина оттуда, активно переписываясь со своим ассистентом.

Эксперименты прошли удачно. Дабы иметь возможность испытать беспроволочную передачу на больших расстояниях, было решено использовать крейсер 2-го ранга «Африка» и транспортное судно «Европа». На мачтах этих суден оказалось возможным поднять антенну на высоту 20 м и дальность передачи была повышена до 5 верст (5 с лишним км). Успешные ре-

зультаты опытов были доложены Морскому техническому комитету, который принял решение о финансировании и продолжении дальнейших исследований в 1898 году.

В мае 1899 года Петр Рыбкин вместе с другим ассистентом Попова Д. С. Троицким на фортах «Милютин» и «Константин» крепости Кронштадт провели опыты по испытанию приборов радиотелеграфа. Приёмник имел простое устройство: антенна, аккумуляторная батарея, параллельно включенные электрический звонок и телеграфный аппарат Морзе, позволявший вести запись сигналов на бумажную ленту, электромагнитное реле и когерер (стеклянная трубка с двумя электродами на концах, наполненная металлическими порошками). Из-за плохих контактов между опилками сопротивление когерера было велико, поэтому электрический ток в цепи был мал. Реле не замыкало цепи телеграфного аппарата и звонка. Под действием электромагнитных волн высокой частоты, которые принимала антенна, в когерере возникали электрические разряды между отдельными металлическими опилками, они спекались, сопротивление уменьшалось в 100...200 раз, и он начинал пропускать электрический ток от аккумуляторной батареи, достаточный для срабатывания электромагнитного реле, который включал телеграфный аппарат и звонок. На телеграфной ленте вычерчивалась точка или тире, а молоточек звонка ударял по когереру, встряхивая его металлические

опилки. Сцепление между опилками ослабевало – приёмник был готов к регистрации следующего сигнала.

Однажды при передаче сигналов из форта «Константин» в форт «Милютин» на движущейся телеграфной ленте перестали вычерчиваться точки и тире. Подключив телефонную трубку к когереру для проверки исправности его электрической цепи, Рыбкин услышал в наушниках вместо обычного щелчка короткие и длинные гудки, из которых складывалось передаваемое слово. Исследование этого факта показало, что во время работы передатчика разрядился аккумулятор приёмника. Поэтому количество энергии, поступающее к опилкам когерера, было недостаточно, чтобы связать их в проводящий мостик и тем самым замкнуть цепь реле телеграфного пишущего аппарата. Передача шла на небольшой искре с уменьшенной энергией, которой хватало, чтобы услышать сигналы в телефонной трубке. Об этом открытии Попов был извещен срочной телеграммой: «Рыбкин Троицкий обнаружили новое свойство трубки принимать упрощённо замечательно чувствительна».

На основании открытия преобразования электромагнитных колебаний в звуковой сигнал (детектирования) без встряхивания когерера был разработан радиоприемник с телефонной трубкой для приёма радиосигналов на слух, который обладал большей чувствительностью и не требовал телеграфного аппарата для записи переданных сообщений на движущуюся бумажную ленту. Это позволило упростить схему приёмника (ударник и прерыватель электрической цепи стали не нужными) и увеличить дальность радиосвязи. В июне 1899 года Попов совместно с Рыбкиным и Троицким подали заявление на патент «Приемник депеш, посылаемых с помощью электромагнитных волн». Патент был выдан за номером 6066. Первый в мире аппарат для приёма радиосигналов на слух был запатентован в Англии и Франции. В настоящее время это изобретение используется в цифровых сотовых системах радиосвязи. Приходящая волна вызывает слабые электромагнитные колебания, энергия которых не используется для приёма. Слабые сигналы лишь управляют с помощью полупроводниковых приборов источниками энергии, питающими последующие цепи, усиливающие и воспроизводящие полученную информацию.

В 1899–1901 годах Рыбкин принимал участие в усовершенствовании и в испытаниях беспроволочного телеграфа на море, плавая на судах Балтийского и Черноморского флотов. Особенно важным для него было участие в эпопее по спасению броненосца береговой обороны «Генерал-адмирал Апраксин», потерпевшего крушение в Финском заливе. В конце ноября 1899 года во время снежной метели корабль сбился с курса и сел на камни во льдах у южного берега острова Гогланд (ныне Сур-Сари). В зимнее время финские почтальоны и нарочные не всегда могли обеспечивать связь между материком и островом из-за непрочного льда. По этой же причине проложить кабель также было невозможно. Из-за отсутствия связи работы по спасению срывались, что грозило броненосцу гибелью. Морское министерство поручило Попову обеспечить с помощью беспроволочного телеграфа регулярную связь места аварии с материком. На станции Котка (ныне находится в Финляндии) руководил работами Попов, а на острове Гогланд – Рыбкин. На остров людей и материалы, необходимые для сооружения станции беспроволочного телеграфа, перевез ледокол «Ермак», вышедший в начале января 1900 года из Ревеля (с 1917 г.– Таллинн). В метель и морозы матросы под командованием морских офицеров и под руководством Рыбкина по неокрепшему битому льду и глубокому снегу переправляли с ледокола на берег,

а потом на остров груз и смонтировали антенны. Связь по беспроволочному телеграфу во время спасательных работ в радиусе 50 км между материком, островом и броненосцем поддерживалась регулярно и бесперебойно. До апреля месяца 1900 года, когда броненосец все-таки был снят с камней, было передано несколько сотен телеграмм. В связи с успехами во время спасательных работ Петру Рыбкину было объявлено от императора России Николая II «Монаршее благоволение» и выдано 1100 рублей.

В летнюю кампанию 1901 года Рыбкин принимал непосредственное участие в оборудовании первой в России линии гражданской радиосвязи для нужд речного судоходства в Ростове-на-Дону между портом и специальным маяком в дельте реки Дон в восьми километрах от порта. По радио передавались сообщения об уровне воды в канале, соединяющем порт с Азовским морем, и тем самым обеспечивалась безопасность судоходства.

После перехода в 1901 году Попова в Санкт-Петербургский электротехнический институт Рыбкин занял его место преподавателя в МОК. Он не прекращал свои работы по совершенствованию схемы радиоприёмника, добивался большей надёжности в работе, продолжил дальнейшие испытания радиостанций на кораблях. В 1906 году был инициатором создания в МОК посмертной выставки приборов и аппаратуры радиосвязи, созданных Поповым. С 1920 года и до конца жизни заведовал музеем радио. На протяжении почти 50 лет руководил радиоотделом в МОК, а затем Школой связи имени А. С. Попова в Кронштадте. Моряки Балтики называли Рыбкина «Дедушка радистов». По его инициативе в 1922 года в Кронштадте были организованы вечерние электротехнические курсы, где он преподавал до 1934 года.

Во время Великой Отечественной войны Петр Рыбкин выполнял задания командования Балтийского флота по обороне Ленинграда, за что был удостоен ордена «Красная звезда». В марте 1942 года был эвакуирован из Кронштадта и работал до самого окончания войны на станции Инская Западно-Сибирской железной дороги в шести км восточнее Новосибирска. В 1944 году Петру Рыбкину была присуждена высшая награда СССР – орден Ленина. А в это время его сын, тоже радист, Владимир Петрович Рыбкин, воевал на фронте.

После тяжёлой и продолжительной болезни Петр Николаевич Рыбкин скончался 10 января 1948 года в возрасте 83 лет. Похоронили его в родном Кронштадте. Петру Николаевичу принадлежит более 30 работ в области практики и истории радиосвязи, в которых всегда и бескомпромиссно отстаивался приоритет русской науки в изобретении беспроволочного телеграфа. За педагогическую и научную деятельность он был награжден орденами и медалями, именными часами от правительства и значком «Почётный радист СССР». Режиссер Мария Клигман сняла его в документальном фильме «Рождение радио» (1941).

## ЛИТЕРАТУРА


1. Головин Г. И. Пётр Николаевич Рыбкин (1864–1948). Ближайший помощник А. С. Попова.– М.-Л.: Госэнергоиздат, 1951.– 44 с.
2. Головин Г. И. Изобретатель радио А. С. Попов. Под редакцией В. П. Вологдина.– Молотов: Молотовгиз, 1948.– 312 с.
3. Головин Г. И., Эпштейн С. Л. Русские изобретатели в телефонии / Под редакцией Д. С. Пашенцева.– М.: Связьиздат, 1948.– 88 с.
4. Шателен М. А. Русские электротехники XIX века.– М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955.– 432 с.
5. Веселовский О. Н., Шнейберг Я. А. Очерки по истории электротехники.– М.: Изд-во МЭИ, 1993.–252 с.




Координаты автора: **Григорьев Н. Д.** – (495) 684–21–19.

Статья поступила в редакцию 27.11.2015, принята к публикации 25.07.2016.

# «SIMPLIFIEDLY STOP REMARKABLY STOP SENSITIVE STOP»

***Grigoriev, Nikolai D.,*** *Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

Petr Nikolaevich Rybkin is «the first radio operator», «the grandfather of the Soviet radio operators», the closest colleague of Alexander Popov. It was Petr Rybkin who, in March 1896, with the help of the Morse code, transmitted the first radiogram in the world – «Henry Hertz». In May 1899, together with another assistant of Popov, D. S. Troitsky, he opened the possibility of perceiving radio signals with human ear. Based on this discovery, a radio receiver with a handset for receiving radio signals was developed.

*Keywords: audition of radio signals, wireless telegraph, electromagnetic waves, radio receiver, coherer, detection.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider life and work of Petr Rybkin, the closest assistant of Alexander Popov.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods and historical-retrospective analysis.*

*A Russian radio technician who discovered the possibility of perceiving radio signals with human ear, Petr Nikolaevich Rybkin was born in a family of teachers on May 14 (May 2 old style) 1864 in St. Petersburg. His parents kept a private elementary school in their home, where the boy received his primary education. Later, while studying at the Vvedensky Gymnasium of the Petrograd Side, he independently passed the first course of a higher educational institution and in 1888 after receiving a certificate of secondary education he was immediately enrolled in the second course of the mathematical department of the Physics and Mathematics Faculty of St. Petersburg University (SPU). In 1892, a student Rybkin, who showed outstanding abilities during training, remained with SPU to prepare for independent scientific work. He simultaneously underwent a scientific internship as an adjunct (assistant professor) at the Main Physical Observatory (since 1924 the Voyeikov Main Geophysical Observatory).*

*In the spring of 1894, in the Mine Officers' Class in Kronstadt (MOC), in connection with the moving of N. N. Georgievsky to Moscow, the post of laboratory assistant of the physical cabinet was vacated. The Maritime Department applied to SPU and there they recommended a young talented physicist Rybkin, who was interested in studying electromagnetic waves. Since May 1, 1894, he was admitted to MOC as a laboratory assistant and an assistant lecturer in galvanism and practical physics. In addition, Petr Nikolaevich was entrusted with management of a physical cabinet, compilation of catalogs of instruments and materials, as well as execution of various scientific assignments. In this, one of the oldest educational institutions of the Russian fleet, Petr Rybkin trained maritime radio specialists for more than half a century. Together with A. S. Popov in the physical cabinet and in the garden of MOC he tested the work of a radio receiver with the world's first antenna. He was present on May 7 (April 25 old style) 1895 at a meeting of the Russian Physico-Chemical Society (RPCS), where Popov reported to the audience about the invention of radio and demonstrated the first radio receiver. In March 1896, at a meeting of RPCS Rybkin, with the help of the Morse code, transmitted the first radiogram «Henry Hertz» to the telegraph tape with electromagnetic signals. The distance, however, was only 250 m. The telegram was transmitted from the chemical laboratory to a physical audience located in another SPU building.*

*Petr Nikolaevich conducted his first experiments transmitting signals at a distance in the summer of 1897 on the Kronstadt roadstead between the shore and a small «Rybka» ship, and then they continued in the training and mine detachment on the Tranzund roadstead near Vyborg. Alexander Popov at this time was in Nizhny Novgorod, where he was in charge of an electric station, and supervised Rybkin's experiments therefrom, actively communicating with his assistant. The experiments were successful. In order to be able to test wireless transmission over long distances, it was decided to use the cruiser of the 2nd rank «Africa» and the transport ship «Europe». On the masts of these ships it was possible to raise the antenna to a height of 20 m and the transmission range was increased to 5 versts (5-plus km). Successful results of the experiments were reported to the Marine Technical Committee, which decided to finance and continue further research in 1898.*

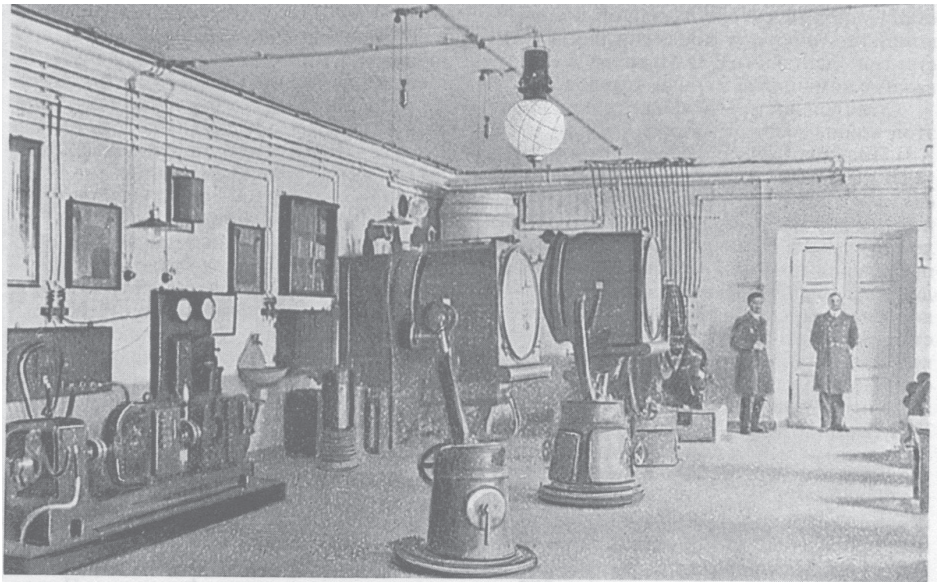
*In May 1899, Petr Rybkin, along with another assistant of Popov, D. S. Troitsky, at the forts «Milyutin» and «Konstantin» of the fortress of Kronstadt conducted experiments to test radio telegraphs. The receiver had a simple arrangement: an antenna, a battery, an electrical bell connected in parallel, and a Morse telegraph device, which allowed recording signals on a paper tape, an electromagnetic relay and*

***Mine room of Mine Officers' Class in Kronstadt.***

*a coherer (a glass tube with two electrodes at the ends, filled with metal powders). Due to poor contacts between the sawdust, the resistance of the coherer was large, so the electric current in the circuit was small. The relay did not close the circuit of the telegraph unit and the bell. Under the influence of high-frequency electromagnetic waves received by the antenna, electrical discharges between individual metal filings occurred in the coherer, they were sintered, the resistance decreased by 100 ... 200 times, and it began to pass an electric current from the battery, sufficient to trigger an electromagnetic relay, which switched on telegraph and telephone. A dot or dash was drawn on the telegraph tape, and the hammer of the bell struck the coherer, shaking its metal filings. The adhesion between the sawdusts was weakened – the receiver was ready to register the next signal. Once, during the transfer of signals from the fort «Constantine» to the fort «Milutin» on a moving telegraph tape, points and dashes were no longer drawn. Having connected the telephone receiver to the coherer to check the serviceability of its electrical circuit, Rybkin heard short and long beeps in the headphones instead of the usual click, from which the word being transferred was composed. A study of this fact showed that during the operation of the transmitter the receiver battery discharged. Therefore, the amount of energy supplied to the coherer sawdust was not enough to connect them to the conductive bridge, thereby closing the relay circuit of the telegraph writing machine. The transmission was on a small spark with reduced energy, which was enough to hear the signals in the handset. About this discovery Popov was informed by an urgent telegram: «Rybkin Troitsky discovered a new property of the tube to receive simplistically remarkably sensitive».*

*On the basis of the discovery of the conversion of electromagnetic oscillations into a sound signal (detection) without shaking the coherer, a radio receiver with a telephone receiver was designed to receive radio signals by ear, which was more sensitive and did not require a telegraph apparatus to record transmitted messages on a moving paper tape. This made it possible to simplify the receiver circuitry (the drummer and the interrupter of the electrical circuit became unnecessary) and to increase the radio communication range. In June 1899, Popov, together with Rybkin and Troitsky, applied for a patent «Receiver of dispatches sent by electromagnetic waves». The patent was issued with the number 6066. The world's first device for receiving radio signals by ear was patented in England and France. Currently, this invention is used in digital cellular radio communication systems. The incoming wave causes weak electromagnetic oscillations, the energy of which is not used for reception. Weak signals only control the use of semiconductor devices by power sources that feed subsequent circuits that amplify and reproduce the information received.*

*In 1899–1901 Rybkin took part in improvement and testing of a wireless telegraph at sea, floating on the ships of the Baltic and Black Sea fleets. Especially important for him was participation in the epic to rescue the battleship of the coastal defense «General-Admiral Apraksin», which was wrecked in the Gulf of Finland. At the end of November 1899, during a snow blizzard, the ship lost its course and sat on rocks in the ice near the southern shore of the island of Hogland (now Sur-Sari). In the winter time, Finnish postmen and couriers did not always provide communication between the mainland and the island because of the fragile ice. For the same reason, it was also impossible to lay the cable. Because of the lack of communication, work on rescue was disrupted, which threatened the battleship with death. The Marine Ministry instructed Popov to provide regular communication between the accident site and the mainland via a wireless telegraph. At the station Kotka (now in Finland) Popov led the work, and on the island of Hogland – Rybkin. To the island, people and materials necessary for the construction of a wireless telegraph station were transported by the icebreaker «Ermak», which was released in early January 1900 from Revel (since 1917, Tallinn). In the blizzard and frosts, the sailors, under the command of naval officers and Rybkin's direction, transported cargo from the icebreaker to the shore by unstable broken ice and deep snow, and then to the island and then*



***Electrotechnical room of Mine Officers' Class in Kronstadt.***

*mounted antennas. Communication on wireless telegraph during rescue operations within a radius of 50 km between the mainland, the island and the battleship was maintained regularly and uninterruptedly. Until April 1900, when the battleship was still removed from the rocks, several hundred telegrams were transmitted. In connection with the successes during the rescue Petr Rybkin was announced from the Emperor of Russia Nikolai II «Monarch favor» and was granted with 1100 rubles.*

*In the summer campaign of 1901 Rybkin took direct part in equipping the first civil radio communication line in Russia for the needs of river navigation in Rostov-on-Don between the port and a special lighthouse in the delta of the Don River, eight kilometers from the port. Messages on the water level in the canal connecting the port with the Sea of Azov were transmitted via the radio, thus ensuring the safety of navigation.*

*After the transition of Popov to the St. Petersburg Electrotechnical Institute in 1901 Rybkin took his place as a teacher at MOC. He did not stop his work on improving the radio receiver circuit, achieved greater reliability in work, continued further tests of radio stations on ships. In 1906 he initiated the creation in MOC of a posthumous exhibition of instruments and radio communication equipment created by Popov. From 1920 until the end of his life he was in charge of the radio museum. For almost 50 years, he directed a radio department at MOC, and then School of Communications n.a. A. S. Popov in Kronstadt. The sailors of the Baltic called Rybkin «The Grandfather of the Radio Operators». On his initiative, in 1922, evening electrical courses were organized in Kronstadt, where he taught until 1934.*

*During the Great Patriotic War, Petr Rybkin carried out the tasks of the Baltic Fleet command in the defense of Leningrad, for which he was awarded the Order of the Red Star. In March 1942, he was evacuated from Kronstadt and worked until the end of the war at the Inskaya station of the West Siberian Railway six kilometers east of Novosibirsk. In 1944, Petr Rybkin was awarded the highest award of the USSR – the Order of Lenin. And at this time his son, also a radio operator, Vladimir Petrovich Rybkin, fought at the front.*

**Conclusion.** *After a serious and prolonged illness, Petr Nikolayevich Rybkin died on January 10, 1948 at the age of 83 years. He was buried in his native Kronstadt. Petr Nikolaevich has more than 30 works in the field of radio communication practice and history, in which the priority of Russian science in the invention of a wireless telegraph has always and uncompromisingly been upheld. For pedagogical and scientific activities, he was awarded orders and medals of the USSR, watch with engraved name from the government of the USSR and the badge «Honorary radio operator of the USSR». Director Maria Kligman shot him in the documentary film «The Birth of Radio» (1941).*

## REFERENCES


1. Golovin, G. I. Petr Nikolaevich Rybkin (1864–1948). The closest assistant of A. S. Popov [*Petr Nikolaevich Rybkin (1864–1948). Blizhajshij pomoshhnik A. S. Popova*]. Moscow; Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1951,44 p.
2. Golovin, G. I. Inventor of Radio A. S. Popov [*Izobretatel' radio A. S. Popov*]. Ed. by V. P. Vologdin. Molotov, Molotovgiz publ., 1948, 312 p.
3. Golovin, G. I., Epshtein, S. L. Russian inventors in telephony [*Russkie izobretateli v telefonii*]. Ed. by D. S. Pashentsev. Moscow, Svyaziizdat publ., 1948, 88 p.
4. Shatelen, M. A. Russian electrical engineers of XIX century [*Russkie elektrotehniki XIX veka*]. Moscow; Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1955, 432 p.
5. Veselovsky, O. N., Shneiberg, Ya. A. Essays on the history of electrical engineering [*Ocherki po istorii elektrotehniki*]. Moscow, Izd-vo MEI, 1993, 252 p. ●



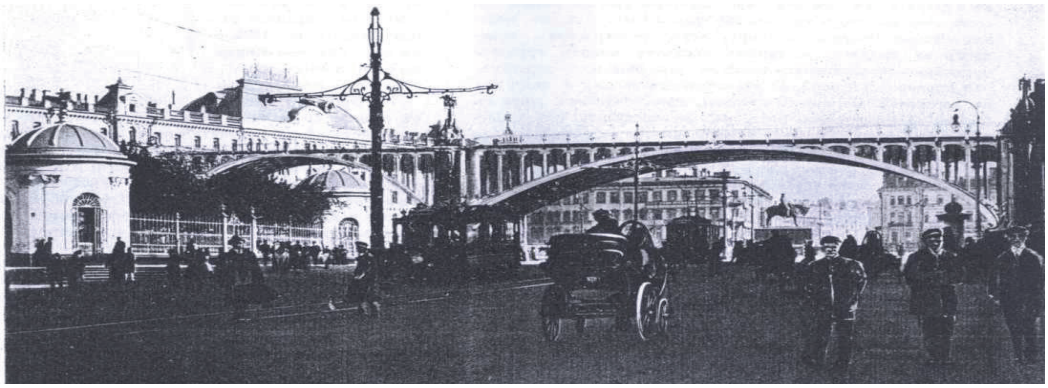
Information about the author:
**Grigoriev, Nikolai D.** – Ph.D. (Eng), associate professor at the department of Electrical engineering of transport of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, +7 (495) 684–21–19.


Article received 27.11.2015, accepted 25.07.2016.

# О ПРОЕКТЕ ВОЗВЫШЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В ПЕТЕРБУРГЕ

В 1909 году Министром путей сообщения С. В. Рухловым была образована комиссия, под председательством состоящего при Министре Главного инспектора, для рассмотрения проекта электрификации С.-Петербургского железнодорожного узла. Дело в том, что пригородное пассажирское движение на участках железных дорог, прилегающих к Петербургу, уже само по себе большое, но, кроме того, с каждым годом все увеличивается, в среднем оно растет на 7,6 % в год. В 1908 году по пригородному тарифу было перевезено 20722000 пассажиров. В том же году пассажиров дальнего назначения на всех петербургских ж.д., в том числе и на финляндских, было перевезено всего 1904000. Все знают, как переполнены в известные часы, в дачный период, поезда и какая бывает сутолока на вокзалах. Увеличивать число поездов нельзя, а также невозможно увеличивать и состав поездов. Поэтому полагалось на всех пригородных участках, а именно до Любани, Гатчины, Ораниенбаума и Сестрорецка, ввести электрическую тягу, и построить через весь город две линии, которые, во-первых, соединили бы между собою все железные дороги, а, во-вторых, служили бы собирательным аппаратом посредством расположенных на них городских станций, освобождая таким образом от пригородного движения существующие вокзалы, которые остались бы приспособленными для дальних пассажиров.

Одну из этих линий предполагалось проложить от Флюгова переулка (от товарной станции Приморской ж.д.) мимо Католического кладбища, по Арсенальной улице, мимо Таврическаго дворца и сада, через Преображенский плац и далее по Лиговскому проспекту и от конца его до Балтийской ж.д. Вторая линия предполагалась также от Флюгова переулка до р. Невки, вдоль неё, под Невою и Марсовым полем, далее по Екатерининскому и Крюкову каналам и до той же Балтийской ж.д. Первая линия проектировалась на металлических и железобетонных возвышенных эстакадах, причем через Невский проспект у Знаменской пл. предполагалось соорудить высокий железобетонный путепровод, такой высоты, чтобы он не закрывал вида на памятник Императору Александру III (вид этого путепровода приводим). Действительно, сооружение это не только не портило бы и не закрывало бы вида на памятник, но, наоборот, украсило бы его, образуя как рамку памятника. Вторая линия частью проектировалась под землею: тоннели под Невою, вместо моста, под Марсовым полем и в русле Екатерининского канала до Гороховой улицы, по остальной части также по возвышенной металлической и железобетонной эстакаде.



*Путепровод на Знаменской площади против Невского проспекта.*



● МИР ТРАНСПОРТА, том 15, № 3, С. 247–250 (2017)

Для снабжения электрической энергией предполагалось воспользоваться порогами на р. Волхове, находящимся около села М.-Архангельского, расположенного в 110 верстах от Петербурга.

Проект этот возник по инициативе инженера И. П. Табурно и разработан им совместно с инженерами Г. О. Графтио, Д. Д. Белаго и Н. В. Рудницким[1]. Эти инженеры разработали довольно детальный проект как городских линий, так и перестройки существующих участков ж.д., потребного подвижного состава, гидроэлектрических сооружений на р. Волхове, а также линии передачи электрической энергии высокого напряжения и трансформаторных станций.

Комиссия рассмотрела проект с технической и с экономической стороны, внесла свои исправления и в принципе признала своевременным проект урегулирования пассажирского движения С.-Петербургского железнодорожного узла. С экономической стороны комиссия признала проект выгодным, не только не приносящим денежного ущерба казне, но, наоборот, дающим добавочный доход.

Министр путей сообщения, как известно, внес предложение в Государственную Думу об ассигновании ему средств для производства дополнительных изысканий, главным образом, на изучение режима р. Волхова. Эти дополнительные исследования скоро будут окончены; они производятся Управлением внутренних водных путей и шоссейных дорог.

В № 28-м «Железнодорожного Дела» за прошлый год об этом проекте изложено несколько подробнее. Из этого изложения видно, что главным препятствием в данном деле служат интересы петербургских домовладельцев, все ещё имеющих доминирующее значение в Городской Думе и считающих своих квартиронанимателей такими данниками, для облегчения участи которых предлагаемые меры без их, домовладельцев, соизволения не должны быть принимаемы.

**(Железнодорожное дело.– 1911.– № 17–19.– С. 142–143)** ●

[1] Все эти четыре инженера были руководителями по сооружению С.-Пб. электрических трамваев.

# НОВОСТИ

**Транс-монгольская железная дорога.**– Между Русским и Китайским правительствами состоялся обмен мнений относительно проекта сооружения Транс-монгольской железной дороги, которая соединит Пекин с одной из станций Забайкальской железной дороги. Согласно выработанному плану, сооружение железной дороги от Калгана до Байкала должно быть закончено к 1913 году. Наиболее трудным местом для сооружения линии является пустыня Гоби, переход через которую, в настоящее время, занимает до 50 дней, тогда как по железной дороге расстояние это может быть пройдено в 40 часов («Вест. Путей Сообщения» 1911 г. № 17).

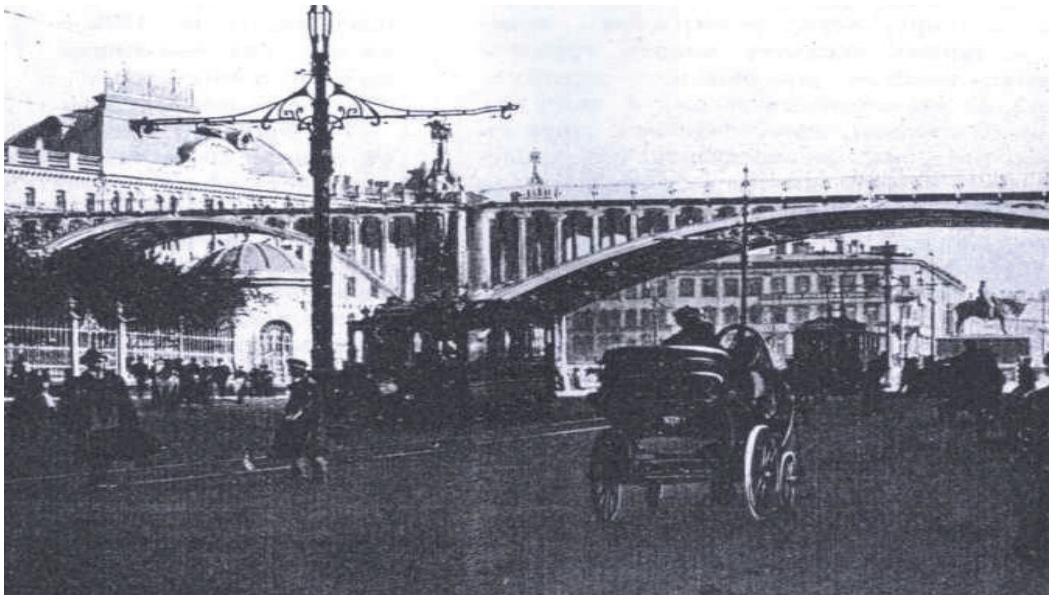
Очевидно, такой железной дорогой может быть и только что рассмотренная в Комиссии о новых дорогах, внесенная на рассмотрение частными лицами из местного Кяхтинского и Налганского русского купечества, дорога от ст. Мысовая Забайкальской дороги на Кяхту и Ургу, с тем, чтобы от Урги до Калгана строило железную дорогу Китайское правительство. Говорят, Комиссия одобрила эту дорогу, но нашла её малодоходною и потому-де подлежащею постройке казною. Конечно, и казна могла бы выполнить указанный выше двухгодовой срок сооружения, если соответственно сему изменить свои порядки, и частная компания может, если расценка работ будет достаточно высокая. Что же касается малодоходности или убыточности дороги, то Комиссия в данном случае разошлась во мнениях с непосредственно изучившим тот край полковником Козловым, сподвижником Пржевальского. Её правила не допускают подсчётов на веру и в то же время не ведут непосредственно к истине, а лишь к минимальным предположениям о доходности, которые могут быть для государства и вредными, задерживая построение жел. дорог.

**(Железнодорожное дело.– 1911.– № 17–19.– С. 144)** ●

**Редакция выражает благодарность персоналу библиотеки МИИТ за помощь в подготовке данного материала.**

# ABOUT THE PROJECT OF ELEVATED ELECTRIC RAILWAYS IN ST. PETERSBURG

In 1909, the Minister of Railways, S. V. Rukhlov, formed a commission, chaired by the Chief Inspector under the Ministry, to consider the electrification project of St. Petersburg railway junction. The fact is that the suburban passenger traffic on the sections of the railways adjacent to St. Petersburg is already large in itself, but, in addition, every year it increases, on average, it grows by 7,6 % per year. In 1908, using a suburban tariff, 20.722.000 passengers were transported. In the same year, only 1.904.000 long-distance passengers on all St. Petersburg railways etc., including those in Finland, were transported. Everyone knows how crowded are trains at certain times, in the summer period, and what kind of mess is at the stations. It is impossible to increase the number of trains, and it is also impossible to increase the size of a train. Therefore, it was assumed in all suburban areas, namely, to Luban, Gatchina, Oranienbaum and Sestroretsk, to introduce electric traction and build across the city two lines that, firstly, would connect all the railways, and, secondly, would serve as a collective apparatus by means of the city stations located on them, thus freeing out the existing stations from the suburban traffic, which would remain adapted for long-distance passengers. One of these lines was supposed to be laid from Flugov Lane (from the Primorskaya Railway Station) past the Catholic Cemetery, along Arsenalnaya Street, past the Tauride Palace and the Garden, through the Preobrazhensky Platz and further along Ligovsky Prospekt and from the end to the Baltic Railway. etc. The second line was also supposed from Flugov Lane to the river Neva, along it, under the Neva and the Field of Mars, further along the Catherine and Kryukov canals and up to the same Baltic Railway. etc. The first line was designed on metal and reinforced concrete overpasses, and through Nevsky Prospect near Znamenskaya Square it was planned to build a high reinforced concrete overpass, so high that it did not block the view of the monument to Emperor Alexander III (the view of this overpass is given). Indeed, this building not only would not spoil and would



*The overpass on Znamensky Square against Nevsky Prospekt.*

not block the view of the monument, but, conversely, decorate it, forming as a frame of the monument. The second line was partly designed under the earth: the tunnels under Neva, instead of the bridge, under the Field of Mars and in the channel of the Catherine Canal to Gorokhovaya Street, the rest also along the elevated metal and reinforced concrete overpass.

To supply electricity, it was intended to use the rapids on the river Volkhov, located near the village of M.-Arkhangelskoe, located 110 versts from St. Petersburg.

This project arose on the initiative of the engineer I. P. Taburno and was developed by him together with the engineers G. O. Graftio, D. D. Belago, and N.V. Rudnitsky[1]. These engineers have developed a fairly detailed design of both urban lines and the reconstruction of existing sites etc., required rolling stock, hydroelectric structures on the river Volkhov, as well as transmission lines for high-voltage electric power and transformer stations.

The Commission reviewed the project from a technical and economic point of view, made corrections and in principle recognized the timely settlement of the passenger movement of the St. Petersburg railway junction. On the economic side, the commission recognized the project as beneficial, not only not bringing monetary damage to the treasury, but, on the contrary, giving additional income.

The Minister of Communications, as is known, made a proposal to the State Duma to allocate him funds for the production of additional research, mainly on the study of the r. Volkhov. These additional studies will soon be over; they are produced by Administration of inland waterways and highways.

In No. 28 of *«Zheleznodorozhnoe delo»* last year, this project was described in more detail. It is clear from this statement that the main obstacle in this case is the interests of St. Petersburg homeowners, still dominant in the City Duma and considering their tenants as such tributaries, to facilitate the participation of which the proposed measures without their, homeowners, permission should not be accepted.

**(Zheleznodorozhnoe delo, 1911, No. 17–19, pp. 142–143)** ●

[1] All these four engineers were leaders in the construction of St. Petersburg electric trams.

# NEWS

**Trans-Mongolian Railway.**– An exchange of views took place between the Russian and Chinese governments on the project for construction of the Trans-Mongolian railway, which will connect Beijing with one of the Trans-Baikal railway stations. According to the plan, construction of the railway from Kalgan to Lake Baikal must be completed by 1913. The most difficult place for construction of the line is the Gobi Desert, the crossing through which, at the present time, takes up to 50 days, whereas by rail this distance can be traversed in 40 hours (*«Vestnik Putei Soobscheniya»*, 1911, No. 17).

Obviously, such a railway can be and just considered in the Commission on new roads, introduced by private individuals from the local Kyakhta and Kalgan, Russian merchants, the road from the station Mysovaya of Transbaikalian railway to Kyakhta and Urga, so that the Chinese government build the railway from Urga to Kalgan. They say that the Commission approved this road, but found it to be of poor profit and therefore, subject to the construction with funds of a treasury. Of course, even the treasury could fulfill the above two-year construction period, if it changes its procedures accordingly, and the private company can, if the rate of work is high enough. As for the low profitability or unprofitability of the road, the Commission in this case disagreed with the Colonel Kozlov, an associate of Przhevalsky, who studied the region directly. Its rules do not allow counting on faith and at the same time do not lead directly to truth, but only to the minimal assumptions about profitability, which can be harmful to the state, delaying the construction of the railway.

**(Zheleznodorozhnoe delo, 1911, No. 17–19, p. 144)** ●

**The editorial board expresses gratitude to the staff of the Library of MIIT university for their contribution to preparing this publication.**

# КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS


**ГРАФИК ДВИЖЕНИЯ** 252

*Всегда актуальная тема.*

**АВТОРЕФЕРАТЫ** 257

- *Качество транспортного обслуживания.*
- *Процессное управление контейнерным оператором.*
- *Экономика инвестиционных проектов.*
- *Снижение шума в кабинах локомотивов.*
- *Повышение межремонтного пробега грузового вагона за счёт снижения вибронагруженности.*
- *Снижение риска наездов на железнодорожной инфраструктуре.*
- *Оптимальные межвагонные связи пассажирских поездов.*

**НОВЫЕ КНИГИ** 259

*Научная и учебно-методическая литература о транспорте.*

**TRAFFIC TIMETABLE** 252

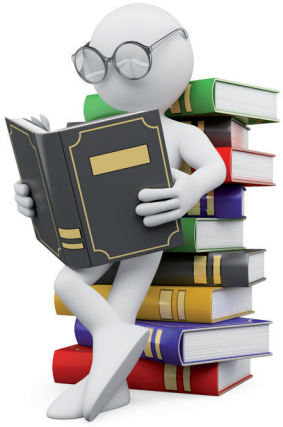
*It is always the most discussed subject.*

**SELECTED ABSTRACTS OF PH.D. THESES** 257

- *Quality of transport service.*
- *Economic aspects of investment projects.*
- *Process management of container business operations.*
- *Optimal links between the passenger coaches within the train.*
- *Increasing run of freight wagons between the repairs thanks to reduced vibration load.*
- *Reducing risks of collision at railway infrastructure facilities.*
- *Decreasing noise in locomotives.*

**NEW BOOKS** 259

*Scientific and didactic literature on transport and transportation.*

УДК 656.22

# В дождик, жару и стужу график движения нужен

*English text of the review of the book at p. 255.*

***Левин Д. Ю. Организация вагонопотоков на железных дорогах: Монография. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2017. – 443 с.***

***Фундаментальный труд содержит историю, современное состояние и перспективы развития организации вагонопотоков, которую регламентирует план формирования поездов. Очень подробно сформулированы задачи расчета плана формирования различных категорий. Рассмотрены различные режимы процесса накопления составов. Рыночные условия требуют новых критериев, что нашло отражение в расчетных нормативах. Теория расчета плана формирования прошла большой путь развития, но современные условия требуют новых методик. На разных этапах жизни железных дорог менялось отношение к маршрутизации перевозки грузов. В условиях приватизации вагонов изменились критерии эффективности маршрутизации. На различные особенности организации порожних вагонопотоков тоже наложили отпечаток рыночные условия. Увеличение доли групповых поездов сдерживает нехватка сортировочных путей. Большой интерес представляет предложение автора ввести диспетчерское управление организацией вагонопотоков.***

*Ключевые слова: организация вагонопотоков, порожние вагонопотоки, диспетчерское управление, вагоно-часы, план формирования, отправительская маршрутизация, групповые поезда.*

Монография начинается с перечня задач, сформулированных в Инструктивных указаниях по организации вагонопотоков, изданных в разные годы. С накоплением практического опыта разработки плана формирования поездов число задач постоянно растет. Не дожидаясь решения одних задач, жизнь рождает новые. Изменение социально-экономических условий выдвигает новые критерии и вызовы. В результате важный раздел эксплуатации железных дорог – организация вагонопотоков находится в постоянном развитии, поиске новых решений возникающих задач.

На накопление составов приходится около 50 % времени нахождения транзитных вагонов с переработкой на технических станциях. Условия организации, процесс накопления влияют на сроки доставки грузов, определяют эффективность использования вагонов, а при расчёте плана формирования – на объём переработки вагонов на сортировочных горках. Поэтому в монографии вопросам накопления составов справедливо уделено много внимания. Последовательно рассмотрено развитие исследований процесса накопления. Полученные результаты использованы в исследовании влияния различных факторов на показатели процесса накопления, что позволило уточнить аналитические формулы и точнее описать процессы накопления в различных режимах.

На организацию вагонопотоков влияет большое число факторов. При расчете плана формирования поездов это влияние учитывается с помощью расчётных нормативов. Система нормативов прошла большой путь совершенствования. Тем не менее справедливо утверждается, что система расчётных нормативов требует приведения существующих нормативов в зависимость от размеров перерабатываемого на станциях вагонопотока и разработки новых нормативов, позволяющих учитывать перерабатывающую способность станций и число сортировочных путей.

В расчётах плана формирования принимают постоянной величиной время нахождения транзитного вагона с переработкой на сортировочных станциях. Хотя известно, что с изменением

объёма сортировочной работы меняется время нахождения вагонов на станции. Это необходимо учитывать при оценке различных вариантов плана формирования поездов.

Изменение времени нахождения вагонов на станции при заданном и неизменном техническом оснащении при изменении объёма переработки – один из основных факторов, определяющих значение экономии вагоно-часов всех перерабатываемых на станции вагонов при пропуске рассматриваемого вагонопотока без переработки. Чем больше объём переработки, тем больше время ожидания выполнения технологических операций. Это свидетельствует о том, что определение времени нахождения вагонов на станции в отрыве от размеров переработки неправомерно.

Для реализации оптимального плана формирования поездов на технических станциях не хватает значительного количества сортировочных путей. Поэтому, рассчитывая план формирования поездов, необходимо учитывать наличие на станциях сортировочных путей. Разработаны расчётные нормативы, которые позволяют при составлении плана формирования поездов учитывать не только загрузку станций, но и количество сортировочных путей.

В связи с потерей актуальности одного из основных критериев системы организации вагонопотоков – сокращения времени оборота вагонов требует изменения оценка вариантов плана формирования поездов по затратам «приведенных вагоно-часов». Одним из критериев оценки современной системы организации вагонопотоков предложено выполнение сроков доставки грузов. Можно также попробовать в качестве критерия денежную оценку.

Очень подробно прослежено развитие теории формирования поездов, начиная от первых предложений А. Н. Фролова использовать фактор времени в качестве критерия при установлении назначения поездов и И. И. Васильева о сопоставлении затрат вагоно-часов на станциях формирования поездов с экономией времени (в вагоно-часах) от проследования поездами без переработки через попутные технические станции. Васильев стал автором методики аналитического плана формирования одногруппных поездов, в которой для выделения струй вагонопотоков нужной специализации были использованы два основных положения, названные необходимым и достаточным условиями. Позже Васильев предложил метод аналитических сопоставлений, в котором предусматривались расчёы в три этапа. На первом этапе выполнялся расчёт вариантов для отдельных станций, а на последующих этапах – расчёт оптимального варианта плана для всего рассматриваемого направления. Но сам И. И. Васильев высказывал сомнения в гарантии нахождения оптимального варианта по разработанной им методике.

Основополагающие идеи А. Н. Фролова и И. И. Васильева оформил А. П. Петров в виде метода абсолютного расчёта, в котором наилучший вариант плана формирования поездов определяется по минимуму затрат вагоно-часов на основе их прямого подсчёта по всем возможным вариантам. Метод абсолютного расчёта использовался для направлений с числом сортировочных станций не более пяти-шести.

На протяжении десятилетий А. П. Петров возглавлял научные исследования в этой области, его метод был официально признан МПС, его перу принадлежит фундаментальный труд по теории плана формирования, на котором были воспитаны инженеры не одного поколения.

Сократить число рассматриваемых вариантов предложил В. П. Черенин, который впервые механизировал выполнение расчётов, а затем разработал программу автоматизированного расчёта плана формирования поездов на ЭЦВМ «Стрела» и БЭСМ-2 для направлений от семи до девяти станций.

В. Г. Саенко и Б. Дел Рио разработали методику на предварительном определении групп вариантов с одинаковым числом назначений, среди которых находится оптимальный вариант плана формирования одногруппных поездов. Остальные группы вариантов исключаются из рассмотрения.

К. А. Бернгард исследовал возможности сокращения и унификации вычислений при нахождении оптимального варианта плана технической маршрутизации. Это позволило ему разработать метод совмещенных аналитических сопоставлений расчёта плана формирования одногруппных поездов. Метод совмещенных аналитических сопоставлений основан на последовательном отборе наивыгоднейших и исключении нецелесообразных назначений по критерию приведенных вагоно-часов.

В ноябре 1958 года во ВНИИЖТ поступила первая на железнодорожном транспорте ЭВМ «Урал-1». Первая задача, которая была решена на ЭВМ, – расчёт плана формирования для трёх станций методом абсолютного расчёта (автор программы – Г. А. Кутукова). Началось использование ЭВМ для расчёта плана формирования поездов. В конце 1960-х годов С. В. Дувалян для автоматизированного расчёта плана формирования одногруппных поездов разработал методику последовательного улучшения плана. Методика позволяла выполнять расчёты для всей сети железных дорог, получать оптимальный и оптимально реализуемый вариант плана формирования поездов, в котором учитывались отклонения вагонопотоков от кратчайшего пути по окружностям, ограничения по числу путей и перерабатывающей способности сортировочных станций.

С использованием программы Дуваляна в ГВЦ МПС ежегодно с 1970 года разрабатывался сетевой план формирования одногруппных поездов, сначала для 84 (на ЭВМ «Урал-14Д»), затем для 170 (на ЕС ЭВМ), а с 1982 по 1993 гг. для 285 технических станций.

Целенаправленная работа в области отправительской маршрутизации позволила добиться, особенно в 1960–1970-е годы, впечатляющих результатов. В этот период осваивались новые крупные месторождения угля (Экибастузский, Кузнецкий и Канско-Ачинский бассейны) и нефти (Башкирия, Западная Сибирь), распространялись передовые методы, направленные на повышение уровня маршрутизации. Уровень отправительской маршрутизации в общем отправлении груженых вагонов достиг почти 50 %.

После 1991 года существенно сократился объём железнодорожных заказов, уменьшилось внимание к маршрутизации перевозок грузов и соответственно уровень охвата погрузки маршрутами.

В настоящее время организация отправительских маршрутов позволяет снять переработку около 100 тыс. вагонов в сутки. Результат сдерживается противоречиями между интересами грузоотправителей и железных дорог.

После приватизации вагонного парка маршрутизацию перевозок грузов стало сдерживать отсутствие систем обеспечения погрузки порожними вагонами, планирования, стимулирования и контроля маршрутизации перевозки грузов.

Оценка эффективности маршрутизации перевозок грузов превышением экономии в пути следования по сравнению с дополнительными затратами на организацию маршрутов на станции погрузки и выгрузки, станции назначения тоже потеряла актуальность. Важнее стало оценивать эффективность маршрутизации:

– для ОАО «РЖД» снижением переработки на технических станциях (повышение транзитности вагонопотоков) при соблюдении нормативного срока доставки грузов;

– для операторов (грузовладельцев) снижением провозной платы и ускорением доставки грузов и оборота подвижного состава.

Особенности образования, перемещения и использования порожних вагонопотоков в монографии широко представлены разработанными автором дополнительными расчётными нормативами, позволяющими учитывать специфику работы с порожними вагонами.

Приватизация вагонного парка внесла существенные коррективы в организацию порожних вагонопотоков. Как и груженые вагоны, порожние стали следовать по полным грузовым документам. Практически ликвидирована централизованная регулировка учёта и движения порожних вагонов. Сместились акценты в ответственности за обеспечение плана их погрузки. Эти изменения пока не нашли отражения в теории организации порожних вагонопотоков.

Одной из наиболее эффективных форм организации вагонопотоков являются групповые поезда, но увеличение их числа на железных дорогах сдерживается неприспособленностью станций к их формированию и обмену групп вагонов в пути следования. Представляет интерес описание отечественного и зарубежного опыта подборки вагонов. В книге рассматриваются технико-экономические расчёты взаимодействия одногруппных и групповых поездов при организации вагонопотоков. Для более широкого распространения групповых поездов необходимо ликвидировать дефицит путей на станциях, на сортировочных станциях создавать парки местной работы и секционировать часть сортировочных путей.

Вызывает интерес раздел о диспетчерском управлении вагонопотоками. Разработка плана формирования поездов на длительный период при широком диапазоне колебаний размеров вагонопотоков периодически приводит к неэффективности выполнение предусмотренных заданий. Ситуация часто усугубляется громоздкой и медлительной современной процедурой корректировки плана формирования поездов, и действительно, оперативной её никак не назовешь. Диспетчерское управление позволяет оперативно реагировать на изменения расчётных нормативов и величин вагонопотоков, усиление или снижение технической мощности сооружений и устройств инфраструктуры и подвижного состава, временные затруднения в эксплуатационной работе. Но для практического использования диспетчерского управления вагонопотоками нужно ещё классифицировать все возникающие задачи и автоматизировать сбор и передачу информации, сделать действенными принятие решений и доведение их до исполнителей.

Изменившиеся условия работы железных дорог настоятельно требуют внесения корректив в традиционные методы планирования. Необходимо обеспечить надёжное и полное информационное обеспечение процесса. Развернутые планы перевозок не позволяют выявить грузопотоки, следующие через конкретные сортировочные станции. Для получения размера передачи по стыковым пунктам разрабатываются свои «эталоны», в которых погрузка и выгрузка всех станций учитывается за этими пунктами. При такой системе большой объём информации, образующийся при определении «эталонов» по расчёту плановых вагонопотоков, составлений сетевого плана формирования поездов и норм передачи вагонов по стыковым пунктам, содержит значительные погрешности.

**Евгений СОТНИКОВ,**
**доктор технических наук,**
**профессор, главный научный**
**сотрудник ОАО «ВНИИЖТ»,**
**Москва, Россия** ●

Координаты автора: **Сотников Е. А.** – +7 (499) 260–43–43.

Рецензия поступила в редакцию 15.06.2017, принята к публикации 28.06.2017.

# IN RAIN, HEAT AND COLD THE TRAFFIC SCHEDULE IS NEEDED

***REVIEV OF THE BOOK:*** *Levin, D. Yu. Organization of car flows on railways: Monograph. Moscow, Training and Methodological Center for Education in Railway Transport, 2017, 443 p.*

## ABSTRACT

Fundamental work describes the history, current state and prospects for development of organization of car flows, which is regulated by a plan for formation of trains. The tasks of calculating the formation plan of various categories are formulated in great detail. Various modes of the process of accumulation of trains are considered. Market conditions require new criteria, this fact is reflected in the settlement standards. The theory of calculating the formation plan has passed a long way of development, but modern conditions require new methods for calculating the formation plan. At various stages of development of railways, the attitude to the routing of cargo transportation changed. In the conditions of cars' privatization the criteria of routing efficiency have changed. The market conditions left also their mark on various features of organization of empty car flows. The increase in the share of group trains is hampered by the shortage of marshalling tracks. The proposal of the author to introduce the centralized traffic control of organization of car flows is of great interest.



*Keywords: organization of car flows, empty car flows, centralized traffic control, car-hours, plan of formation, sender routing, group trains.*


*The monograph begins with a list of tasks formulated in the Instructive Guidelines for organization of car flows published in different years. With accumulation of practical experience in developing a plan for formation of trains, the number of tasks is constantly growing. Without waiting for the solution of some problems, life gives birth to new ones. The change in social and economic conditions raises new criteria for solving problems. As a result, an important section of railways' operation – organization of car flows is in constant development and search for new solutions to emerging problems.*

*The accumulation of trains accounts for about 50 % of time of transit cars' stay with processing at technical stations. The conditions of organization, the accumulation process affect the terms of delivery of goods, determine the efficiency of using cars, and when calculating the formation plan – the volume of processing of cars on a hump yard. Therefore, in the monograph a lot of attention is paid to the issues of accumulation of trains. The development of studies of the accumulation process is consecutively reviewed. The obtained results were used in the study of various factors on the indicators of the accumulation process, which made it possible to refine the analytical formulas and more accurately describe the accumulation processes in various modes.*

*The organization of car flows is affected by a large number of factors. When calculating the plan for formation of trains, this influence is taken into account by means of calculation standards. The system of standards has passed a great way of improvement. Nevertheless, it is rightly asserted that the system of settlement standards requires bringing of existing standards to dependence on the size of the car flows processed at the stations and development of new standards that allow to take into account the processing capacity of the stations and the number of marshalling tracks.*

*In the calculations of the formation plan, the time of stay of a transit car with processing at the marshalling yards is assumed to be a constant value. Although it is known that with the change in the volume of classification work the time of stay of cars at the station changes. This should be taken into account when evaluating the various options for the train formation plan.*

*The change in the time of stay of cars at the station with the given and unchanged technical equipment when changing the volume of processing is one of the main factors determining the importance of saving car-hours of all cars processed at the station when the car flow is passed without processing. The greater is the amount of processing, the longer is waiting time for execution of technological operations. This indicates that the determination of the time of stay of cars at the station in isolation from the size of processing is not justified.*

*To implement an optimal plan for formation of trains at technical stations, a significant number of marshalling tracks lacks. Therefore, when calculating the plan for formation of trains, it is necessary to take into account the availability of marshalling tracks at the stations. Settlement standards have been developed that allow to take into account not only the loading of stations, but also the number of marshalling tracks, when drawing up the train formation plan.*

*In connection with the loss of relevance of one of the main criteria of the system of organizing car flows – reducing the turnover time of cars, the evaluation of the variants of the train formation plan for the costs of «reduced car-hours» needs to be changed. One of the criteria for assessing the current system of organization of car flows is fulfillment of delivery deadlines. It is possible to use also a monetary estimate as a criterion.*

*The development of the theory of formation of trains has been traced in great detail, beginning with the first proposals of A. N. Frolov to use the time factor as a criterion in establishing the appointment of trains and I. I. Vasiliev on comparing the costs of car-hours at train formation stations with time savings (in car-hours) from passing of trains without processing through technical stations. I. I. Vasiliev became the author of the methodology of the analytical plan for formation of one-group trains, in which two main provisions were called for the allocation of jets of car flows of the required specialization, called necessary and sufficient conditions. Later I. I. Vasiliev proposed a method of analytical comparisons, which provided for calculations in three stages. At the first stage, the calculation of options for individual stations was carried out, and in the subsequent stages, the calculation of the optimal variant of the plan for the entire considered direction was carried out. But I. I. Vasiliev himself expressed doubts in the guarantee of finding the optimal variant according to the methodology developed by him.*

*The basic ideas of A. N. Frolov and I. I Vasiliev. were finalized by A. P. Petrov in the form of an absolute calculation method in which the best variant of the train formation plan is determined by minimizing the costs of car-hours on the basis of their direct calculation for all possible options. The method of absolute calculation was*

*used for directions with a number of marshalling yards no more than five or six.*

*For decades A. P. Petrov was in charge of scientific research in this field, his method was officially recognized by the Ministry of Railways, he is he author of the fundamental work on the theory of the formation plan, which was the basis for training of engineers of more than one generation.*

*V. P. Cherenin, who mechanized the calculation for the first time, then developed a program for automated calculation of the plan for formation of trains on Strela and BESM-2 computers for directions from seven to nine stations, offered to reduce a number of options considered.*

*V. G. Saenko and B. Del Rio developed a methodology for preliminary determination of groups of variants with the same number of assignments, among which is the optimal version of the plan for formation of one-group trains. The remaining groups of options are excluded from consideration.*

*K. A. Bernhard explored the possibilities of reducing and unifying computations while finding the optimal version of the technical routing plan. This allowed him to develop a method of combined analytical comparisons of the calculation plan for formation of one-group trains. The method of combined analytical comparisons is based on the sequential selection of the most advantageous and elimination of impractical appointments according to the criterion of reduced car-hours.*

*In November 1958, VNIIZhT received Ural-1 computer, the first on the railway transport. The first task, which was solved on a computer, is calculation of the plan for formation of three stations by the method of absolute calculation (the author of the program is G. A. Kutukova). The use of computers for calculating the plan for formation of trains began. In the late 1960s, S. V. Duvalan for automated calculation of the plan for formation of one-group trains developed a method for sequential improvement of the plan. The methodology allowed to perform calculations for the entire railway network, to obtain the optimal and optimally implemented version of the train formation plan, which took into account the deviations of the car flows from the shortest path along the circumferences, restrictions on the number of tracks and processing capacity of marshalling yards.*

*With the use of the Duvalan's program at MCC of the Ministry of Railways, a network plan for formation of one-group trains was developed every year since 1970, first for 84 (on the Ural-14D computer), then for 170 (on the ES computer), and from 1982 to 1993 for 285 technical stations.*

*Targeted work in the field of sender routing has made it possible, especially in the 1960s–1970s, to achieve impressive results in this area. During this period, new large coal deposits (Ekibastuz, Kuznetsk and Kansk-Achinsk basins) and oil (Bashkiria, Western Siberia) were developed, and advanced methods were used to increase the level of routing. The level of sender routing in the total shipment of loaded cars reached almost 50 %.*

*After 1991, the volume of rail transportation decreased substantially, attention was lessened to the routing of cargo transportation and, accordingly, the level of coverage of loading by routes.*

*At present, the organization of sender routes allows the removal of processing of about 100 000 cars per day. The result is constrained by the contradictions between the interests of shippers and railways.*

*After privatization of the car fleet, the routing of cargo transportation was hampered by the lack of systems to ensure loading of empty cars, planning, stimulating and controlling the routing of cargo transportation.*

*Estimating the efficiency of routing cargo transportation by exceeding the savings en transit, compared with additional costs for organization of routes at the loading and unloading station at the destination station, also lost relevance. It became more important to evaluate the effectiveness of routing:*

*– for JSC Russian Railways by reducing processing at technical stations (increase in the transit of car flows) while observing the normative period for delivery of goods;*

*– for operators (cargo owners) by reducing freight charges and accelerating the delivery of goods and turnover of rolling stock.*

*Features of formation, movement and use of empty car flows streams in the monograph are widely represented by the additional calculation standards developed by the author, allowing to take into account the specifics of working with empty cars.*

*The privatization of the car fleet has made significant adjustments to organization of empty car flows. Like loaded cars, empty cars began to follow with the complete cargo documents. The centralized regulation of empty cars is almost eliminated. The accents have shifted in responsibility for ensuring the loading plan for empty cars. These changes have not yet been reflected in the theory of organization of empty car flows.*

*One of the most effective forms of car flow organization are group trains, but the increase in their number on the railways is constrained by the inability of the stations to form them and exchange groups of cars en route. The description of the domestic and foreign experience of the car selection is of interest. The book discusses technical and economic calculations of the interaction of one-group and group trains in organization of car flows. For a wider distribution of group trains, it is necessary to eliminate the shortage of tracks at stations, to create parks of local work at the marshalling yards and to partition a part of the marshalling tracks.*

*The section on centralized traffic control of car flows is of interest. The development of a plan for formation of trains for a long period with a wide range of fluctuations in the size of car flows periodically leads to inefficiency of the adopted formation plan. The situation is often exacerbated by the cumbersome and slow modern procedure of adjusting the plan for the formation of trains and, indeed, it cannot be called operational. The centralized traffic control allows to react promptly to changes in the calculation standards and values of car flows, increase or decrease in the technical capacity of infrastructure and rolling stock facilities and devices, temporary difficulties in operating work. But for the practical use of centralized traffic control of car flows, it is still necessary to classify all the tasks that arise and to automate the collection and transfer of information, the decision making and bringing it to the performers.*

*The changed operating conditions of railways urgently require the introduction of adjustments to traditional methods of planning. It is necessary to ensure reliable and complete information support of the plans. The detailed transportation plans do not allow us to identify freight flows that flow through specific marshalling yards. To obtain the size of the transfer at the division points, their «standards» are developed, in which the loading and unloading of all stations is accounted for by these points. Under such a system, a large amount of information generated in the definition of «standards» for calculation of planned car flows for compilation of a network plan for formation of trains and norms for the transfer of cars to division points contains significant errors.*

***Evgeny Sotnikov,***
***D.Sc. (Eng), professor,***
***chief researcher***
***of JSC VNIIZhT,***
***Moscow, Russia***

**Sotnikov, E. A.,** D.Sc. (Eng), professor, chief researcher of JSC VNIIZhT, +7 (499) 260–43–43.

Review received 15.06.2017, accepted 28.06.2017.

# АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

***Selected abstracts of Ph.D. theses submitted at Moscow State University of Railway Engineering***

*(англ. текст – English text – p. 258)*

**Алферова А. А. Оценка качества транспортного обслуживания на железнодорожном транспорте / Автореф. дис… канд. экон. наук.– М., 2017.– 24 с.**

Предложена система показателей для оценки качества транспортного обслуживания грузовладельцев с учётом их влияния на макро- и микропроцессы в экономике. Разработаны формы управленческой отчётности перевозчика и оператора подвижного состава для планирования и контроля качества транспортного обслуживания грузовладельцев, а также предложен алгоритм определения влияния рисков грузовладельца на формирование грузовой базы железнодорожного транспорта. Оценены экономические потери грузовладельцев от нарушения перевозчиком сохранности перевозок грузов и сроков их доставки, а также несвоевременного предоставления оператором подвижного состава под погрузку.

**Басыров М. А. Экономическое обоснование процессного подхода в управлении деятельностью железнодорожного контейнерного оператора / Автореф. дис… канд. экон. наук.– М., 2017.– 24 с.**

Предложены концептуальные модели по управлению изменениями деятельности при применении процессного подхода. Выполнена декомпозиция дерева стратегических целей железнодорожного контейнерного оператора с помощью модернизированных ключевых показателей эффективности. Разработана система показателей для анализа результатов деятельности, отражающая эффективность бизнес-процессов и результаты достижения стратегических целей.

**Бахарев Е. В. Экономическое обоснование проектного управления инвестиционной деятельностью на железнодорожном транспорте / Автореф. дис… канд. экон. наук.– М., 2017.– 24 с.**

Выявлены основные тенденции совершенствования механизма управления инвестиционной деятельностью в условиях перехода на проектный принцип управления на железнодорожном транспорте. Определены структурные изменения в инвестиционной сфере на транспорте и дана оценка инвестиционной активности её участников для установления приоритета оптимизации ресурсов при реализации инвестиционных проектов. Предложены методические подходы по согласованию ресурсного обеспечения инвестиционных проектов на транспорте с системой бюджетного управления.

**Васильева Д. Н. Улучшение условий труда локомотивных бригад на основе снижения влияния шума в кабине локомотива / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2017.– 24 с.**

Разработана математическая модель определения эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов, учитывающая отличительные особенности сертификационных испытаний и условий труда. Установлены зависимости эквивалентных уровней звука в кабинах локомотивов от скорости движения, воздействия переговоров по рации, срабатывания электропневматического клапана, движения с открытыми окнами. Рассчитаны коэффициенты пересчёта уровня звука, позволяющие сравнить эквивалентные уровни звука в кабинах различных типов локомотивов, полученных при сертификационных испытаниях, с уровнями звука, полученными при СОУТ, определить эквивалентный уровень звука в кабине локомотива в зависимости от скорости движения.

**Паначев О. И. Повышение безремонтного пробега грузового вагона снижением вибронагруженности экипажной части / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2017.– 24 с.**

Рекомендована уточненная математическая модель грузового вагона с тележками, оборудованными антифрикционными износостойкими поглотителями вибрации (вибропоглотителями). Она позволяет выполнить количественную и качественную оценку влияния вибропоглотителей на динамические свойства тележки для реальных условий железнодорожного пути в сочетании с предельно-допустимыми износами деталей и узлов в тележке, выбрать рациональные упруго-фрикционные параметры опорных вибропоглотителей. Внесено уточнение в математические модели, описывающие движение вагона на грузовых тележках с учётом особенностей взаимодействия элементов типа вибропоглотитель во фрикционных узлах, работающих в условиях сухого трения. В результате предложены технические решения по обеспечению увеличения безремонтного пробега и наработки на отказ грузового вагона, которые имеют высокую практическую значимость для железнодорожного транспорта и могут быть использованы для обоснования повышения межремонтного пробега грузового вагона.

**Птушкина Л. В. Совершенствование системы защиты от наездов подвижного состава на инфраструктуре железнодорожного транспорта / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2017.– 24 с.**

Разработаны и одобрены к внедрению технические решения для пешеходных переходов через железнодорожные пути, методика определения видимости приближающегося подвижного состава для различных условий. Получены скорректированные оценки безопасного перехода граждан через железнодорожные пути в одном уровне. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлены параметры устройства для определения скорости движения поезда на участке приближения посредством передачи высокочастотного сигнала по рельсу. Предложена система обогрева на пешеходных переходах через железнодорожные пути для обеспечения безопасности в зимних условиях.

**Чечулин Е. С. Обоснование рациональных параметров межвагонных связей пассажирских вагонов поездов постоянного формирования / Автореф. дис… канд. техн. наук.– М., 2017.– 20 с.**

Предложенные в работе детализированные компьютерные модели сцепа позволяют уточнить результаты оценки динамических параметров пассажирских вагонов поездов постоянного формирования методами математического моделирования. Подтверждено ухудшение динамических характеристик пассажирских вагонов поездов постоянного формирования при отсутствии в их конструкции буферных устройств. Разработанные конструктивные решения межвагонных связей поездов постоянного формирования помогают улучшить динамические характеристики вагонов при снижении их тары. Предложена методика, позволяющая на стадии проектирования определять рациональные значения коэффициента сопротивления межвагонных гасителей колебаний.

# ABSTRACTS OF PH.D. THESES

***Selected abstracts of Ph.D. theses submitted at Moscow State University of Railway Engineering***

**Alferova, A. A. Evaluation of quality of transport services in railway transport. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

A system of indicators is proposed to assess the quality of transport services for cargo owners, taking into account their impact on macro and microprocesses in the economy. Forms of management reporting of the carrier and the operator of rolling stock for planning and quality control of transport service for cargo owners have been developed, and an algorithm for determining the impact of cargo owner risks on formation of a freight base of the railway transport has been proposed. The economic losses of cargo owners are estimated from the carrier's violation of the safety of the carriage of goods and the terms of their delivery, as well as the untimely provision of rolling stock for loading by the operator.

**Bakharev, E. V. Economic justification of project management of investment activity in railway transport. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

The basic tendencies of perfection of the mechanism of investment activity management in the conditions of transition to a design principle of management on a railway transportation have been revealed. Structural changes in the investment sphere in transport have been determined, and the investment activity of its participants has been assessed to determine the priority of optimizing resources in the implementation of investment projects. Methodical approaches have been proposed for coordinating the resource support of investment projects in transport with the budget management system.

**Basyrov, M. A. Economic justification of the process approach in managing the activities of the railway container operator. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

Conceptual models for managing changes in activity when applying the process approach are proposed. The tree of strategic goals of the railway container operator has been decomposed with the help of modernized key performance indicators. A system of indicators for performance analysis has been developed, reflecting the effectiveness of business processes and the results of achieving strategic goals.

**Chechulin, E. S. Substantiation of rational parameters of intercar connecions of passenger cars of trains of constant formation. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 20 p.**

The detailed computerized models of the coupling offered in the work allow us to refine the results of estimation of dynamic parameters of passenger cars of trains of constant formation by mathematical modeling methods. The deterioration in dynamic characteristics of passenger cars of trains of constant formation was confirmed in the absence of buffer devices in their design. The developed design solutions for the intercar connections of trains of constant formation allow improving the dynamic characteristics of cars when their tare is reduced. A technique is proposed that allows to determine, at the design stage, rational values of the coefficient of resistance of intercar loading dampers.

**Panachev, O. I. Increase of maintenance-free run of a freight car by reducing the vibration load of the carriage part. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

A refined mathematical model of a freight car with bogies equipped with antifriction wear-resistant absorbers of vibration (vibration absorbers) is recommended. It allows to perform a quantitative and qualitative assessment of the effect of vibration absorbers on the dynamic properties of the bogie for real conditions of the railway track in combination with the maximum permissible wear of parts and assemblies in the bogie, and to select the rational elastic-friction parameters of the supporting vibration absorbers. A refinement has been made to the mathematical models describing the movement of the car on freight bogies, taking into account the interaction of elements of the vibration absorber type in friction units operating under dry friction conditions. As a result, technical solutions have been proposed to ensure an increase in maintenance free run and operating time for failure of a freight car, which are of great practical importance for railway transport and can be used to justify the increase in the value of the overhaul time of a freight car.

**Ptushkina, L. V. Improvement of the system of protection against collisions of rolling stock on the infrastructure of railway transport. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

Technical solutions for pedestrian crossings through railways, a technique for determining the visibility of an approaching rolling stock for various conditions have been developed and approved for implementation. Corrected estimates of the safe passage of citizens through railways in one level have been obtained. As a result of theoretical and experimental studies, the parameters of the device for determining train speed in the approach area were determined by transmitting a high-frequency signal along the rail. A heating system is proposed at pedestrian crossings through railways to ensure safety in winter conditions.

**Vasilieva, D. N. Improving the working conditions of locomotive crews on the basis of reducing the influence of noise in the locomotive cab. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

Mathematical models for determining equivalent sound levels in cabins of locomotives, taking into account the distinctive features of certification tests and working conditions, have been developed. Dependencies of equivalent sound levels in the locomotive cabs on the speed of movement, the impact of radio communication, the operation of the electro-pneumatic valve, movement with open windows have been established. The sound level conversion coefficients have been calculated, which allow to compare the equivalent sound levels in the cabs of different types of locomotives, obtained during certification tests with sound levels obtained at SES, to determine the equivalent sound level in the locomotive cabin, depending on speed.

# НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

*English text at p. 260*

Агеева Е. Ю., Ковровская Л. А. Висячие и вантовые мосты: архитектурно-конструктивные особенности: Учеб. пособие.– Н. Новгород: ННГАСУ, 2017.– 115 с.

Аникеев А. В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска.– М.: Рос. ун-т дружбы народов, 2017.– 326 с.

Бахтизин Р. Н. и др. Энциклопедия безопасности жизнедеятельности.– М.: Nedra, 2017.– 826 с.

Белаш Т. А. Нетрадиционные способы сейсмозащиты транспортных зданий и сооружений: Монография.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 176 с.

Белаш Т. А., Казарновский В. С. Эксплуатация и ремонт железнодорожных зданий в особых природно-климатических и сейсмических условиях строительства: Учеб. пособие.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2011.– 293 с.

Белозеров И. Н., Балаев А. А., Баженов А. А. Электрическое оборудование тепловозов и дизель-поездов: Учеб. пособие.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 72 с.

Бобриков В. Б., Спиридонов Э. С. Технология, механизация и автоматизация железнодорожного строительства. Часть 1: Учебник.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 377 с.

Бурова А. Ю. Сертификация авиационной техники: Учеб. пособие.– М.: URSS, 2017.– 292 с.

Воробьев А. А. и др. Надёжность подвижного состава: Учебник.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 301 с.

Воробьев А. А., Губенко С. И., Иванов И. А., Кондратенко В. Г., Кононов Д. П., Орлова А. М. Ресурс и ремонтопригодность колесных пар подвижного состава железных дорог: Монография.– М.: ИНФРА-М, 2017.– 264 с.

Вылегжанин И. А. и др. Практикум по высшей математике для технических специальностей.– Новосибирск: СГУПС, 2017.– Ч. 3.– 323 с.

Гарин В. М. и др. Промышленная экология: Учеб. пособие.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 361 с.

Герасимов Ю. М., Рыжова Л. В. О новых правилах технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации.– М.: Транспорт, 2017.– 327 с.

Гиани Д., Лапорт Д., Мусмано Р. Введение в управление системами: Пер. с англ. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 488 с.

Глызина И. В. Перевозка грузов на особых условиях: Учеб. пособие.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 108 с.

Константинов В. М., Челидзе Ю. Б. Экологические основы природопользования: Учебник, 18-е изд., стер.– М.: Академия, 2017.– 237 с.

Кудишин И. Лайнеры на войне. «Лузитания», «Кайзер Вильгельм дер Гроссе», «Куин Элизабет» и другие.– М.: Яуза; Эксмо, 2017.– 206 с.

Любанская З. Г., Алексеева К. И. Экономика инженерных систем: Учеб. пособие.– Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2017.– 88 с.

Мишкуров П. Н., Рахмангулов А. Н. Динамическая оптимизация вагонопотоков: Монография.– М.: РУСАЙНС, 2017.– 110 с.

Новакович В. И. Бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями: Учебное пособие.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 168 с.

Пашкевич М. Н. Изучение правил технической эксплуатации железных дорог и безопасности движения: Учебное пособие.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 108 с.

Пономарев В. М., Рубцов Б. Н. и др. Безопасность в чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте. Общий курс: Учебник.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– Ч. 1. – 244 с., Ч. 2. – 449 с.

Сеславина Е. А., Каргина Л. А., Лебедева С. Л. Электронный бизнес: Учебное пособие.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 196 с.

Уздин А. М. и др. Экономика сейсмостойкого строительства: Монография.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 176 с.

Феофилов А. Н. Оптимальное управление парком грузовых вагонов в системе железнодорожного транспортного обслуживания: Монография.– М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017.– 276 с.

**Подготовила Н. ОЛЕЙНИК** ●

# NEWLY PUBLISHED BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Ageeva, E. Yu., Kovrovskaya, L. A. Hanging and cable-stayed bridges: architectural and constructive features: Educational guide [*Visjachie i vantovye mosty: arhitekturno-konstruktivnye osobennosti: ucheb. posobie*]. Nizhny Novgorod, NNGASU publ., 2017, 115 p.

Anikeev, A. V. Depressions and subsidence craters in karst areas: mechanisms of formation, forecast and risk assessment [*Provaly i voronki osedanija v karstovyh rajonah: mehanizmy obrazovanija, prognoz i ocenka riska*]. Moscow, RUDN University, 2017, 326 p.

Bakhtizin, R. N. [*et al*]. Encyclopedia of life safety [*Enciklopedija bezopasnosti zhiznedejatel'nosti*]. Moscow, Nedra publ., 2017, 826 p.

Belash, T. A. Non-traditional methods of seismic protection of transport buildings and structures: Monograph [*Netradicionnye sposoby sejsmozashhity transportnyh zdanij i sooruzhenij: monografija*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 176 p.

Belash, T. A., Kazarnovsky, V. S. Operation and repair of railway buildings in special natural climatic and seismic conditions of construction: Educational guide [*Ekspluatacija i remont zheleznodorozhnyh zdanij v osobyh prirodno-klimaticheskih i sejsmicheskih uslovijah stroitel'stva: ucheb. posobie*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2011, 293 p.

Belozerov, I. N., Balaev, A. A., Bazhenov, A. A. Electrical equipment of diesel locomotives and diesel-trains: Educational guide [*Elektricheskoe oborudovanie teplovozov i dizel'-poezdov: ucheb. posobie*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 72 p.

Bobrikov, V. B., Spiridonov, E. S. Technology, mechanization and automation of railway construction. Part 1: Textbook [*Tehnologija, mehanizacija i avtomatizacija zheleznodorozhnogo stroitel'stva. Chast' 1: uchebnik*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 377 p.

Burova, A. Yu. Aviation equipment certification: Educational guide [*Sertifikacija aviacionnoj tehniki: ucheb. posobie*]. Moscow, URSS publ., 2017, 292 p.

Feofilov, A. N. Optimal management of freight wagons' fleet within the system of railway services: Monograph [*Optimalnoye upravlenie parkom zheleznodorozhnyh wagonov v systeme zheleznodorozhnogo transportnogo obsluzhivaniya: monographiya*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 276 p.

Garin, V. M. [*et al*]. Industrial ecology: Educational guide [*Promyshlennaja ekologija: ucheb. posobie*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 361 p.

Gerasimov, Yu. M., Ryzhova, L. V. About new rules of technical operation of railways of the Russian Federation [*O novyh pravilah tehnicheskoj ekspluatacii zheleznyh dorog Rossijskoj Federacii*]. Moscow, Transport publ., 2017, 327 p.

Giani, D., Laport, D., Musmano, R. Introduction to system management (translation from English) [*Vvedenie v upravlenie sistemami (perevod s anglijskogo)*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 488 p.

Glyzina, I. V. Transportation of goods on special conditions: Educational guide [*Perevozka gruzov na osobyh uslovijah: ucheb. posobie*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 108 p.

Konstantinov, V. M., Chelidze, Yu. B. Ecological foundations of nature use: Textbook, 18th ed., ster. [*Ekologicheskie osnovy prirodopol'zovanija: uchebnik*]. Moscow, Akademia publ., 2017, 237 p.

Kudishin, I. Liners in the war. «Lusitania», «Kaiser Wilhelm der Grosse», «Queen Elizabeth» and others [*Lajnery na vojne. «Luzitanija», «Kajzer Vil'gel'm der Grosse», «Kuin Elizabet» i drugie*]. Moscow, Yauza: Eksmo publ., 2017, 206 p.

Lyubanskaya, Z. G., Alekseeva, K. I. The Economics of Engineering Systems: Educational guide [*Ekonomika inzhenernyh sistem: ucheb. posobie*]. Khabarovsk, Izd-vo TOGU, 2017, 88 p.

Mishkurov, P. N., Rakhmangulov, A. N. Dynamic optimization of car flows: Monograph [*Dinamicheskaja optimizacija vagonopotokov: monografija*]. Moscow, RUSAINS publ., 2017, 110 p.

Novakovich, V. I. Jointless track with super long rail strings: Educational guide [*Besstykovoj put' so sverkhdlinnymi relsovymi pletyami: uchebnoe posobie*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 168 p.

Pashkevich, M. N. Learning of rules of technical operation of railways and traffic safety: Educational guide [*Izuchenie pravil tekhnicheskoy expluatatsii zheleznyh dorog i bezopasnosti dvizheniya: uchebnoe posobie*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 108 p.

Ponomarev, V.M., Rubtsov, B. N. [*et al*]. Safety and security in emergency situations at railways. General Course. Textbook. Parts 1 and 2. [*Bezopasnost' v chrezvychainyh situatsiyah na zheleznodorozhnom transporte. Obschiy kurs*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 244 p. and 449 p.

Seslavina, E. A., Kargina, L. A., Lebedeva, S. L. Electronic business: Educational guide [*Elektronny biznes: uchebnoe posobie*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 320 p.

Uzdin, A. M. [*et al*]. Economics of earthquake resistant construction: Monograph [*Ekonomika seismostoykogo stroitelstva: monographiya*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 176 p.

Vorobyov, A. A. [*et al*]. The reliability of rolling stock: Textbook [*Nadezhnost' podvizhnogo sostava: uchebnik*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2017, 301 p.

Vorobyov, A. A., Gubenko, S. I., Ivanov, I. A., Kondratenko, V. G., Kononov, D. P., Orlova, A. M. Resource and maintainability of wheel sets of rolling stock of railways: Monograph [*Resurs i remontoprigodnost' kolesnyh par podvizhnogo sostava zheleznyh dorog: monografija*]. Moscow, INFRA-M publ., 2017, 264 p.

Vylegzhanin, I. A. [*et al*]. Practical tasks on higher mathematics for technical specialties [*Praktikum po vysshej matematike dlja tehnicheskih special'nostej*]. Novosibirsk, SGUPS publ., Part 3, 2017, 323 p.

**List compiled by N. OLEYNIK ●**