

# ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ  
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

2<sup>2017</sup>  
(69)

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. Голович** – 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 автомобильного государственного технического университета (МАДИ)

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- Игорь ТАРАРЫЧКИН, Семён БЛИНОВ*  
Имитационное моделирование процесса повреждения сетевых трубопроводных структур ..... 6
- Вячеслав СЫЧЁВ, Алексей ЛОКТЕВ, Даниил ЛОКТЕВ, Валентин ВИНОГРАДОВ*  
Повышение информативности оценки содержания железнодорожного пути ..... 20
- Александр ГОЛОВНИЧ*  
Особенности экспериментов на процессной трехмерной модели станции ..... 32
- Владимир КОЛЕСНИКОВ, Владимир БАРДУШКИН, Александр СЫЧЁВ*  
Эксплуатационные упругие свойства хаотически армированных трибокомполитов ..... 38

### НАУКА И ТЕХНИКА

- Владимирж ЧЕРЛУНЧАКЕВИЧ*  
Ускоренные технологии TINES для трамвайных путей ..... 48
- Александр СКАЧКОВ, Сергей САМОШКИН, Андрей ЗАЙЦЕВ*  
Способы управления параметрами вибрации пассажирских вагонов ..... 60
- Дмитрий ТАРАСОВ*  
Подвижной состав на комбинированном ходу в России: развитие ..... 74
- Александр ИВАНОВ, Мария КОЗАРЕЗОВА*  
Анализ контролепригодности тормозной системы грузового вагона ..... 82

### ЭКОНОМИКА

- Дмитрий МАЧЕРЕТ, Юрий МАЧЕРЕТ*  
Проблемы транспортного обеспечения северных регионов Часть II: как избежать синдрома оторванности от «Большой земли» ..... 98
- Андрей РАППОПОРТ*  
БАМ и развитие туризма в Восточной Сибири ..... 108
- Алексей ГУЦ*  
Сибирская транслогистическая платформа: инструмент инвестиционной привлекательности ..... 116
- Борис ВОЛКОВ, Алексей ДОБРИН*  
Эффективность механизмов ГЧП для транспортной инфраструктуры ..... 124

## РЕДКОЛЛЕГИЯ

**Б. А. ЛЁВИН** –  
главный редактор

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

**Л. А. БАРАНОВ**  
**В. Н. КОТУРАНОВ**

Над номером  
работали:

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

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

Журнал выходит 6 раз в год.  
Цена свободная.

**Подписной индекс  
в Каталоге Роспечати  
«Газеты. Журналы» – 80812.**

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.  
Заказ №  
Тираж 1000 экз.

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

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

При перепечатке ссылка  
на журнал «Мир транспорта»  
обязательна.

© «Мир транспорта», 2017

## ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Борис ЛЁВИН, Ольга ЕФИМОВА*  
Цифровая логистика и электронный обмен данными  
в грузовых перевозках ..... 142
- Сергей ЕЛИСЕЕВ, Елена КУЛИЕВА*  
Процессный подход как основа повышения эффективности  
обслуживания грузовладельцев ..... 150
- Анна СИНИЦЫНА, Сергей ДЭЛЬЗ, Ко Ко ЛВИН*  
Транспортная инфраструктура Мьянмы: векторы развития .. 158

## БЕЗОПАСНОСТЬ

- Валерий ХОРОШЕВ*  
Модернизация методов безопасного производства  
работ на железнодорожных путях ..... 166
- Евгения РЯБКО*  
Эксплуатационная надёжность крышек цилиндров  
тепловозного дизеля ..... 178
- Юлия ТАГИЛЬЦЕВА, Никита ДРОЗДОВ*  
Моделирование системы природопользования  
на железных дорогах ..... 188
- Константин БОЧКОВ, Дмитрий КОМНАТНЫЙ*  
Вероятностный метод нормирования ЭМС  
железнодорожной автоматики ..... 196

## ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

- Петр КОЛЕВ, Даниела ТОДОРОВА*  
Развитие на основе межуниверситетского сотрудничества ... 204
- Илья ЕПИШКИН, Владимир НИКИТИН,  
Александр ФРОЛОВИЧЕВ*  
«Не зарплатой единой жив железнодорожник»... ..... 210

## КОЛЕСО ИСТОРИИ

- Татьяна ТИХОНОВА*  
«Сообразный первопрестольной вид» ..... 228
- Пресс-архив. О результатах эксплуатации  
железных дорог разных стран ..... 240
- Николай ГРИГОРЬЕВ*  
«Провода с большим напряжением транспортируют ток» ... 244

## КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

- Железнодорожные грузовые тарифы:  
история и современность ..... 252
- Авторефераты диссертаций ..... 257
- Новые книги о транспорте ..... 259
- Экспресс-информация ..... 81, 140, 164, 226



# World of Transport and Transportation

•THEORY  
•HISTORY  
•ENGINEERING  
OF THE FUTURE

Vol. 15<sup>2017</sup>  
Iss. 2

**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. Mirotnin**, 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 Duc Su**, D.Sc. (Eng), professor  
of the University of Transport and  
Communications (Hanoi, Vietnam).

**THEORY**

*Igor A. TARARYCHKIN, Semen P. BLINOV*  
Simulation Modeling of Process of Damaging of Network  
Pipeline Structures . . . . . 6

*Vyacheslav P. SYCHEV, Alexei A. LOKTEV, Daniil A. LOKTEV,  
Valentin V. VINOGRADOV*  
Increase in Informative Value of Railway Track  
Maintenance Assessment . . . . . 20

*Alexander K. GOLOVNICH*  
Features of Experiments based on Process  
3D-Model of the Station . . . . . 32

*Vladimir I. KOLESNIKOV, Vladimir V. BARDUSHKIN,  
Alexander P. SYCHEV*  
Operational Elastic Properties of Chaotically  
Reinforced Tribocomposites . . . . . 38

**SCIENCE AND ENGINEERING**

*Włodzimierz CZERLUNCZAKIEWICZ*  
Accelerated TINES Technologies for Tram Tracks . . . . . 48

*Alexander N. SKACHKOV, Sergey L. SAMOSHKIN,  
Andrey V. ZAYTSEV*  
Methods for Controlling Vibration Parameters  
of Passenger Coaches . . . . . 60

*Dmitry E. TARASOV*  
The Developments of Hybrid Road-Rail Rolling  
Stock in Russia . . . . . 74

*Alexander A. IVANOV, Maria A. KOZAREZOVA*  
Analysis of Controllability of a Freight Car Brake System . . . . . 82

**ECONOMICS**

*Dmitry A. MACHERET, Yuri Ya. MACHERET*  
Problems of Transport Accessibility and Connectivity  
in the Northern Regions  
Part II. How to Avoid the Syndrome of Isolation  
from «Big Land» . . . . . 98

*Andrey V. RAPPOPORT*  
Baikal-Amur Mainline and Development  
of Tourism in Eastern Siberia . . . . . 108

*Aleksey V. GUTS*  
Siberian Transport & Logistic Platform:  
a Tool to Attract Investment . . . . . 116

*Boris A. VOLKOV, Aleksey Yu. DOBRIN*  
Efficiency of PPP Mechanisms for Development  
of Transport Infrastructure . . . . . 124

#### Editorial board

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

#### Editorial staff

**Ivan A. Glazov**, technical editor  
**Tatiana G. Ivanova**, layout editor  
**Natalia C. Oleynik**, editorial secretary  
**Maria V. Maslova**, translator

Published quarterly since 2003.  
Bimonthly since 2013.  
69 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](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](mailto:mirtr@mail.ru), [MTavtor@mail.ru](mailto:MTavtor@mail.ru) or [wttjournal@gmail.com](mailto: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

- Boris A. LYOVIN, Olga V. EFIMOVA*  
Digital Logistics and Electronic Data Exchange in Freight Transportation . . . . . 142
- Sergey Yu. ELISEEV, Elena S. KULIEVA*  
Process Approach as a Basis for Increasing the Efficiency of Freight Owners' Servicing . . . . . 150
- Anna S. SINITSYNA, Sergey V. DELZ, Ko Ko LWIN*  
Myanmar's Transport Infrastructure: Development Vectors . . . . . 158

## SAFETY AND SECURITY

- Valery V. KHOROSHEV*  
Modernization of Methods of Safe Conducting of Operations at Rail Tracks. . . . . 166
- Evgenia V. RYABKO*  
Operational Reliability of Cylinder Covers of Diesel Engine. . . . . 178
- Yulia A. TAGILTSEVA, Nikita A. DROZDOV*  
Modeling of the System of Natural Resources Management in Railway Industry . . . . . 188
- Konstantin A. BOCHKOV, Dmitry V. KOMNATNY*  
Probabilistic Method for Rationing of EMC of Railway Automatics. . . . . 196

## HRM, EDUCATION & TRAINING

- Petar KOLEV, Daniela TODOROVA*  
Development Based on Inter-University Cooperation. . . . . 204
- Ilya A. EPISHKIN, Vladimir N. NIKITIN, Alexander I. FROLOVICHEV*  
Railwayman Shall not Live by Wages and Salary Alone . . . . . 210

## HISTORY WHEEL

- Tatyana Yu. TIKHONOVA*  
«An Appearance Consistent with the Capital City» . . . . . 228
- Press Archives. On the Operation Results of Railways of Different Countries . . . . . 240
- Nikolai D. GRIGORIEV*  
«Wires with High Voltage Transport Current» . . . . . 244

## BIBLIO-DIRECTIONS

- Railway Freight Tariffs: History and Modernity . . . . . 252
- Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses . . . . . 257
- Newly Published Books on Transport and Transportation. . . . . 259
- Express Information. . . . . 81, 140, 164, 226

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

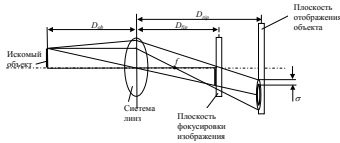
# T

## СИСТЕМА 6

*Имитация процесса в трубопроводной сети.*

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ 20

*Теоретические функции уменьшают ошибку.*



## 3D-МОДЕЛИ 32

*Возможности репродуцирующей среды.*

## ТРИБОКОМПОЗИТЫ 38

*Упругость и эксплуатационные свойства.*

### ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY

## SYSTEM 6

*Simulation of a process in pipeline network.*

## STATISTICAL ANALYSIS 20

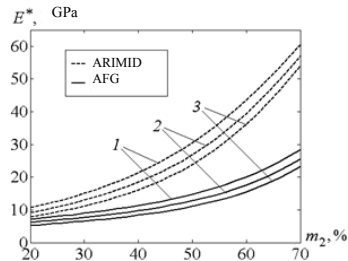
*Theoretical functions reduce the risk or erroneous decisions.*

## 3D-MODELS 32

*Capacity of reproductive environment.*

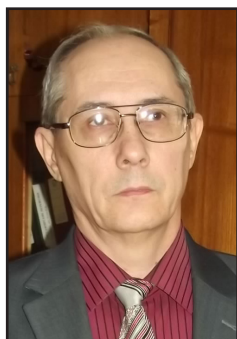
## TRIBOCOMPOSITES 38

*Elasticity and operation features.*





# Имитационное моделирование процесса повреждения сетевых трубопроводных структур



Игорь ТАРАРЫЧКИН  
Igor A. TARARYCHKIN

Семён БЛИНОВ  
Semen P. BLINOV



## Simulation Modeling of Process of Damaging of Network Pipeline Structures

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 14)

**Обоснованы подходы к оценке функционального состояния трубопроводов при наличии непрерывных технологических процессов и сложных производств. Рассчитаны характеристики стойкости и программа имитационного моделирования процесса повреждения сетевых структур систем трубопроводного транспорта. Показано, что способность сопротивляться процессу прогрессирующего повреждения таких систем зависит от их структуры и состава. Разработанное программное обеспечение позволяет осуществлять сравнительный анализ свойств альтернативных структур и принимать обоснованные проектные решения на этапе формирования транспортных систем с заданными свойствами.**

Ключевые слова: трубопроводный транспорт, система, структура, имитационное моделирование.

*Тарарычкин Игорь Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортные системы» Луганского национального университета им. В. Даля, Луганск, Украина.*

*Блинов Семён Павлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математический анализ» Удмуртского государственного университета, Ижевск, Россия.*

**Т**рубопроводные транспортные системы широко используются в условиях современного промышленного производства. С их помощью на предприятиях металлургии, нефтегазового комплекса, химических комбинатах осуществляют доставку сырья, полуфабрикатов, готовой продукции [1–2].

Безотказное функционирование таких систем обеспечивает возможность организации непрерывных технологических процессов и сложных производств. Однако доставка трубопроводом различного рода реагентов и опасных веществ связана с определёнными рисками и для самой транспортной технологической системы, и окружающей среды.

Так, отказы отдельных элементов сложных трубопроводных систем в ряде случаев не приводят к заметному изменению режимов функционирования из-за наличия избыточных связей и существования альтернативных путей доставки продукта потребителям. В то же время серия последовательных отказов или повреждений трубопроводов может сопровождаться частичной или полной потерей работоспособности системы.

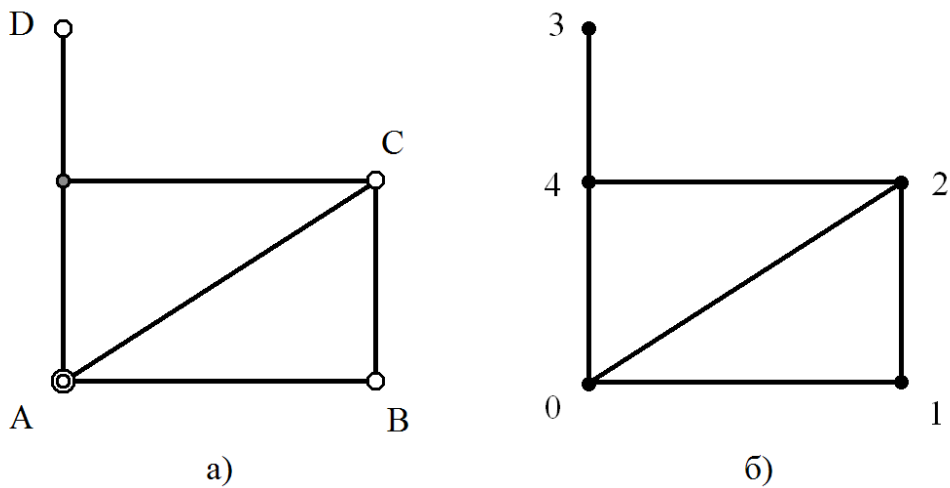


Рис. 1. Сетевая структура (а) и соответствующий размеченный граф трубопроводной транспортной системы (б).

Причины возникновения такого рода событий могут быть связаны с внутренними процессами в системе (гидравлические удары, коррозионное повреждение и разгерметизация труб, ошибки управления) или внешними факторами (распространение пожаров, сейсмическая активность, развитие оползней и т.п.) [3].

Подобного рода процессы характеризуются следующим рядом особенностей.

1. Предсказать заранее участки повреждения трубопроводов и последовательность развития аварийной ситуации невозможно.

2. Не представляется возможным составить перечень трубопроводов, которые будут повреждены в результате неконтролируемого развития аварийной ситуации, а также определить последовательность таких повреждений.

3. Масштабы и последствия аварии для всей системы предсказать весьма проблематично. Они могут быть связаны как с частичным, так и полным прекращением доставки целевого продукта одному или нескольким потребителям.

Процесс последовательного перехода в неработоспособное состояние трубопроводной транспортной системы в результате развития серии неконтролируемых отказов правомерно считать, полагаем, прогрессирующим повреждением.

Характерная особенность прогрессирующего повреждения мотивирована тем обстоятельством, что переход отдельных трубо-

проводов в неработоспособное состояние происходит в случайной последовательности. При этом из-за наличия избыточных связей в системе развитие повреждения на разных этапах может сопровождаться как снижением объёмов продуктов, доставляемых потребителям, так и их последовательным отключением, вплоть до полного прекращения функционирования системы.

Способность трубопроводной транспортной системы сопротивляться развитию этого процесса зависит прежде всего от её структуры, состава и тесно сопряжена со стойкостью к прогрессирующим повреждениям.

По этой причине особый интерес представляет поиск закономерностей, позволяющих прогнозировать поведение и оценивать стойкость различных сетевых структур при последовательном повреждении их линейных элементов (трубопроводов).

Решению такой задачи помогает разработка имитационной модели процесса прогрессирующего повреждения сетевых структур трубопроводных транспортных систем, включая и создание компьютерной программы, позволяющей оценивать стойкость к повреждениям таких систем для последующего принятия обоснованных проектных решений.

Рассмотрим трубопроводную систему, структурная схема которой показана на рис. 1а.

В составе системы имеется пять узлов, в числе которых источник целевого продук-



Формирование системы матриц с пошаговым обнулением элементов матрицы смежности, осуществляемое в случайном порядке и характеризующие процесс постепенного повреждения структуры заданного графа

$$Del(M) := \begin{cases} n \leftarrow rows(M) - 1 \\ \text{while } M_{i \leftarrow round(rnd(n))} j \leftarrow round(rnd(n)) = 0 \\ \quad 1 \\ \quad M_{i,j} \leftarrow M_{j,i} \leftarrow 0 \\ \quad [(i \ j) \ M] \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Зануление случайно выбранного} \\ \text{единичного элемента матрицы } M. \end{array}$$

$$Dolajl(M) := \begin{cases} (n \leftarrow rows(M) - 1 \ k \leftarrow 0 \ a_k \leftarrow M \ Ind_k \leftarrow \langle (i \ j) \rangle) \\ \text{while } \left[ N \leftarrow \sum_{i=0}^n \sum (a_k)^{(i)} \right] > 0 \\ \quad k \leftarrow k + 1 \\ \quad (Ind_k \ a_k) \leftarrow Del(a_{k-1}) \\ (Ind \ a) \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Последовательное зануление всех единичных} \\ \text{элементов. На каждом шаге зануляется один} \\ \text{случайно выбранный элемент.} \end{array} \quad (n \leftarrow rows(M) - 1 \ k \leftarrow 0 \ a_k \leftarrow M)$$

Формирование матриц достижимости на основе полученной совокупности матриц смежности

$$NormExit(M, r) := \begin{cases} (Ind \ b) \leftarrow Dolajl(M) \\ str \leftarrow \langle \text{«№ повреждения»} \ \langle \text{«Индексы поврежденных элементов»} \ \langle \text{«Результат»} \rangle \rangle \\ \text{for } k \in 0..last(b) \\ \quad \left[ \begin{array}{l} c_k \leftarrow \sum_{i=1}^r (b_k)^i \ d_k \leftarrow c_k > 0 \ u^{(k)} \leftarrow (d_k^T)^{(\emptyset)} \ p_k \leftarrow k \end{array} \right] \\ u \leftarrow stack[ str, (p \ Ind \ u^T) ] \\ (b \ c \ d \ u) \end{cases} \quad \begin{array}{l} b - \text{матрицы смежности} \\ c - \text{матрицы достижимости} \\ d - \text{нормированные матрицы} \\ u - \text{результат} \\ p - \text{№ выходные объекты} \end{array}$$

$$(b \ c \ d \ u) := NormExit(Mat_{sm}, r)$$

Рис. 2. Листинг расчётной части PROG1.

та А и отдельные потребители В, С, Д. Кроме того, система содержит N = 6 трубопроводов, которые в процессе прогрессирующего повреждения переходят в неработоспособное состояние в случайной последовательности.

Если для прекращения подачи целевого продукта потребителю В требуется повредить в среднем n трубопроводов, то отношение  $\bar{W}_B = n / N$  является одной из характеристик процесса прогрессирующего повреждения. Возможный диапазон изменения значений степени повреждения:  $0 \leq \bar{W}_B \leq 1$ .

Показателем стойкости сетевой структуры к прогрессирующим повреждениям  $F_W$

является среднее арифметическое значений всех степеней повреждения, устанавливаемых для анализируемой системы. В данном случае:

$$F_W = \frac{\bar{W}_B + \bar{W}_C + \bar{W}_D}{3}$$

Показатель стойкости характеризует собой долю от общего числа трубопроводов системы, которые в среднем необходимо повредить для предотвращения доставки целевого продукта всем потребителям.

Задача определения характеристик стойкости анализируемой структуры решалась путем разработки специализированной компьютерной программы. Листинг расчёт-



$$u = \begin{bmatrix} \text{«№ повреждения»} & \text{«Индексы поврежденных элементов»} & \text{«Результат»} \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix} & \begin{bmatrix} \text{«(i j)»} \\ (0\ 1) \\ (2\ 1) \\ (4\ 0) \\ (0\ 2) \\ (4\ 2) \\ (4\ 3) \end{bmatrix} & \begin{pmatrix} 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0 \end{pmatrix} \end{bmatrix}$$

Рис. 3. Листинг формы представления результата выполненных расчётов.

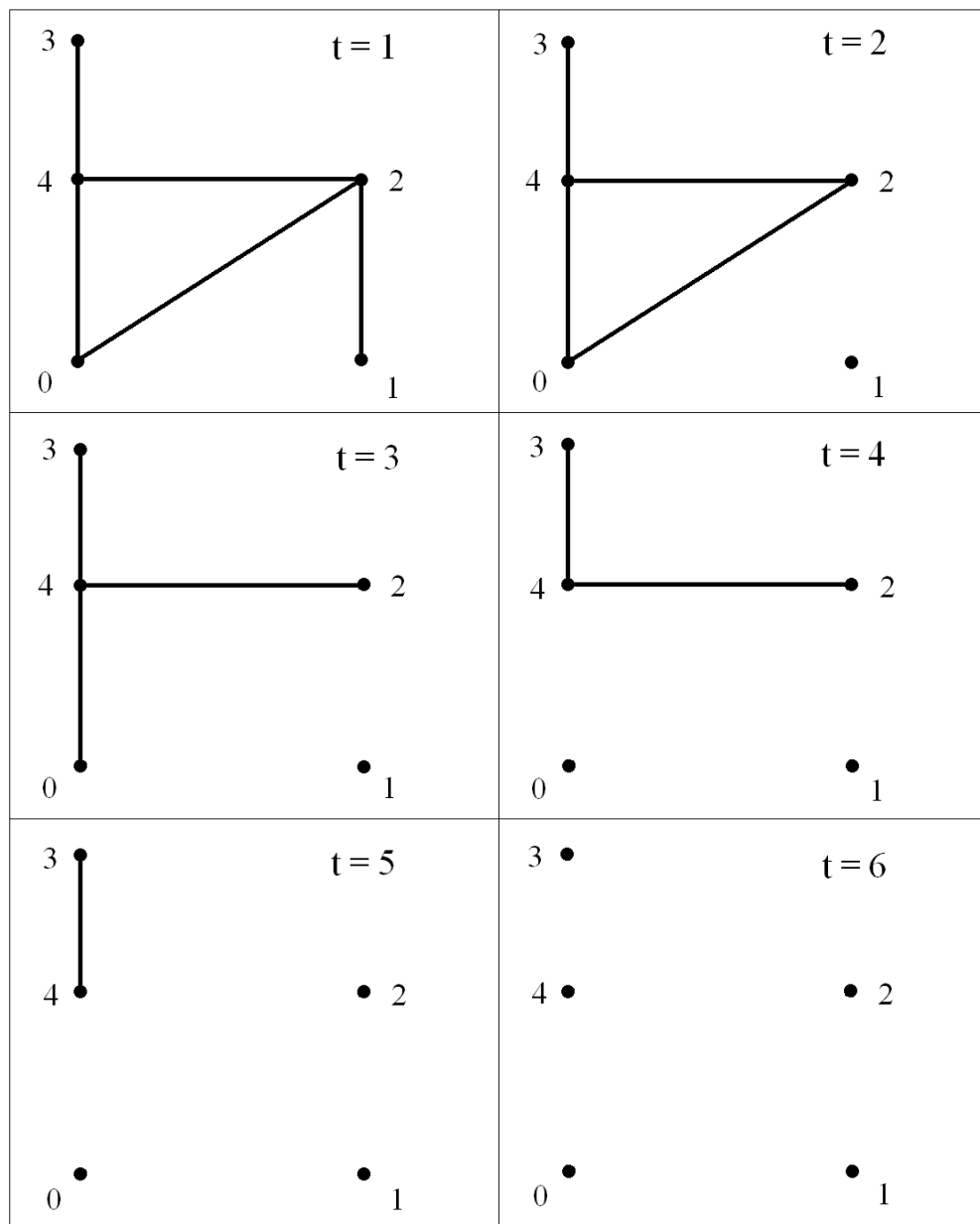


Рис. 4. Структура сетевого объекта, соответствующая различным моментам системного времени  $t$  при реализации процедуры прогрессирующего повреждения.

Результаты имитационного моделирования процесса повреждения

Генерация № 1		Генерация № 2	
«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»	«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (1 0) \\ (2 1) \\ (2 0) \\ (4 0) \\ (4 2) \\ (4 3) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (2 4) \\ (2 1) \\ (1 0) \\ (0 2) \\ (3 4) \\ (4 0) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Генерация № 3		Генерация № 4	
«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»	«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (0 2) \\ (2 1) \\ (1 0) \\ (3 4) \\ (4 2) \\ (4 0) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (0 2) \\ (2 1) \\ (0 4) \\ (4 3) \\ (4 2) \\ (1 0) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Генерация № 5		Генерация № 6	
«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»	«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (2 1) \\ (1 0) \\ (4 0) \\ (4 2) \\ (2 0) \\ (3 4) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (4 3) \\ (0 2) \\ (0 1) \\ (4 2) \\ (2 1) \\ (0 4) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Генерация № 7		Генерация № 8	
«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»	«Индексы поврежденных элементов»	«Результат»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (3 4) \\ (4 2) \\ (2 0) \\ (0 4) \\ (0 1) \\ (1 2) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (2 1) \\ (4 2) \\ (0 2) \\ (4 0) \\ (4 3) \\ (0 1) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

ной части программы имитационного моделирования прогрессирующего повреждения PROG1, реализованной в системе MathCAD, приводится на рис. 2.

Исходными данными для расчётов служат заданное количество узлов и линейных элементов (трубопроводов) в системе. Кроме того, структура анализируемого объекта задается графом, матрица смежности кото-

рого Matism описывается в блоке исходных данных.

Матрица смежности графа [4] представляет собой прямоугольную таблицу, количество строк и столбцов которой равно числу его пронумерованных вершин.

Если между i-й и j-й вершинами размеченного графа существует связь в виде ребра, то элементы матрицы смежности:

Расчётные характеристики процесса повреждения сетевой структуры

Номер генерации	Характеристики процесса повреждения		
	$W_B$	$W_C$	$W_D$
1	0,333	0,667	0,667
2	0,5	0,667	0,833
3	0,5	0,833	0,667
4	1,0	0,5	0,5
5	0,333	0,833	0,667
6	0,667	0,667	0,167
7	0,833	0,833	0,167
8	1,0	0,5	0,667
Среднее значение	0,645	0,688	0,542

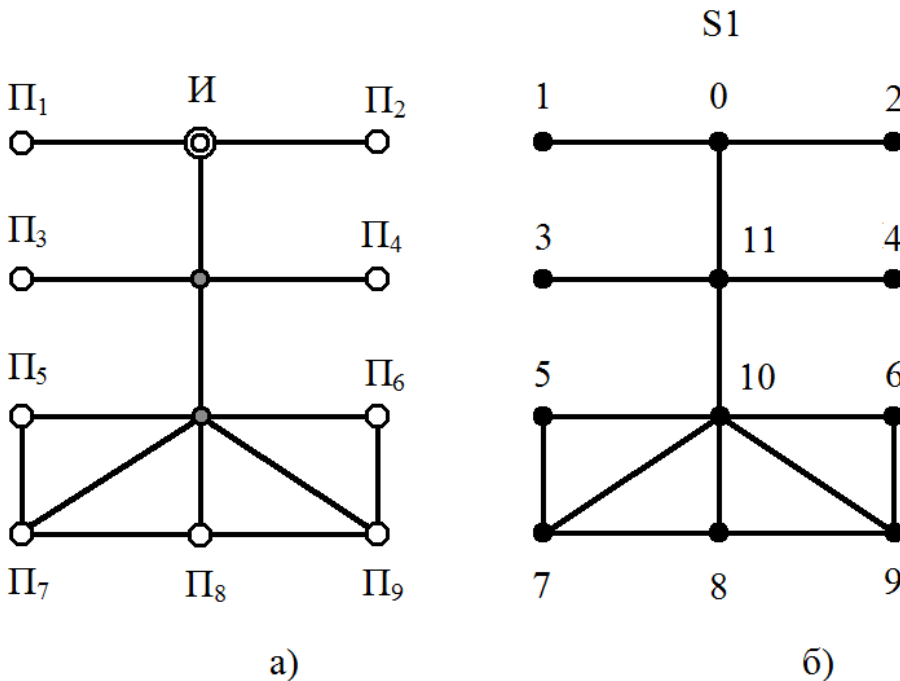


Рис. 5. Структурная схема трубопроводной системы с положением источника в узле И и потребителей в узлах П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub>, ... П<sub>9</sub> (а), а также соответствующий исходной структуре размеченный граф S1 (б).

$a_{i,j} = a_{j,i} = 1$ . Если же прямой связи между указанными вершинами нет, то  $a_{i,j} = a_{j,i} = 0$ .

На главной диагонали бинарной матрицы смежности находятся нули. Исключением может быть вариант с наличием в вершине графа петли. Однако в дальнейшем рассматриваются графы, не имеющие петель в своем составе.

Для понимания структуры программы имитационного моделирования на листинге указаны отдельные функциональные блоки, обеспечивающие требуемую последовательность вычислений. При необходимости можно вывести и определить состав матриц, участвующих в промежуточных расчётах.

Динамика повреждения сетевой структуры, описываемой матрицей  $Matsm$ , оценивалась путем генерации серии матриц смежности со случайным парным обнулением единиц, расположенных симметрично относительно главной диагонали. При этом количество таких матриц будет соответствовать числу единиц, расположенных выше главной диагонали  $Matsm$ .

Каждая из полученных таким образом матриц смежности будет характеризовать граф повреждаемой сетевой структуры в различные моменты системного времени.

Следующий этап функционирования программы связан с построением совокуп-



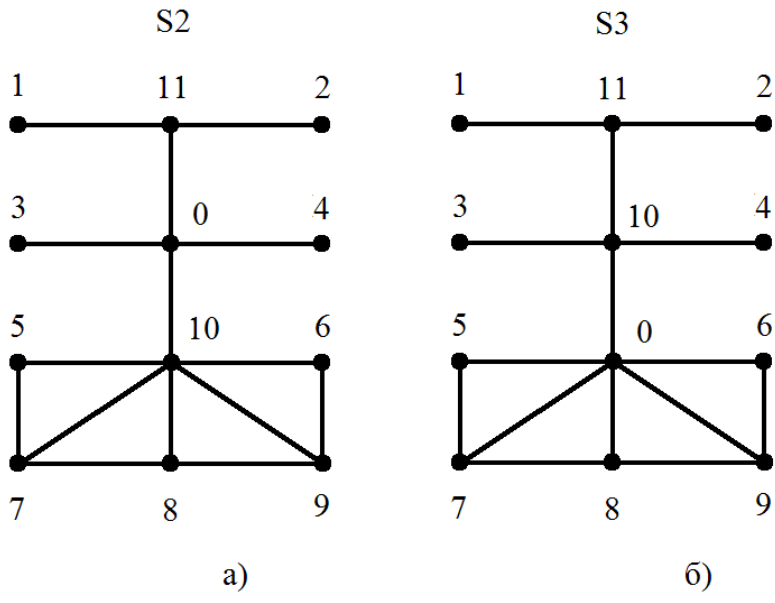


Рис. 6. Размеченные графы S2 (а) и S3 (б) альтернативных структурных схем трубопроводной системы с расположением источника продукта в узлах, которым соответствуют вершины с обозначением 0.

ности матриц достижимости, при этом каждая из них формируется на основе соответствующей матрицы смежности. Матрица достижимости [5] характеризует наличие сообщений между *i*-й и *j*-й вершинами и возможность перехода из одной вершины графа в другую с учетом действующей системы внутренних связей.

Результаты моделирования отображаются в виде перечня значений системного времени, обозначений ребер графа, повреждаемых в случайном порядке, а также итоговой матрицы, в состав которой включены первые строки исходной и всех построенных матриц достижимости.

Анализ изменения содержания строк полученной итоговой матрицы позволяет установить, кто из потребителей и в какой момент системного времени теряет связь с источником целевого продукта в процессе прогрессирующего повреждения.

Многочисленный перезапуск программы с фиксацией значений системного времени, при котором происходит разрыв связей между источником и каждым из потребителей продукта, позволяет сформировать базу данных, при помощи которой оцениваются характеристики стойкости сетевой структуры.

Так, рассмотренная ранее структура транспортной системы, показанная на

рис. 1а, характеризуется размеченным графом, представленным на рис. 1б. Для принятого порядка обозначения вершин графа его матрица смежности:

$$Matsm := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Результат моделирования процесса прогрессирующего повреждения представляется в форме, показанной на рис. 3.

Соответствующая полученному решению динамика процесса прогрессирующего повреждения структуры графа показана на рис. 4.

При оценке свойств анализируемой структуры процесс повреждения повторялся 8 раз, что недостаточно для формирования полноценной базы статистических данных, однако позволяет продемонстрировать функционирование компьютерной программы и оценить возможности реализуемой процедуры имитационного моделирования.

Результаты реализации процесса прогрессирующего повреждения приведены в таблице 1.

Обработка полученных данных помогает установить характеристики стойкости анализируемой структуры, значения которых приведены в таблице 2.

Результаты моделирования позволяют заключить, что для отключения потребителя В от источника целевого продукта необходимо повредить примерно 65 % всех трубопроводов системы. Для отключения потребителей С и D следует в среднем повредить соответственно 69 % и 54 % трубопроводов.

Расчётное значение показателя стойкости для рассматриваемой сетевой структуры:  $F_w = 0,625$ . Это означает, что для прекращения доставки целевого продукта всем потребителям требуется повредить в среднем около 63 % от общего числа трубопроводов системы.

Рассмотрим возможности разработанной компьютерной программы при решении практической задачи. Предположим, для трубопроводной системы, исходная структурная схема которой дана на рис. 5а, надо определить место расположения источника целевого продукта, при котором обеспечивается достижение её наибольшей стойкости к процессу прогрессирующего повреждения.

Размеченный граф исходной структурной схемы с расположением источника целевого продукта в вершине 0, а потребителей в вершинах 1, 2 ... 7 показан на рис. 5б. Полученное в результате моделирования значение показателя стойкости структуры  $S1: F_w = 0,467$ .

Альтернативные варианты формирования структуры трубопроводной транспортной системы с изменением положения источника целевого продукта показаны на рис. 6.

Установленные в результате компьютерного моделирования значения показателей стойкости для альтернативных вариантов формирования сетевой структуры с размеченным графом  $S2: F_w = 0,508$  и графом  $S3: F_w = 0,544$ .

Полученный результат означает, что повреждение структуры  $S1$  по механизму прогрессирующего повреждения связано

с переходом в неработоспособное состояние около 46 % трубопроводов базового варианта. Из рассмотренных альтернативных вариантов наилучшим показателем характеризуется сетевая структура  $S3$ . При её использовании повреждение системы объясняется переходом в неработоспособное состояние примерно 55 % от общего числа всех трубопроводов.

Таким образом, при принятии проектного решения предпочтение следует отдать именно последнему варианту формирования сетевой структуры. При этом нужно отметить, что уровень затрат на проектирование и изготовление каждой из рассмотренных систем оказывается примерно одинаковым, поскольку все структурные отличия связаны лишь с изменением расположения источника целевого продукта.

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны характеристики стойкости и программа имитационного моделирования процесса прогрессирующего повреждения сетевых структур систем трубопроводного транспорта.

2. Расчёт ожидаемых характеристик стойкости к повреждениям таких систем позволяет принимать обоснованные проектные решения при сравнении альтернативных вариантов. Так, сопоставление показателей стойкости для структур  $S1$ ,  $S2$  и  $S3$  дает основание заключить, что наиболее приемлемыми свойствами обладает система, построенная на базе структуры  $S3$ , для которой установлено расчётное значение  $F_w = 0,544$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боровков В. М., Калитюк А. А. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. – М.: Академия, 2007. – 240 с.
2. Алиев Р. А., Белоусов В. Д., Немудров А. Г. Трубопроводный транспорт нефти и газа: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. – 368 с.
3. Рябинин И. А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
4. Басакер Р., Саати Т. Конечные графы и сети. – М.: Наука, 1973. – 368 с.
5. Кристофиденс Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с. ●

Координаты авторов: **Тарарычkin И. А.** – donbass\_8888@mail.ru, **Блинов С. П.** – blinov38@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.10.2016, принята к публикации 14.01.2017.



# SIMULATION MODELING OF PROCESS OF DAMAGING OF NETWORK PIPELINE STRUCTURES

**Tararychkin, Igor A.**, Lugansk National University n.a. V. Dahl, Lugansk, Ukraine.  
**Blinov, Semen P.**, Udmurt State University, Izhevsk, Russia.

## ABSTRACT

The approaches to assessment of the functional state of pipelines in the presence of continuous technological processes and complex industries are substantiated. Stability characteristics and a simulation modeling program for the process of damage to network structures of pipeline transport systems are calculated.

It is shown that the ability to resist the process of progressive damage of such systems depends on their structure and composition. The developed software makes it possible to perform a comparative analysis of the properties of alternative structures and to take reasonable design decisions at the stage of formation of transport systems with specified properties.

*Keywords:* pipeline transport, system, structure, simulation modeling.

**Background.** Pipeline transport systems are widely used in the conditions of modern industrial production. With their help at the enterprises of metallurgy, oil and gas complex, chemical plants raw materials, semi-finished products, finished products are delivered [1 2].

The trouble-free functioning of such systems ensures the possibility of organizing continuous technological processes and complex productions. However, the delivery of various types of reagents and hazardous substances by the pipeline is associated with certain risks for the transport technological system itself and for the environment.

Thus, failures of individual elements of complex pipeline systems in a number of cases do not lead to a noticeable change in the functioning regimes due to excessive connections and the existence of alternative ways of delivering the product to consumers. At the same time, a series of consecutive failures or damage to pipelines may be accompanied by a partial or complete loss of system performance.

The causes of such events can be related to internal processes in the system (hydraulic shocks, corrosion damage and pipe depressurization, control errors) or external factors (fire spreading, seismic activity, landslide development, etc.) [3].

Such processes are characterized by the following series of features.

1. It is impossible to predict areas of damage to pipelines and the sequence of development of an emergency in advance.

2. It is not possible to compile a list of pipelines that will be damaged as a result of uncontrolled

development of an emergency situation, and also to determine the sequence of such damages.

3. It is very difficult to predict the scale and consequences of the accident for the whole system. They can be associated with either a partial or complete cessation of the delivery of the target product to one or more consumers.

We believe it is legitimate to consider the process of successive transition to the inoperative state of the pipeline transport system as a result of the development of a series of uncontrolled failures as a progressive damage.

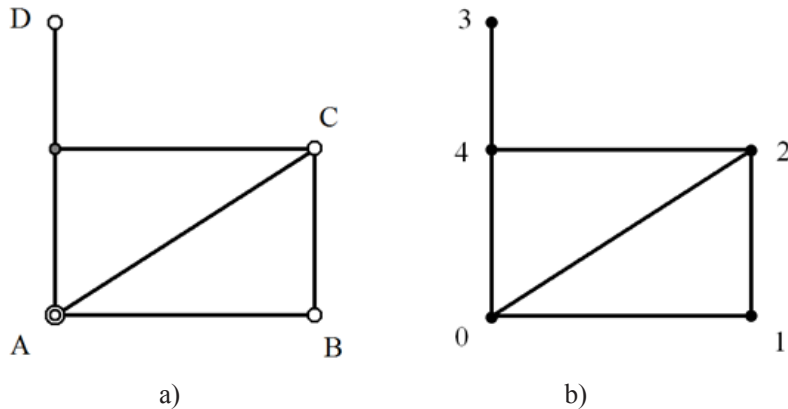
**Objective.** The objective of the authors is to consider a simulation modeling of process of damage of network pipeline structures.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, graph construction, comparative analysis.

**Results.** A characteristic feature of progressive damage is motivated by the fact that the transition of individual pipelines to an inoperative state occurs in a random sequence. At the same time, due to excessive connections in the system, the development of damage at different stages can be accompanied by both a decrease in the volume of the product delivered to consumers and their subsequent shutdown, until the system completely ceases to function.

The ability of the pipeline transport system to resist the development of this process depends primarily on its structure, composition and is closely associated with resistance to progressive damage.

For this reason, a search for regularities that allow predicting behavior and assessing the durability of



**Pic. 1.** Network structure (a) and the corresponding marked graph of the pipeline transport system (b).

## Calculated program module

Formation of matrices with incremental zeroing of elements of the adjacency matrix, carried out in a random order and characterizing the process of gradual damage to the structure of a given graph

$$\begin{array}{l}
 \text{Del}(M) := \left\{ \begin{array}{l} n \leftarrow \text{rows}(M) - 1 \\ \text{while } M_{i \leftarrow \text{round}(\text{rnd}(n))} j \leftarrow \text{round}(\text{rnd}(n)) = 0 \\ \quad 1 \\ M_{i j} \leftarrow M_{j i} \leftarrow 0 \\ [(i j) M] \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{Zeroing of a randomly} \\ \text{chosen unit element of the} \\ \text{matrix } M \end{array} \\
 \\
 \text{DoloJI}(M) := \left\{ \begin{array}{l} (n \leftarrow \text{rows}(M) - 1 \quad k \leftarrow 0 \quad a_k \leftarrow M \quad \text{Ind}_k \leftarrow \langle (i j) \rangle) \\ \text{while } \left[ N \leftarrow \sum_{i=0}^n \sum (a_k)^{(i)} \right] > 0 \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} k \leftarrow k + 1 \\ (\text{Ind}_k \quad a_k) \leftarrow \text{Del}(a_{k-1}) \end{array} \right. \\ \quad (\text{Ind} \quad a) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{Consecutive zeroing of all} \\ \text{unit elements. At each step,} \\ \text{one randomly selected} \\ \text{element is zeroed.} \\ \\ (n \leftarrow \text{rows}(M) - 1 \quad k \leftarrow 0 \quad a_k \leftarrow M) \end{array}
 \end{array}$$

Formation of reachability matrices based on the obtained set of adjacency matrices

$$\begin{array}{l}
 \text{NormExit}(M, r) := \left\{ \begin{array}{l} (\text{Ind} \quad b) \leftarrow \text{DoloJI}(M) \\ \text{str} \leftarrow \langle \text{No damage} \rangle \langle \text{Indices of damaged elements} \rangle \langle \text{Result} \rangle \\ \text{for } k \in 0.. \text{last}(b) \\ \quad \left[ \begin{array}{l} c_k \leftarrow \sum_{i=1}^r (b_k)^i \quad d_k \leftarrow c_k > 0 \quad u^{(k)} \leftarrow (d_k^T)^{(0)} \quad p_k \leftarrow k \end{array} \right] \\ u \leftarrow \text{stack}[\text{str}, (p \quad \text{Ind} \quad u^T)] \\ (b \quad c \quad d \quad u) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} b - \text{adjacency matrices} \\ c - \text{reachability matrices} \\ d - \text{normalized matrices} \\ u - \text{result} \\ p - \text{No output objects} \end{array}
 \end{array}$$

$$(b \quad c \quad d \quad u) := \text{NormExit}(\text{Matism}, r)$$

**Pic. 2. Listing of the calculation part of PROG1.**

various network structures with consequent damage to their linear elements (pipelines) is of particular interest.

The solution of this problem is assisted by the development of a simulation model of the process of progressive damage to the network structures of pipeline transport systems, including the creation of a computer program that allows assessing the damage resistance of such systems for the subsequent adoption of well-grounded design solutions.

Let's consider a pipeline system, the structural diagram of which is shown in Pic. 1a.

There are five nodes in the system, among them the source of the target product A and individual consumers B, C, D. In addition, the system contains  $N = 6$  pipelines, which in the process of progressive damage turn into an inoperative state in a random sequence.

If, in order to stop supplying the target product to consumer B, an average of  $n$  pipelines is required to be damaged, then the ratio  $\bar{W}_B = n / N$  is one of the characteristics of the process of progressive damage. Possible range for changing the values of the degree of damage:  $0 \leq \bar{W}_B \leq 1$ .

The indicator of the resistance of the network structure to the progressive damage  $F_w$  is the

arithmetic average of the values of all degrees of damage established for the system under analysis. In this case:

$$F_w = \frac{\bar{W}_B + \bar{W}_C + \bar{W}_D}{3}$$

The durability index characterizes the proportion of the total number of pipelines of the system, which on average need to be damaged to prevent the delivery of the target product to all consumers.

The task of determining the characteristics of the stability of the analyzed structure was solved by developing a specialized computer program. Listing of the calculation part of the simulation program for progressive damage PROG1, implemented in the MathCAD system, is shown in Pic. 2.

Initial data for calculations are a given number of nodes and linear elements (pipelines) in the system. In addition, the structure of the analyzed object is given by a graph which adjacency matrix Matism is described in the block of input data.

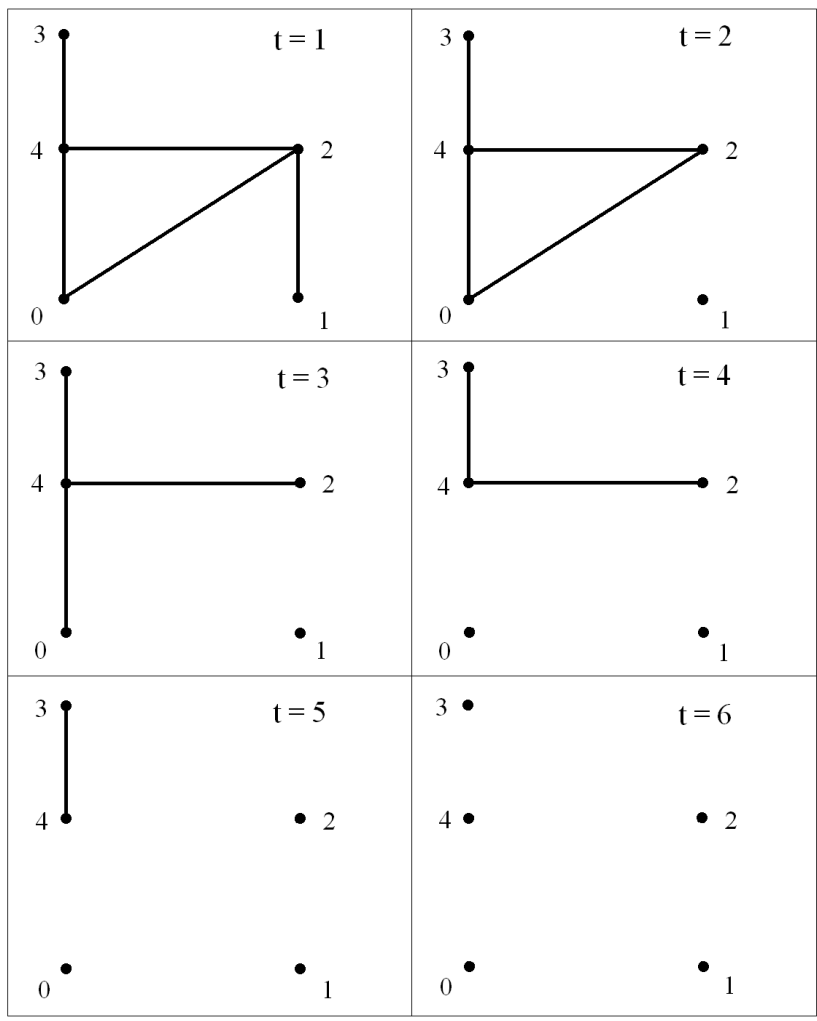
The adjacency matrix of graph [4] is a rectangular table which number of rows and columns is equal to the number of its numbered vertices.

If there is a connection between the  $i$ -th and  $j$ -th vertices of the marked graph, then the elements of



	«№ damage»	«Indices of damaged elements»	«Result»
$u =$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} "(i j)" \\ (0 1) \\ (2 1) \\ (4 0) \\ (0 2) \\ (4 2) \\ (4 3) \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

Pic. 3. Listing of the form of presentation of the result of the performed calculations.



Pic. 4. The structure of the network object, corresponding to different points of the system time t when implementing the procedure of progressive damage.

the adjacency matrix are:  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ . If there is no direct connection between the indicated vertices, then  $a_{ij} = a_{ji} = 0$ .

On the main diagonal of the binary adjacency matrix zeros are located. An exception may be the option of having a loop at the top of the graph.



Table 1

Results of simulation modeling of the damage process

Generation № 1		Generation № 2	
«Indices of damages elements»	«Result»	«Indices of damages elements»	«Result»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (1 0) \\ (2 1) \\ (2 0) \\ (4 0) \\ (4 2) \\ (4 3) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (2 4) \\ (2 1) \\ (1 0) \\ (0 2) \\ (3 4) \\ (4 0) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Generation № 3		Generation № 4	
«Indices of damages elements»	«Result»	«Indices of damages elements»	«Result»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (0 2) \\ (2 1) \\ (1 0) \\ (3 4) \\ (4 2) \\ (4 0) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (0 2) \\ (2 1) \\ (0 4) \\ (4 3) \\ (4 2) \\ (1 0) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Generation № 5		Generation № 6	
«Indices of damages elements»	«Result»	«Indices of damages elements»	«Result»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (2 1) \\ (1 0) \\ (4 0) \\ (4 2) \\ (2 0) \\ (3 4) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (4 3) \\ (0 2) \\ (0 1) \\ (4 2) \\ (2 1) \\ (0 4) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$
Generation № 7		Generation № 8	
«Indices of damages elements»	«Result»	«Indices of damages elements»	«Result»
$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (3 4) \\ (4 2) \\ (2 0) \\ (0 4) \\ (0 1) \\ (1 2) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{bmatrix} "(i j)" \\ (2 1) \\ (4 2) \\ (0 2) \\ (4 0) \\ (4 3) \\ (0 1) \end{bmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$

However, further we consider graphs without loops in their composition.

To understand the structure of the simulation modeling program, the listing shows the individual functional blocks that provide the required sequence of calculations. If necessary, it is possible to derive and determine the composition of matrices involved in intermediate calculations.

The dynamics of the damage to the network structure described by the Mat<sub>sm</sub> matrix was estimated by generating a series of adjacency matrices with random pair zeroing of the units

arranged symmetrically with respect to the main diagonal. In this case, the number of such matrices will correspond to the number of units located above the main diagonal of Mat<sub>sm</sub>.

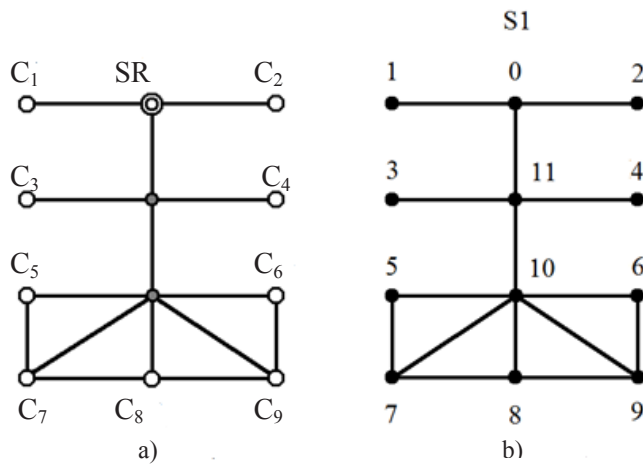
Each of the adjacency matrices thus obtained will characterize the graph of the damaged network structure at various points in the system time.

The next stage of program functioning involves the construction of a set of reachability matrices, each of which is formed on the basis of the corresponding adjacency matrix. The reachability matrix [5] characterizes the presence of messages between the



Estimated characteristics of the process of network structure damage

Generation's number	Characteristics of damage process		
	$W_B$	$W_C$	$W_D$
1	0,333	0,667	0,667
2	0,5	0,667	0,833
3	0,5	0,833	0,667
4	1,0	0,5	0,5
5	0,333	0,833	0,667
6	0,667	0,667	0,167
7	0,833	0,833	0,167
8	1,0	0,5	0,667
Average value	0,645	0,688	0,542



Pic. 5. Structural diagram of the pipeline system with the position of the source in the node SR and consumers in the nodes  $C_1, C_2, \dots, C_9$  (a), and the marked graph S1 (b) corresponding to the original structure.

$i$ -th and  $j$ -th vertices and the possibility of transition from one vertex of the graph to another taking into account the existing system of internal connections.

The simulation results are displayed in the form of a list of values of the system time, the notation of edges of the graph that are damaged in a random order, and the resulting matrix, which includes the first lines of the original and all constructed reachability matrices.

Analysis of the change in the content of the rows of the resulting matrix allows us to determine which of the consumers and at what time of the system time loses the connection with the source of the target product in the process of progressive damage.

Multiple restart of the program with fixing of values of the system time, at which the connection between the source and each of the consumers of the product is broken, makes it possible to create a database by which the characteristics of the stability of the network structure are evaluated.

Thus, the structure of the transport system considered earlier, shown in Fig. 1a is characterized by a marked graph, shown in Pic. 1b. For the accepted order of designating the vertices of a graph, its adjacency matrix:

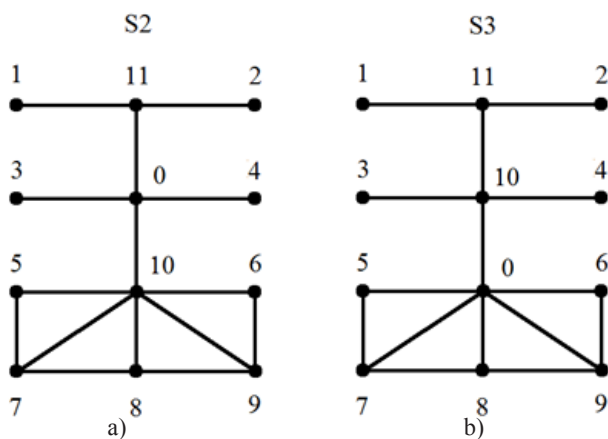
$$\text{Matism} := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

The result of modeling the process of progressive damage is presented in the form shown in Pic. 3.

The dynamics of the process of progressive damage to the structure of the graph corresponding to the solution obtained is shown in Pic. 4.

When assessing the properties of the analyzed structure, the process of damage was repeated 8 times, which is not enough to form a full-fledged statistical database, but it allows to demonstrate the functioning of the computer program and to assess the feasibility of the simulation modeling procedure.

The results of the progressive damage process are shown in Table 1.



**Fig. 6. The marked graphs S2 (a) and S3 (b) of alternative structural diagrams of the pipeline system with the location of the product source in the nodes to which the vertices with the designation 0 correspond.**

The processing of the obtained data helps to establish the stability characteristics of the analyzed structure, the values of which are given in Table 2.

The simulation results allow us to conclude that to disconnect the consumer B from the source of the target product it is necessary to damage approximately 65 % of all pipelines of the system. To disconnect consumers C and D, an average of 69 % and 54 % of pipelines, respectively, should be damaged.

The estimated value of the durability index for the network structure under consideration is  $F_w = 0,625$ . This means that to stop the delivery of the target product to all consumers it is necessary to damage an average of about 63 % of the total number of pipelines of the system.

Let's consider the possibilities of the developed computer program in solving a practical problem. Suppose, for the pipeline system, the initial block diagram of which is shown in Pic. 5a, it is necessary to determine the location of the source of the target product, in which it is ensured that it achieves the greatest resistance to the process of progressive damage.

A marked graph of the original structural scheme with the location of the source of the target product at the vertex 0, and consumers at the vertices 1, 2... 7 is shown in Pic. 5b. The resulting value of the stability index of the structure S1:  $F_w = 0,467$ .

Alternative variants of forming the structure of the pipeline transport system with a change in the position of the source of the target product are shown in Pic. 6.

The values of the durability indicators for alternative variants of forming the network structure with the marked graph S2:  $F_w = 0,508$  and graph S3:  $F_w = 0,544$ ., determined as a result of computer simulation.

This result means that damage to the structure S1 by the mechanism of progressive damage is associated with the transition to an inoperative condition of about 46 % of the pipelines of the base version. From the considered alternative variants the best indicator is possessed by the network structure S3. With its use,

the damage to the system is explained with the transition to an inoperative condition of approximately 55 % of the total number of all pipelines.

Thus, when making a design decision, the last option of forming a network structure should be given preference. It should be noted that the level of costs for designing and manufacturing each of the systems considered is approximately the same, since all the structural differences are related only to changes in the location of the source of the target product.

#### Conclusions.

1. The durability characteristics and the program of simulation modeling of the process of progressive damage to the network structures of pipeline transport systems have been developed.

2. Calculation of the expected characteristics of the damage resistance of such systems allows us to make sound design decisions when comparing alternative options. Thus, a comparison of the indices of stability for the structures S1, S2 and S3 gives grounds to conclude that the most suitable properties are possessed by the system constructed on the basis of the structure S3, for which the calculated value  $F_w = 0,544$  is established.

#### REFERENCES

1. Borovkov, V. M., Kalituyuk, A. A. Manufacturing and installation of technological pipelines [Izgotovlenie i montazh tehnologicheskikh truboprovodov]. Moscow, Akademia publ., 2007, 240 p.
2. Aliev, R. A., Belousov, V. D., Nemudrov, A. G. Pipeline transport of oil and gas: A textbook for high schools [Truboprovodnyj transport nefi i gaza: Uchebnik dlja vuzov]. Moscow, Nedra publ., 1988, 368 p.
3. Ryabinin, I. A. Reliability and safety of structurally complex systems [Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnyh sistem]. St. Petersburg, Politehnika publ., 2000, 248 p.
4. Basaker, R., Saati, T. Finite graphs and networks [Konechnye grafy i seti]. Moscow, Nauka publ., 1973, 368 p.
5. Cristofidens, N. The theory of graphs. Algorithmic approach [Teorija grafov. Algoritmicheskij podhod]. Moscow, Mir publ., 1978, 432 p.

Information about the authors:

**Tararychkin, Igor A.** – D.Sc. (Eng.), professor of the department of Transport systems of Lugansk National University n.a. V. Dahl, Lugansk, Ukraine, donbass\_8888@mail.ru.

**Blinov, Semen P.** – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor of the department of Mathematical analysis of Udmurt State University, Izhevsk, Russia, blinov38@mail.ru.

Article received 21.10.2016, accepted 14.01.2017.





# Повышение информативности оценки содержания железнодорожного пути



Вячеслав СЫЧЁВ  
Vyacheslav P. SYCHEV

Алексей ЛОКТЕВ  
Alexei A. LOKTEV



Даниил ЛОКТЕВ  
Daniil A. LOKTEV

Валентин ВИНОГРАДОВ  
Valentin V. VINOGRADOV



**Increase in Informative Value of Railway Track Maintenance Assessment**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 27)

**С помощью методов статистического анализа, основанных на теории выбросов случайных процессов, теории случайных точечных процессов, методе наименьших квадратов, методе наименьших модулей, алгоритмах фильтрации, выборе вида теоретической функции и её параметров, позволяющих уменьшить ошибку измеряемых характеристик дефектов и отступлений пути от проектного положения, формулируется математическая модель, обеспечивающая повышение информативности оценки фактического состояния железнодорожного пути. Высокая информативность нужна прежде всего для формирования адекватных управляющих воздействий на путь с целью обеспечения безопасности движения.**

*Ключевые слова:* железнодорожный путь, измеряемые параметры, информационно-измерительная система, детектирование дефектов, статистический анализ, теория случайных процессов, математическая модель.

*Сычёв Вячеслав Петрович* – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

*Локтев Алексей Алексеевич* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» МИИТ Москва, Россия.

*Локтев Даниил Алексеевич* – ассистент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации» Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия.

*Виноградов Валентин Васильевич* – доктор технических наук, профессор, первый проректор МИИТ, Москва, Россия.

**В** основе обеспечения безопасности эксплуатации железнодорожного пути лежит способ формирования базы данных о дефектах в работе пути и мерах по их устранению или недопущению появления. Рассмотрим частную задачу повышения информативности оценки содержания пути по показаниям вагона-путеизмерителя и возможность получения большего числа параметров за один проход путеизмерительной техники с использованием программно-аппаратной системы мониторинга и обработки изображений на предмет обнаружения дефектов и определения их характеристик.

Вагон-путеизмеритель [1] записывает показания состояния геометрии рельсовой колеи, в том числе в плане (сужение, уширение колеи, рихтовка) и профиле (просадки, перекосы), как показано на рис. 1а для одного из параметров. Существующая система оценок состояния рельсовой колеи и планирования работ по показаниям путеизмерителей на основе инструкции [2], утвержденной в 1997 году, не регламентирует оценки для линий со скоростями движения до 140 км/ч.

Кроме того, инструкция допускает неоднозначность толкования оценки состояния пути, например: просадка величиной 26 мм и длиной 6 м требует ограничения скорости 60 км/ч, а просадка длиной 7 м и величиной 50 мм формально допускает скорость 140 км/ч; перекося величиной 21 мм и длиной 20 м предполагает ограничение скорости 60 км/ч, а перекося величиной 40 мм и длиной 21 м формально допускает скорость 120 км/ч. Балловая оценка километров, за которую работники структурных подразделений, обслуживающих железнодорожный путь, получают материальное поощрение, не всегда соответствует порядку устранения отступлений, нацеленных на повышение безопасности движения. По сути, отсутствует дифференциация внутри одной и той же качественной оценки километра. Например, для установленных скоростей движения 61–120 км/ч отступления третьей степени – три перекося в 19–20 мм или один перекося в 17 мм приводят к одной и той же удовлетворительной оценке километра. Подобная оценка не стимулирует устранение в первую очередь опасных отступлений.

Оценка содержания пути по данным путеизмерительного вагона заключается в установлении баллов за превышение установленных пороговых значений от норм содержания пути [2]. Совокупность оценок каждого отступления на участке в виде суммы баллов или количества неисправностей определенных степеней отклонений представляет собой комплексную оценку участка пути в целом [3]. Для уменьшения влияния описанных недостатков предлагается исходить из допущения, что процесс записи состояния пути путеизмерительным вагоном относится к случайным процессам, в которых параметром индексирования

выступает не время, а координата, отсчитываемая вдоль длины пути (рис. 1). При этом можно считать, что он полностью определяется семейством своих реализаций, а превышение установленных порогов (степени отступлений от норм содержания рельсовой колеи) это выбросы случайного процесса.

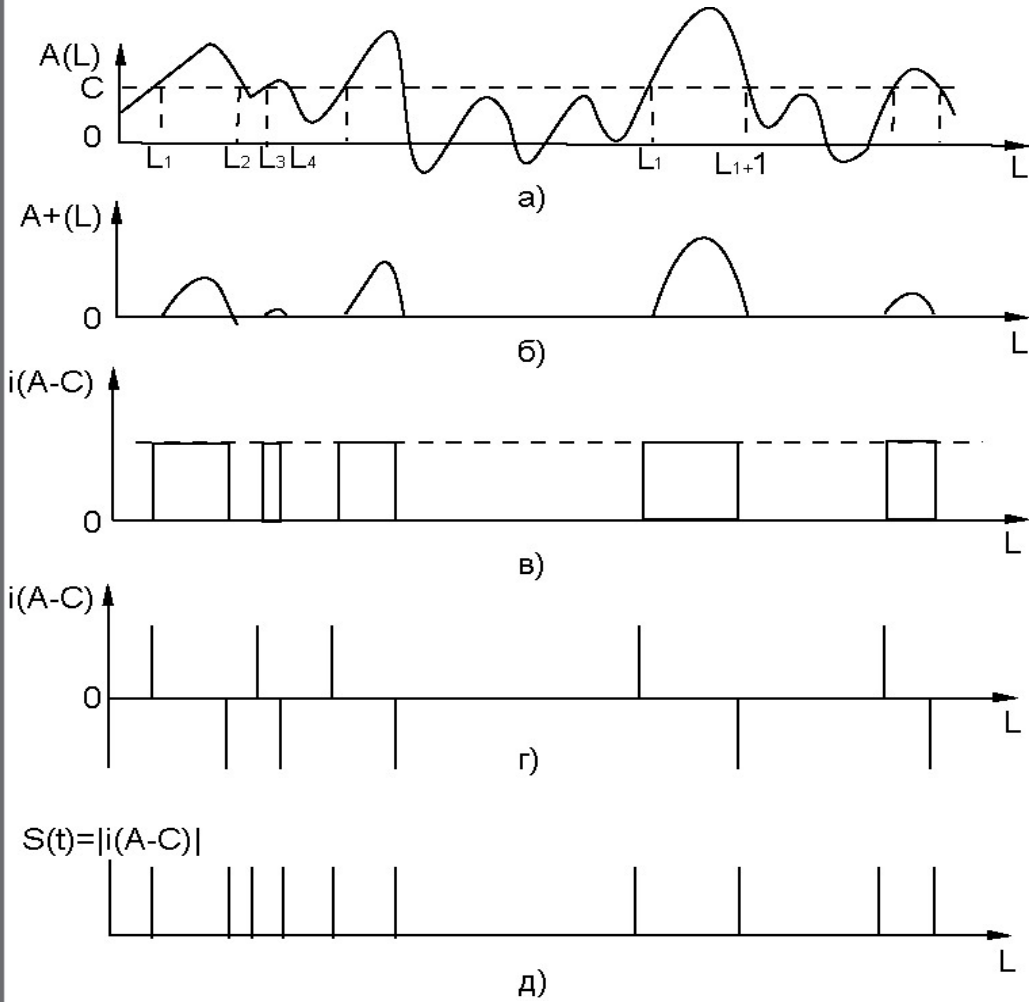
Исследования в области теории случайных процессов [4, 5], доказавшие эквивалентность задач теории пересечении уровней, теории выбросов случайных процессов и теории случайных точечных процессов, дают возможность подойти к созданию математической модели, обеспечивающей повышение информативности оценки фактического состояния железнодорожного пути, необходимой для формирования адекватных управляющих воздействий на путь с целью обеспечения безопасности движения, поддержания его в работоспособном состоянии без дополнительных проходов транспортных средств с детектирующим оборудованием.

Если по оси абсцисс (рис. 1) отложить протяженность пути  $L$ , а по оси ординат – амплитуды неровностей рельсовой колеи  $A$ , то получим выборочную функцию непрерывного случайного процесса  $A(L)$  для участка  $L \in \{L_0, L_0 + L\}$ , которая пересекает пороговые уровни  $C_i$ , характеризующие отступления от норм содержания рельсовой колеи.

Для простоты представления предлагаемой модели возьмем только один пороговый уровень  $C$ , соответствующий, например, третьей степени отступлений от норм содержания пути, который в свою очередь формирует один точечный процесс  $n(L)$ , соответствующий только этому пороговому значению  $C$ . Функция  $A(L)$  при этом характеризует состояние пути на участке  $\{L_0, L_0 + L\}$  относительно порогового уровня  $C$ , ее поведение можно описать числом положительных  $n^+(C, L)$  и отрицательных  $n^-(C, L)$  выбросов. То есть  $a_+(L) = (a - C)l(a - C)$ , где  $a = a(L)$  – реализация записи показаний вагона-путеизмерителя как случайного процесса  $A(L)$ ,  $l(a)$  – единичный скачок.

Процесс  $l(a - C)$  как функция на протяженности оцениваемого участка представляет собой случайную последовательность прямоугольных импульсов единичной амплитуды (рис. 1в). Они синхронны





**Рис. 1.** Запись состояния рельсовой колеи по показаниям вагона-путеизмерителя: а) показания путеизмерителя как функция случайного процесса на участке пути; б) нелинейное преобразование  $A \rightarrow i(A-C)$  как идеальный ограничитель (детектор) по  $C$ ; в) случайная последовательность прямоугольных импульсов единичной амплитуды; г) единичные импульсы выбросов; д) длительность выбросов.

с переходами функции  $A(L)$  через уровень  $C$ , то есть имеют ту же длительность, что и импульсы неправильной формы, показанные на рис. 1б. Число пересечений  $N(C, L)$  заданного уровня  $C$  определяется из условия, что процесс записи состояния рельсовой колеи в пространстве можно считать дифференцируемым. Эта величина определяется для среднего числа пересечений  $N(C, L)$  заданного уровня  $C$  с траекторией случайного процесса  $A(L)$  на оцениваемом участке  $L$ . Для определения числа выбросов на участке функцию  $i(A-C)$  дифференцируем по  $L$ , что дает  $g$  импульсов положительных при  $A' > 0$  и отрицательных при  $A' < 0$ .

В реальности оценки величины выброса недостаточно, ибо просадка и переко-

с могут характеризоваться одним и тем же выбросом, но их влияние на безопасность движения различно и определяется не только фактом наличия выброса, но и его длительностью. Длительность выброса может быть записана как  $\Delta L_v = L_{i+1} - L_i$ , а средняя длительность пребывания траектории  $A(L)$  над уровнем  $C$  представлена как  $L^+(C) = 1 - F_A(C, T)$ , при том, что  $F_A(a, L)$  – функция распределения.

Суммарная длительность всех выбросов  $L_v$  на интервале  $(0, L)$  равна арифметической сумме  $L_v = \sum \Delta L_i$  и совпадает с протяженностью пребывания реализации  $a(L)$  в области  $A > C$ . Ту же суммарную длительность имеют и импульсы  $i(A-C)$ , при этом, поскольку импульсы не отрицательны и имеют единичные амплитуды, длитель-

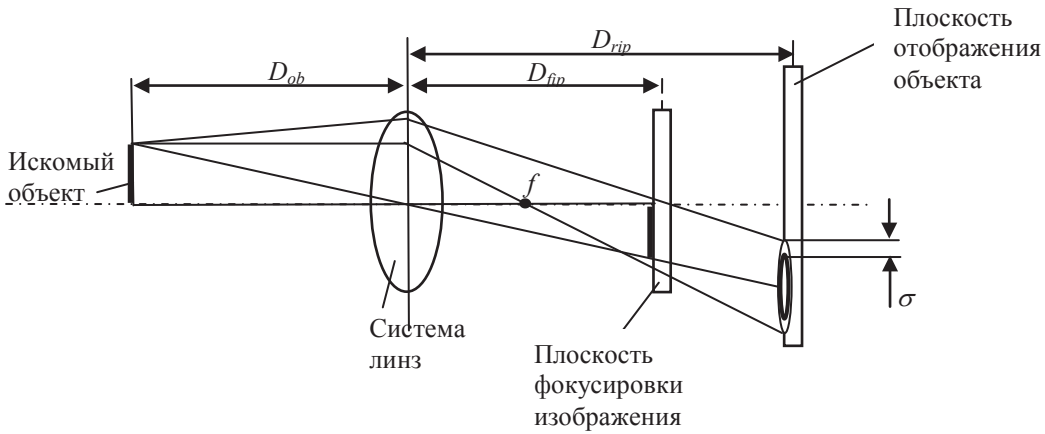


Рис. 2. Схема образования размытия при расфокусировке при  $D_{об} \geq D_{фр}$ .

ность выбросов можно определить из выражения  $L_v = \int_0^L 1(A-C)dt$ .

Повышение информативности оценки состояния железнодорожного пути возможно также при применении современных систем видеомониторинга и измерения, в которых в качестве способов получения первичной информации о состоянии исследуемых объектов (дефектов и отступлений от проектного положения) [6–11] можно выделить алгоритмы стереозрения [6, 7], набор интеллектуальных камер, позволяющих получить видео в режиме реального времени [8], использование камеры, дающей трехмерное изображение (одним из его параметров является расстояние до отдельных элементов [9]), но применение такой технологии связано с большими вычислительными нагрузками на техническое обеспечение, поэтому обычно выделяются только точки объекта, расположенные вдоль его границы на равном удалении друг от друга [10]. Достаточно активно в решении инженерных задач развивается метод трехмерной реконструкции, основанный на дополнительном подсвечивании исследуемого объекта и изучении формы образуемых теней [11].

В данном случае для повышения информативности оценок состояния пути, получаемых на основе применения путеизмерительной техники, предлагается применять программно-аппаратную систему видеомониторинга, которая посредством анализа серии изображений

объектов исследования помогает определить наличие (распознать [12]) и параметры дефектов (размеры, расположение, форму). Система видеомониторинга использует алгоритмы и методы, позволяющие на основе анализа дефокусировки перейти от параметров фотодетектора к физическим расстояниям для объектов, чьи образы представлены на изображении [6, 8]. Для установления взаимосвязи между параметрами реальных объектов и характеристиками их образов, фотодетекторов и режимов съёмки удобны размытые изображения. «Размытие» образа может появиться из-за движения объекта или детектора, особенностей границ образа, агрегатного состояния, а также из-за различных настроек фотодетектора (фокусное расстояние, диафрагма, выдержка и апертура) (рис. 1). В качестве функционального, связывающего основные характеристики детектора и расположения образа объекта в экспозиции применяется соотношение [6, 13]:

$$1/f = 1/D_{об} + 1/D_{фр}, \quad (1)$$

где  $f$  – фокусное расстояние,  $D_{об}$  – расстояние от заданной точки объекта до объектива фотодетектора,  $D_{фр}$  – расстояние между центром объектива и сфокусированным изображением исследуемого объекта.

Из выражения (1) требуется определить значения  $D_{об}$  и  $D_{фр}$  для заданного фокусного расстояния. Размытие образа можно представить в виде [5]

$$\sigma = B |D_{гип} - D_{фр}| / D_{фр}, \quad (2)$$



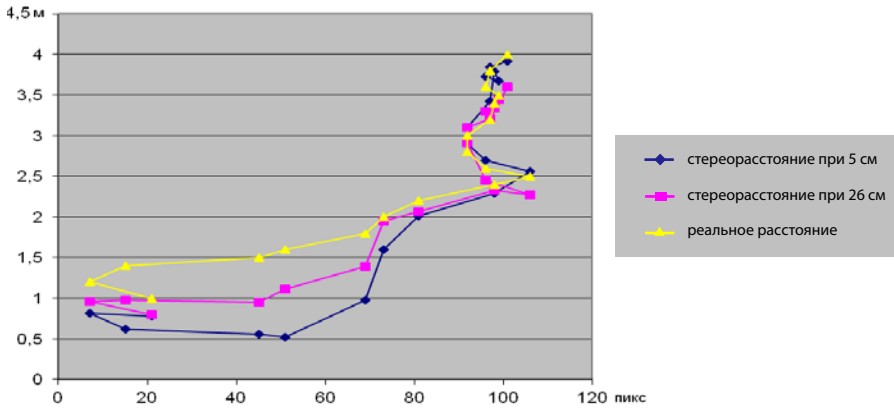


Рис. 3. Расстояния, полученные по схемам стереозрения, и реальное расстояние в зависимости от среднего значения размытия.

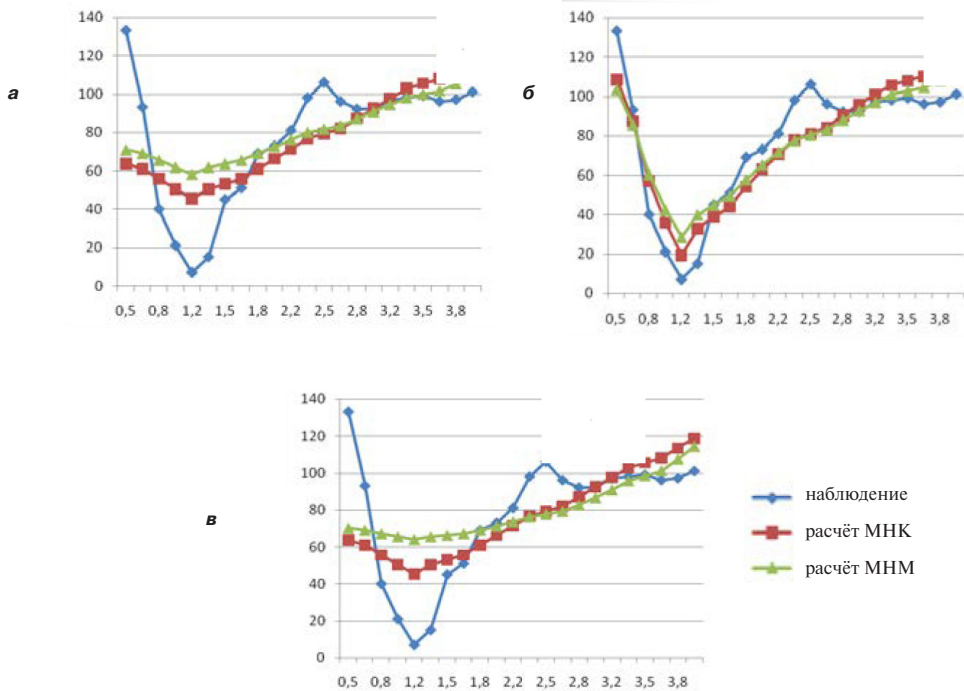


Рис. 4. Зависимость размытия от расстояния до объекта от функции  $h_i(X)$ : а) линейная, б) логарифмическая, в) экспоненциальная.

где  $\sigma$  – размытие объекта,  $B$  – значение апертуры,  $D_{rip}$  – расстояние от центра объекта до плоскости объекта.

При определении размеров пятна размытия предполагается, что размытие в точке происходит одинаково во всех направлениях [7, 8, 13]. Предлагается устанавливать на вагоне-путеизмерителе стереопару, формирующую изображение верхнего строения пути для последующей обработки в системе мониторинга и измерения. Па-

раметры обнаруженных дефектов определяются на основе комплексной методики, агрегирующей алгоритмы стереозрения и оценки размытия изображений объекта, полученных с двух камер (рис. 3) [13, 14].

Каждое измеренное размытие можно представить в виде суммы:

$$\theta_i = \eta_i(X) + \Delta_i, \quad (3)$$

где  $\eta_i(X)$  – некоторая известная функция, относительно которой будем считать оценки распределения;  $\Delta_i$  – ошибка измерения;



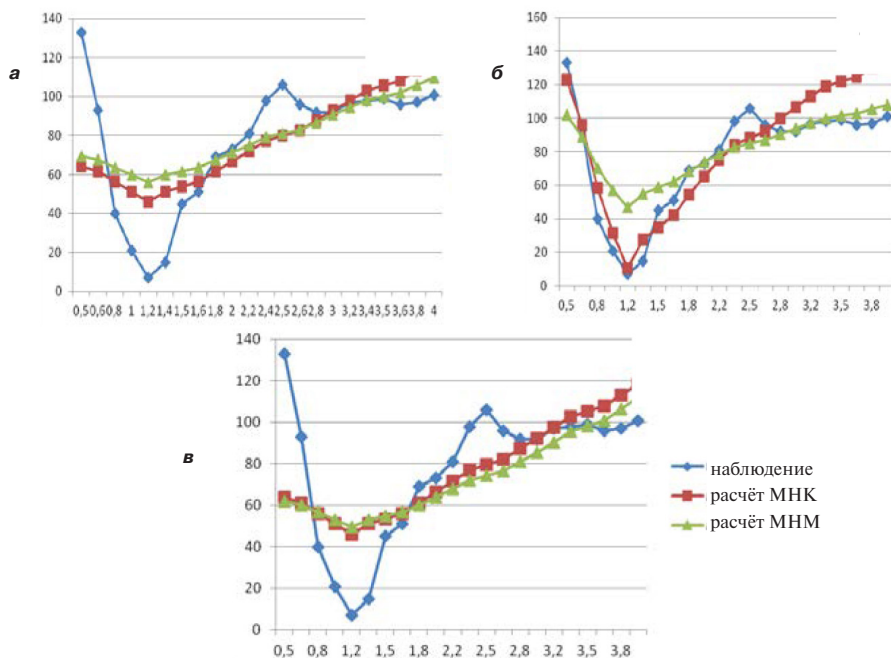


Рис. 5. Зависимость дисперсии от расстояния при коэффициенте фильтрации  $K = 0$ , для различных моделей: а) линейной, б) логарифмической, в) экспоненциальной.

$X = (X_1, \dots, X_n)^T$  – вектор местоположения объекта (дефекта);  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  – результаты измерений средней величины размытия объекта.

Для оценивания вектора параметров дефекта  $X = A_j(\theta)$  предлагается использовать М-оценки, которые представляют собой минимум суммы функций от данных:  $X(\theta) = \arg \min_x (\sum_{i=1}^n L(\theta_i - \eta_i(X)))$ , (4) где  $L(\theta)$  – функция, соответствующая методу оценивания (для метода наименьших квадратов –  $L = z^2$ ; для метода наименьших модулей –  $L = |z|$ ). По анализу этих оценок выбирается наиболее приближенная к наблюдениям функция  $\eta_i(X)$  по свойствам несмещенности, состоятельности и эффективности.

Одним из вариантов получения устойчивых оценок наблюдений  $\theta_i$  является варьирование вида функции  $\eta_i(X)$  при неизвестном распределении ошибок  $\Delta_i$  и использовании среднеквадратичного отклонения  $\theta_i$ . В качестве  $\eta_i(X)$  предлагается рассмотреть ряд функций:  $\eta_i(X) = a + b \cdot |x - x_0|$  (линейная);  $\eta_i(X) = b \cdot |\ln(x - x_0)| + a$  (логарифмическая);  $\eta_i(X) = b \cdot |\exp(c \cdot x - x_0)| + a$  (экспоненциальная). После подстановки данных выражений в определяющие уравнения можно представить в виде графиков зависимости размытия от расстояния до объекта (рис. 4).

Для сглаживания имеющихся и возможных выбросов предлагается применить фильтрацию к первоначальным наблюдениям и проанализировать оценку методов наименьших квадратов (МНК) и наименьших модулей (МНМ) для трех рассмотренных функций после применения фильтра. Процедура фильтрации может быть представлена в виде итерационных выражений:

$$\theta_{k+1}^{opt} = K \cdot \theta_{k+1} + (1 - K) \cdot (\theta_k^{opt} + u_k), \quad (5)$$

$u_k = \eta(x_{k+1}) - \eta(x_k)$  – для линейной функции;

$$\theta_{k+1}^{opt} = K \cdot \theta_{k+1} + (1 - K) \cdot (\theta_k^{opt} \cdot u_k), \quad (6)$$

$u_k = \eta(x_{k+1}) / \eta(x_k)$  – для логарифмической и экспоненциальной функций.

Здесь  $0 \leq K \leq 1$  – коэффициент фильтрации;  $\theta_k^{opt}$  и  $\theta_{k+1}^{opt}$  – текущее и следующее значения наблюдений после фильтрации;  $\theta_{k+1}$  – последующее наблюдение;  $u_k$  – параметр изменения системы;  $\eta(x_k)$  и  $\eta(x_{k+1})$  – текущее и последующее значения функции, взятой в качестве теоретической;  $x_k$  – расстояние до объекта.

В итерационной процедуре первоначальным значением после фильтрации предлагается принять само наблюдение, т.е.  $\theta_1^{opt} = \theta_1$ . При использовании схемы фильтрации



можно добиться уменьшения дисперсии ошибки путем выбора коэффициента  $K$ , а используя методы МНК и МНМ – оценить влияние функции  $\eta_i(X)$  при разных её видах на конечные определяемые геометрические параметры дефектов после применения алгоритмов фильтрации к измерениям (рис. 5).

При помощи предлагаемого алгоритма фильтрации с учетом варьирования коэффициентов  $K$  при анализе полученных функций получаем распределения ошибок с меньшей дисперсией, чем без использования фильтра, то есть оценка получается более эффективной, а значит, можно сделать выводы о том, что фильтр предоставляет возможность получить более точную теоретическую функцию. Оценкой с наименьшей дисперсией является оценка МНК для теоретической функции:  $y_{расч} = a + b|\ln(x-x_0)|$ , где  $a = 10,696$ ,  $b = 93,122$  при алгоритме фильтрации с коэффициентом 0,1.

## ВЫВОДЫ

Повышение информативности оценки состояния пути по показаниям геометрических и оптических средств мониторинга вагона-путьеизмерителя за счёт применения методов статистического анализа позволяет не только повысить достоверность оценки отдельного участка, но и решать другие задачи технического обслуживания железнодорожного пути.

Определение длительности каждого выброса, интервала между выбросами и дисперсии возникающих ошибок напрямую связано с оценкой объёмов работ по устранению отступлений от норм содержания рельсовой колеи и прежде всего величин сдвижек и подъёмов пути и объёма досыпаемого щебня при планово-предупредительной выправке. При этом наиболее эффективно предложенные алгоритмы статистического анализа реальных измерений будут работать совместно с алгоритмом определения параметров кривизны в плане, возвышения по уровню: начало (конец) и длины переходных кривых в плане и по уровню,

радиусы и возвышения в круговых кривых; неровности в продольном профиле, что позволит решить задачу расчёта потребного объёма щебня не только для устранения локальной неровности пути, но и сплошной выправки при постановке пути в проектное положение.

## ЛИТЕРАТУРА

- Исаев К. С., Сычёв В. П., Шекотков Ю. М. Путьеизмерительный вагон – эффективность использования // Железнодорожный транспорт. – 1984. – № 11. – С. 28–30.
- Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путьеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов / Распоряжение МПС от 14.10.1997 г. № ЦПТ 515.
- Сычёв В. П. Методы оценивания железнодорожного пути характеристиками случайных процессов // Наука и техника транспорта. – 2007. – № 3. – С. 84–88.
- Тихонов В. И. Выбросы случайных процессов. – М.: Радио и связь, 1972. – 392 с.
- Сычёв В. П., Дружинина О. В., Черкашин Ю. М. О задаче обеспечения системной безопасности железнодорожного пути // Транспорт: наука, техника, управление. – 2009. – № 12. – С. 2–4.
- Kraft H., Frey J., Moeller T., Albrecht M., Grothof M., Schink B., Hess H. 3D-camera of high 3D-frame rate, depth-resolution and background light elimination based on improved PMD (photonic mixer device)-technologies // In OPTO, 2004, pp. 45–49.
- Stability analysis of an all-fiber coupled cavity Fabry-Perot additive pulse modelocked laser. C. K. Nielsen, T. V. Andersen, S. R. Keiding. J. Quantum Electronics 41 (2), 2005, 198 p.
- Kuhnert K.-D., Langer M., Stommel M. and Kolb A. Dynamic 3D-Vision // Vision Systems: Applications, June 2007, pp. 311–334.
- Lin H.-Y., Chang C.-H. Depth from motion and defocus blur // Optical Engineering V. 45(12), N127201, December 2006, pp. 1–12.
- Levin A., Fergus R., Durand Fr., Freeman W. T. Image and depth from a conventional camera with a coded aperture // ACM Transactions on Graphics, V. 26, N. 3, Article 70, 2007, pp. 124–132.
- Robinson Ph., Roodt Yu., Nel A. Gaussian blur identification using scale-space theory // Faculty of Engineering and Built Environment University of Johannesburg, South Africa, 2007, pp. 68–73.
- Локтев Д. А., Алфимцев А. Н., Локтев А. А. Алгоритм распознавания объектов // Вестник МГСУ. – 2012. – С. 124–131.
- Loktev A. A., Loktev D. A. Determination of Object Location by Analyzing the Image Blur // Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, No. 11, pp. 467–475
- Loktev A. A., Loktev D. A. Development of a User Interface for an Integrated System of Video Monitoring Based on Ontologies // Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 17, pp. 789–797. ●

Координаты авторов: **Сычёв В. П.** – vp@vpm770.ru, **Локтев А. А.** – aaloktev@yandex.ru, **Локтев Д. А.** – loktevdan@yandex.ru, **Виноградов В. В.** – +7(495) 684–21–10.

Статья поступила в редакцию 12.12.2016, принята к публикации 21.02.2017.

## INCREASE IN INFORMATIVE VALUE OF RAILWAY TRACK MAINTENANCE ASSESSMENT

**Sychev, Vyacheslav P.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
**Loktev, Alexei A.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
**Loktev, Daniil A.**, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia.  
**Vinogradov, Valentin V.**, Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, Russia.

### ABSTRACT

Using the methods of statistical analysis based on the theory of random process emissions, the theory of random point processes, the method of least squares, the method of least modules, filtering algorithms, the choice of a type of a theoretical function and its parameters that allow reducing the error of the measured characteristics

of defects and deviations of the track from the design position, a mathematical model is formulated that provides an increase in the informative value of the assessment of the actual state of the railway track. High information value is needed primarily for formation of adequate control actions on the track in order to ensure traffic safety.

*Keywords:* railway track, measured parameters, information-measuring system, defect detection, statistical analysis, theory of random processes, mathematical model.

**Background.** The basis for ensuring the safety of the railway operation is a way to create a database of defects in the track operation and measures to eliminate them or prevent their occurrence. Let's consider a particular task of increasing the informative value of the track maintenance assessment according to the readings of a track measuring car and the possibility of obtaining a larger number of parameters in one pass of the track measuring equipment using the software and hardware monitoring and image processing system for detecting defects and determining their characteristics.

**Objective.** The objective of the authors is to consider informative value of railway track maintenance assessment.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, assessment method, statistical analysis, mathematical apparatus.

**Results.** The track measuring car [1] records the state of the geometry of the track gauge, including in the plan (narrowing, gauge widening, straightening) and profile (subsidence, misalignment), as shown in Pic. 1a for one of the parameters. The existing system of assessing the state of the rail track and planning work according to the readings of the track measuring equipment on the basis of the instruction [2], approved in 1997, does not regulate estimates for lines with speeds of up to 140 km/h.

In addition, the instruction permits ambiguity in the interpretation of the track assessment, for example: a subsidence of 26 mm with a length of 6 m requires a speed limit of 60 km/h, and a subsidence of 7 m length and 50 mm in size allows a speed of 140 km/h; a skew of 21 mm with a length of 20 m implies a speed limit of 60 km/h, and a skew of 40 mm with a length of 21 m formally allows a speed of 120 km/h. The score of kilometers for which employees of structural units serving the railway track receive financial incentives does not always correspond to the procedure for eliminating deviations aimed at improving traffic safety. In fact, there is no differentiation within the same qualitative assessment of the kilometer. For example, for established speeds of 61–120 km/h of third-degree retreat – three skews of 19–20 mm or one skew of 17 mm lead to the same satisfactory estimate of a kilometer. Such an assessment does not stimulate the elimination of first and foremost dangerous deviations.

Estimation of the track maintenance according to the data of the track measuring car is to establish

scores for exceeding the established threshold values from the track maintenance standards [2]. The set of estimates of each deviation on the site in the form of a sum of scores or the number of malfunctions of certain degrees of deviation is a complex estimate of the section of the track as a whole [3]. To reduce the effect of the described shortcomings, it is proposed to proceed from the assumption that the process of recording the track state by a track measuring car refers to random processes in which the time index is the coordinate counted along the track length (Pic. 1). At the same time, it can be considered that it is completely determined by the set of its implementations, and exceeding the established thresholds (the degree of deviation from the norms of the rail track maintenance) is the emissions of a random process.

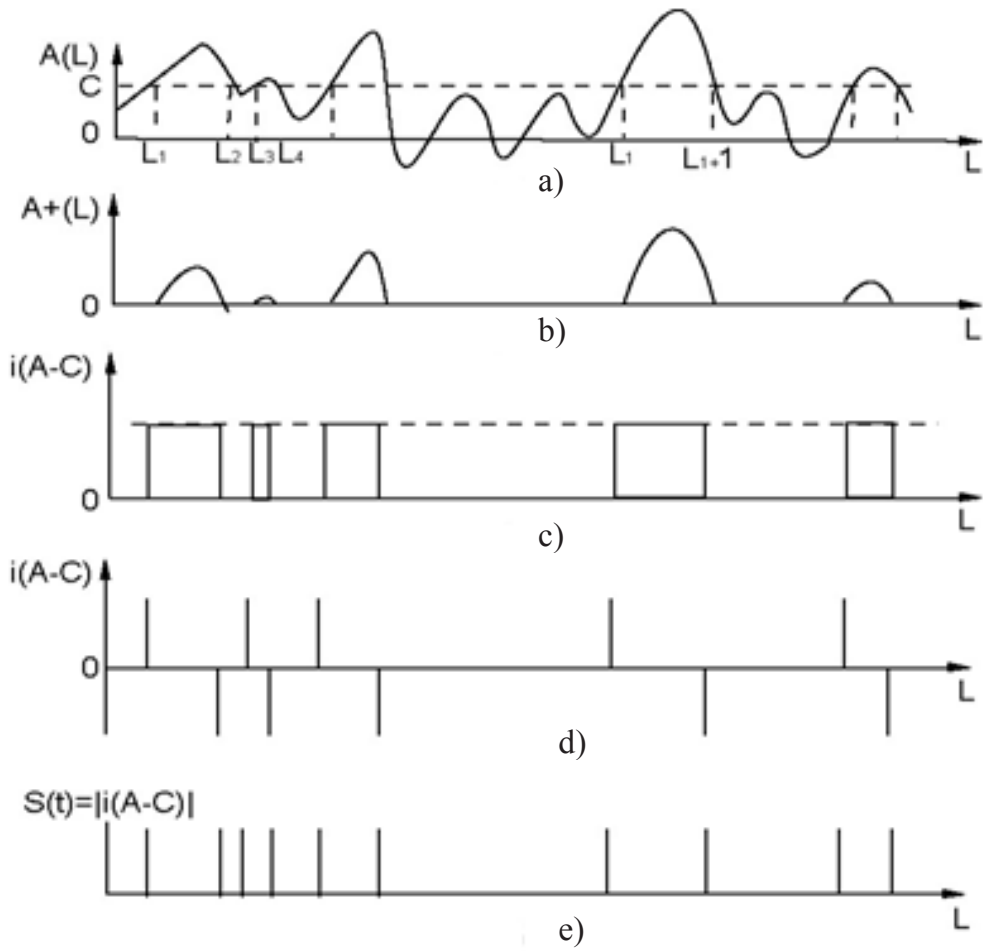
Studies in the theory of random processes [4, 5], which proved the equivalence of the problems of level crossing theory, the theory of random process emissions and the theory of random point processes, make it possible to approach a mathematical model to increase the informative value of the actual state of the railway track, necessary for formation of control actions on the track for the purpose of ensuring traffic safety, maintaining it in a working condition without additional passage of vehicles with detection equipment.

If along the abscissa axis (Pic. 1) the track length  $L$  is laid out, and along the ordinate axis – the amplitude of the unevenness of the track gauge  $A$ , we obtain a sample function of the continuous random process  $A(L)$  for the section  $L \in \{L_0, L_0 + L\}$ , that intersects threshold levels  $C$ , characterizing deviations from the norms of the maintenance of the track gauge.

For simplicity of representation of the proposed model, we take only one threshold level  $C$ , corresponding, for example, to the third degree of deviations from the track maintenance norms, which in turn forms one point process  $n(L)$ , corresponding only to this threshold value  $C$ . The function  $A(L)$  characterizes the state of the track in the region  $\{L_0, L_0 + L\}$  with respect to the threshold level  $C$ , its behavior can be described by the number of positive  $n^+(C, L)$  and negative  $n^-(C, L)$  emissions. That is,  $a(L) = (a-C)/(a-C)$ , where  $a = a(L)$  is the realization of recording the readings of the track measuring car as a random process  $A(L)$ ,  $l(a)$  is the unit jump.

The process  $l(a-C)$  as a function of the length of the estimated area is a random sequence of rectangular pulses of unit amplitude (Pic. 1c). They are synchronous with the transitions of the function  $A(L)$  through the level





**Pic. 1. Record of the state of the rail track according to the readings of the track measuring car: a) readings of the track measuring car as a function of the random process on the track section; b) non-linear transformation  $A \rightarrow I(A-C)$  as an ideal limiter (detector) in  $C$ ; c) a random sequence of rectangular pulses of unit amplitude; d) single impulses of emissions; e) duration of emissions.**

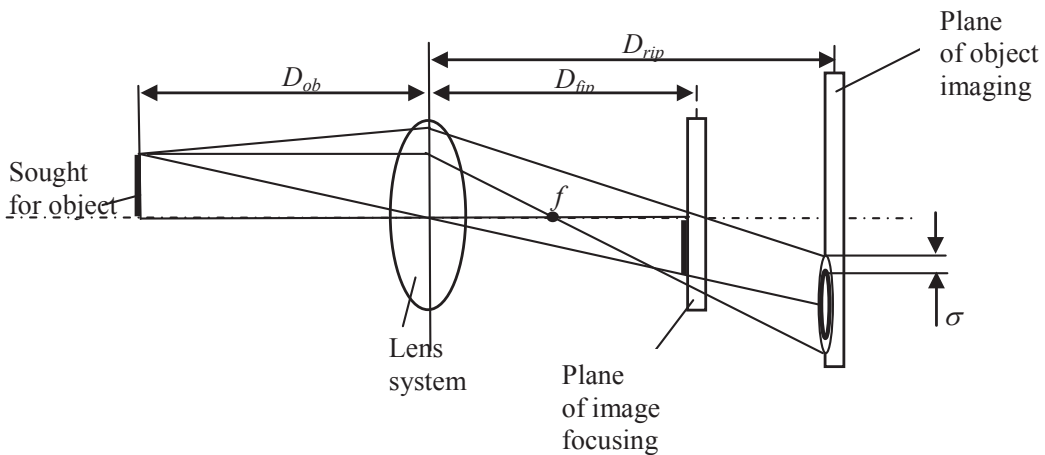
$C$ , that is, they have the same duration as the impulses of irregular shape shown in Pic. 1b. The number of intersections  $N(C, L)$  of a given level  $C$  is determined from the condition that the process of recording the state of a track gauge in space can be considered differentiable. This value is determined for the average number of intersections  $N(C, L)$  of a given level  $C$  with the trajectory of the random process  $A(L)$  on the estimated section  $L$ . To determine the number of emissions on the site, the function  $I(A-C)$  is differentiated with respect to  $L$ , which gives  $g$  impulses positive for  $A' > 0$  and negative for  $A' < 0$ .

In reality, estimating the magnitude of the emission is not enough, since subsidence and skew can be characterized by the same emission, but their impact on traffic safety is different and is determined not only by the fact of the emission, but also by its duration. The emission duration can be written as  $\Delta L_v = L_{i+1} - L_i$  and the average length of stay of the trajectory  $A(L)$  over the level  $C$  is represented as  $L^+(C) = 1 - F_A(C, T)$ , with  $F_A(a, L)$  being the distribution function.

The total duration of all the emissions  $L_v$  in the interval  $(0, L)$  is equal to the arithmetic sum  $L_v = \sum \Delta L_v$

and coincides with the residence time of the realization  $a(L)$  in the region  $A > C$ . The pulses  $I(A-C)$  have the same total duration, and since the pulses are not negative and have single amplitudes, the duration of the emissions can be determined from the expression  $L_v = \int_0^L I(A-C) dt$ .

An increase in the informative value of the estimation of the state of the railway track is also possible with the use of modern video monitoring and measurement systems, in which algorithms for stereo vision [6, 7] can be distinguished as methods for obtaining primary information about the state of the objects under study (defects and deviations from the design position) [6–11], a set of intelligent cameras that allow to get video in real time [8], use of a camera that gives a three-dimensional image (one of its parameters is the distance to individual elements [9]), but the use of such technology is associated with large computational loads on hardware, so usually only points of the object located along its boundary at equal distances from each other are singled out [10]. The method of three-dimensional reconstruction, which is based on additional illumination of the object under



**Pic. 2. Scheme of blur formation in case of defocusing with  $D_{rip} \geq D_{rip}$ .**

study and the study of the shape of the formed shadows, is developing quite actively in solving engineering problems [11].

In this case, it is proposed to use the software and hardware video monitoring system to increase the informative value of track condition estimates obtained using track measurement equipment, which helps to determine the presence (recognize [12]) the parameters of defects (size, location, shape). The video monitoring system uses algorithms and methods that allow to switch from photodetector parameters to physical distances based on the defocus analysis for objects whose images are represented in the image [6, 8]. To establish the relationship between the parameters of real objects and the characteristics of their images, photodetectors and shooting modes, blurred images are convenient. The «blurring» of the image may appear due to the movement of the object or the detector, the features of the image boundaries, the aggregate state, and also due to the different settings of the photodetector (focal length, aperture, shutter speed and aperture) (Pic. 1). As a functional, connecting the main

characteristics of the detector and the location of the image of the object in the exposure, the ratio [6, 13] is applied:

$$1/f = 1/D_{ob} + 1/D_{rip}, \quad (1)$$

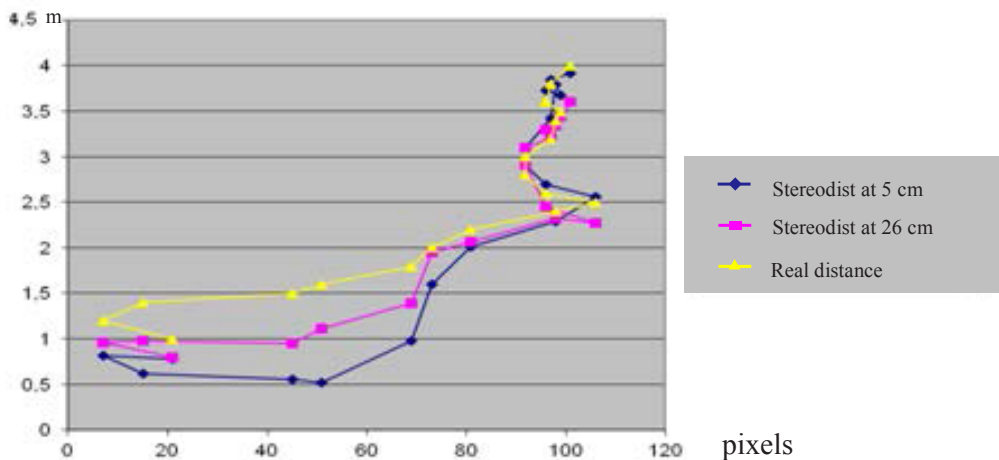
where  $f$  is focal length,  $D_{ob}$  is distance from the given object point to the photodetector objective,  $D_{rip}$  is distance between the center of the lens and the focused image of the object under study.

From expression (1), it is required to determine the values of  $D_{ob}$  and  $D_{rip}$  for a given focal length. The blurring of the image can be represented in the form [5]

$$\sigma = B |D_{rip} - D_{rip}| / D_{rip}, \quad (2)$$

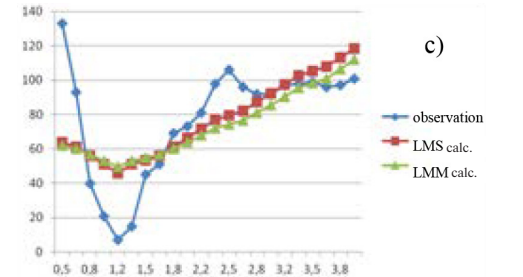
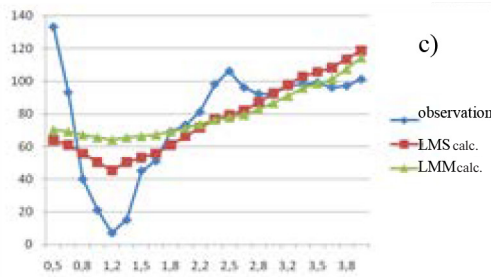
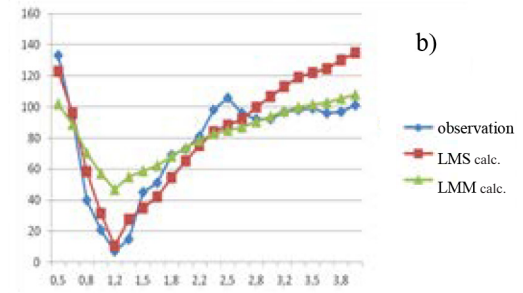
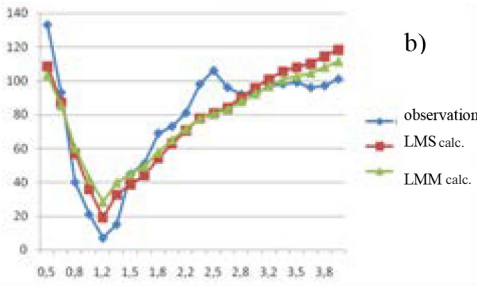
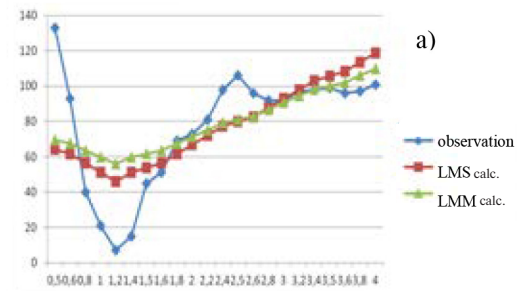
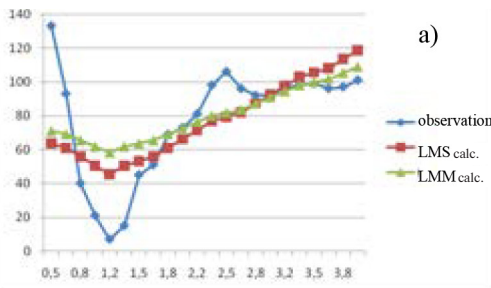
where  $\sigma$  is blur of the object,  $B$  is aperture value,  $D_{rip}$  is distance from the center of the lens to the plane of the object.

When determining the size of the smearing spot, it is assumed that the blurring at the point occurs identically in all directions [7, 8, 13]. It is proposed to install a stereopair on the track measuring car that forms the image of the track superstructure for further



**Pic. 3. Distances obtained by stereo vision schemes and the real distance, depending on the average blur value.**





**Pic. 4. The dependence of the blur on the distance to the object from the function  $\eta_i(X)$ : a) linear, b) logarithmic, c) exponential.**

**Pic. 5. Dependence of dispersion on distance with a filtration coefficient  $K = 0, 1$  for different models: a) linear, b) logarithmic, c) exponential.**

processing in the monitoring and measuring system. The parameters of detected defects are determined on the basis of a complex technique that aggregates the stereoscopic algorithms and estimates the blurring of the object images obtained from two cameras (Pic. 3) [13, 14].

Each measured blur can be represented as a sum:  $\theta_i = \eta_i(X) + \Delta_i$  (3) where  $\eta_i(X)$  is some known function, with respect to which we shall consider the estimates of the distribution;  $\Delta_i$  is measurement error;  $X = (X_1, \dots, X_m)^T$  is vector of the location of the object (defect);  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  are results of measurements of the average blur of the object.

To estimate the defect parameter vector  $X = A(\theta)$  it is suggested to use M-estimates, which are a minimum of the sum of functions from the data:  $X(\theta) = \arg \min_X (\sum_{i=1}^n L(\theta_i - \eta_i(X)))$ , (4) where  $L(\theta)$  is function corresponding to the estimation method (for the least squares method -  $L = z^2$ ; for the least modulus method -  $L = |z|$ ). Based on the analysis of these estimates, the function  $\eta_i(X)$  is chosen as it is most closely approximated to observations, according to the properties of unbiasedness, consistency and efficiency.

One way to obtain stable estimates of observations  $\theta_i$  is to vary the form of the function  $\eta_i(X)$  with the unknown error distribution  $\Delta_i$  and use the root-mean-square deviation  $\theta_i$ . As  $\eta_i(X)$  we propose to consider a number of functions:  $\eta_i(X) = a + b \cdot |x - x_0|$  (linear);  $\eta_i(X) = b \cdot |\ln(x - x_0)| + a$  (logarithmic);  $\eta_i(X) = b \cdot |\exp|(c \cdot x - x_0)| + a$  (exponential). After substituting these expressions into the defining equations, we can represent them in the form of graphs of the dependence of the blur on the distance to the object (Pic. 4).

To smooth existing and possible emissions, it is suggested to apply filtering to the initial observations and to analyze the estimation of least-squares (LSM) and least-modulus (LMM) methods for three functions considered after applying the filter. The filtering procedure can be represented in the form of iteration expressions:

$$\theta_{k+1}^{opt} = K \cdot \theta_{k+1} + (1 - K) \cdot (\theta_k^{opt} + u_k), \quad (5)$$

$$u_k = \eta(x_{k+1}) - \eta(x_k) \text{ - for linear function;}$$

$$\theta_{k+1}^{opt} = K \cdot \theta_{k+1} + (1 - K) \cdot (\theta_k^{opt} \cdot u_k), \quad (6)$$

$$u_k = \eta(x_{k+1}) / \eta(x_k) \text{ - for logarithmic and exponential functions.}$$

Here  $0 \leq K \leq 1$  is filtering coefficient;  $\theta_{k, opt}$  and  $\theta_{k+1, opt}$  are current and next values of observations after filtering;  $\theta_{k+1}$  is follow-up observation;  $u_k$  is parameter of the system change;  $\eta(x_k)$  and  $\eta(x_{k+1})$  are current and subsequent values of the function taken as theoretical;  $x_k$  is distance to the object.

In the iterative procedure, it is proposed to take as the initial value after filtering the observation itself, i.e.  $\theta_1^{opt} = \theta_1$ . Using the filtration scheme, it is possible

to reduce the error variance by choosing the coefficient  $K$ , and using the methods LSM and LMM – to estimate the influence of the function  $\eta_1(X)$  for its different types on the finite determined geometric parameters of the defects after applying the filtering algorithms to the measurements (Pic. 5).

With the help of the proposed filtering algorithm, taking into account the variation of the coefficients  $K$ , we obtain error distributions with a smaller variance in the analysis of the obtained functions, than without using a filter, that is, the estimate is more efficient, and therefore it can be concluded that the filter provides an opportunity to obtain a more accurate theoretical function. The minimum variance estimate is the estimate of LSM for the theoretical function is the function:  $y_{calc} = a + b |\ln(x - x_0)|$ , where  $a = 10,696$ ,  $b = 93,122$  for the filtering algorithm with a coefficient of 0,1.

**Conclusions.** The increase in the informative value of the track state assessment according to the indications of geometric and optical means of monitoring of the track measuring car using the methods of statistical analysis makes it possible not only to increase the reliability of the assessment of a particular section, but also to solve other tasks of maintenance of the railway track. The determination of the duration of each emission, the interval between emissions and the variance of the errors that arise is directly related to the assessment of the amount of work to eliminate deviations from the standards for the maintenance of the track gauge and, first of all, the values of the shifts and lifts of the track and the volume of the rubble to be filled in case of schedule preventive smoothing. In this case, the most effective algorithms for statistical analysis of real measurements will work together with an algorithm for determining curvature parameters in terms of plan, elevation in level: the beginning (end) and length of transitional curves in plan and in level, radii and elevations in circular curves; unevenness in the longitudinal profile, which will solve the problem of calculating the required volume of crushed stone not only to eliminate the local unevenness of the track, but also to smoothly straighten out the track to the design position.

## REFERENCES

1. Isaev, K. S., Sychev, V. P., Schekotkov, Yu. M. Track measuring car – efficiency of use [Puteizmeritel'nyj vagon –

effektivnost' ispol'zovanija]. *Zhelezнодорожный транспорт*, 1984, Iss. 11, pp. 28–30.

2. Instructions for decoding the tapes and assessing the state of the track gauge according to the indications of the CNII-2 track-measuring car and the measures to ensure the safety of train traffic / Decree of the Ministry of Railways of 14.10.1997 No. TsPT 515 [Instrukcija po rasshifrovke lent i ocenke sostojanija rel'sovoj kolei po pokazanijam puteizmeritel'nogo vagona CNII-2 i meram po obespecheniju bezopasnosti dvizhenija poezdov / Rasporyazhenie MPS of 14.10.1997g. № CPT 515].

3. Sychev, V. P. Methods of estimating the railway track by the characteristics of random processes [Metody ocenivaniya zhelezнодорожного пути harakteristikami sluchajnyh processov]. *Nauka i tehnika transporta*, 2007, Iss. 3, pp. 84–88.

4. Tikhonov, V. I., Emissions of random processes [Vybrosty sluchajnyh processov]. Moscow, Radio i Svyaz publ., 1972, 392 p.

5. Sychev, V. P., Druzhinina, O. V., Cherkashin, Yu. M. On the problem of ensuring the systemic safety of the railway track [O zadache obespechenija sistemnoj bezopasnosti zhelezнодорожного пути]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2009, Iss. 12, pp. 2–4.

6. Kraft, H., Frey, J., Moeller, T., Albrecht, M., Grothof, M., Schink, B., Hess, H. 3D-camera of high 3D-frame rate, depth-resolution and background light elimination based on improved PMD (photonic mixer device)-technologies. *In OPTO*, 2004, pp. 45–49.

7. Nielsen, C.K., Andersen, T.V., Keiding, S. R. Stability analysis of an all-fiber coupled cavity Fabry-Perot additive pulse modelocked laser. *J. Quantum Electronics*, 41 (2), 2005, 198 p.

8. Kuhnert, K.-D., Langer M., Stommel M. and Kolb A. Dynamic 3D-Vision. *Vision Systems: Applications*, June 2007, pp. 311–334.

9. Lin, H.-Y., Chang, C.-H. Depth from motion and defocus blur. *Optical Engineering*, V. 45(12), N127201, December 2006, pp. 1–12.

10. Levin, A., Fergus, R., Durand, Fr., Freeman, W. T. Image and depth from a conventional camera with a coded aperture. *ACM Transactions on Graphics*, V. 26, N. 3, Article 70, 2007, pp. 124–132.

11. Robinson, Ph., Roodt, Yu., Nel, A. Gaussian blur identification using scale-space theory. *Faculty of Engineering and Built Environment University of Johannesburg*, South Africa, 2007, pp. 68–73.

12. Loktev, D. A., Alfimtsev, A. N., Loktev, A. A. Algorithm for object recognition [Algoritm raspoznavaniya ob'ektov]. *Vestnik MGSU*, 2012, pp. 124–131.

13. Loktev A. A., Loktev D. A. Determination of Object Location by Analyzing the Image Blur. *Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 8, 2015, no. 11, pp. 467–475

14. Loktev A. A., Loktev D. A. Development of a User Interface for an Integrated System of Video Monitoring Based on Ontologies // *Contemporary Engineering Sciences*, Vol. 8, 2015, no. 17, pp. 789–797. ●

Information about the authors:

**Sychev, Vyacheslav P.** – D.Sc. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, vp@vpm770.ru.

**Loktev, Alexei A.** – D.Sc. (Physics and Mathematics), professor, head of the department of Transport Construction of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, aaloktev@yandex.ru.

**Loktev, Daniil A.** – assistant at the department of Information systems and telecommunications of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, loktevdan@yandex.ru.

**Vinogradov, Valentin V.** – D.Sc. (Eng.), professor, first vice-rector of Moscow State University of Railway Engineering, Moscow, Russia, +7(495) 684–21–10.

Article received 12.12.2016, accepted 21.02.2017.





# Особенности экспериментов на процессной трехмерной модели станции



Александр ГОЛОВНИЧ

Alexander K. GOLOVNICH

## Features of Experiments based on Process 3D-Model of the Station

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 36)

**Изоморфной динамическая 3D-модель может становиться при отсутствии существенных различий между действительным образом и его подобием (прототипом). Теоретическая оценка результатов наблюдения реальных технологических процессов на железнодорожной станции и имитирующих их в ходе экспериментов модельных аналогов, воссоздающих динамику всех операций на основе расчёта и трёхмерного воспроизведения с корректными физическими явлениями тяготения, сопротивления, инерции и наличием прочих сопутствующих реакций. Модельная физика подтверждает возможность реконструировать множественные эффекты управляемых действий в пределах временного кванта рассчитываемых сил.**

*Ключевые слова:* железнодорожная станция, проектирование, процессный подход, эксперимент, 3D-модель, информационные технологии.

*Головнич Александр Константинович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Транспортные узлы» Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Беларусь.*

**Р**азработка адекватной динамической модели железнодорожной станции, реконструирующей физические и технологические операции обслуживания поездо- и вагонопотоков с визуализацией достигаемых состояний в трехмерных образах, дает возможность получить мощный инструмент для имитации реальных процессов. Структурно-функциональное подобие 3D-модели прототипным объектам станций (железнодорожным путям, вагонам, локомотивам) приближает модельную интерпретацию по форме и содержанию к происходящим процедурам при расформировании поездов, подаче, выгрузке, погрузке вагонов на грузовых пунктах и т.п. Модель железнодорожной станции, объекты которой функционируют в соответствии с физическими законами движения тел и требованиями технологии, может быть применима для различных экспериментов, заменяя использование ресурсов реальной станции.

## ВОЗМОЖНОСТИ НАТУРНОГО И МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЯ

Передача функций натурального эксперимента модельной реконструкции связывается с выполнением условия одинаковой до-



стоверности репрезентативной реальной статистики и выборки, получаемой в результате съёма данных с виртуальных датчиков, установленных на модельных объектах. В этом случае следует учитывать тот факт, что результаты экспериментов на модели будут не идентичны, но близки к исходам на аналогичных объектах прототипа. Процессная реконструкция сложных технологических операций с вагонопотоками как динамическое развёртывание событий с учетом физических взаимодействий между телами может быть достаточным приближением к функционированию реальной станции.

При необходимости получения достоверного аналитического материала по состоянию объектов в процессе эксплуатации, выявлению причин возникновения значительных напряжений и деформаций в сложных конструкционных элементах пути и подвижного состава наиболее надежным способом является проведение именно натурного эксперимента [1]. Однако надо отметить, что сам он также проводится на своеобразном модельном стенде (физическом), определенным образом подготовленном для съёма заданной информации.

Из всех стационарных объектов выбирается некоторый участок пути, на котором устанавливаются устройства считывания информации в полном соответствии с планируемым экспериментом. Производится ограждение территории, минимизируются все внешние воздействия, способные нарушить чистоту эксперимента. В этом отношении натурное экспериментирование можно рассматривать как некоторый многократно повторяемый опыт с сохранением исходных позиций в его проведении. Однако все начальные условия натурного эксперимента обуславливаются действием множества случайных факторов и становятся несколько отличными от предыдущих. По ряду причин объективного характера (несовершенства считываемого оборудования, стохастического характера проявления влияющих факторов, коррелированного действия сил и др.) результаты таких экспериментов несут в себе определенную стохастическую ошибку. Более совершенные приемы и методы съёма информации, несомненно, будут приводить к более точным выводам.

Второй причиной невозможности идентичного воспроизведения результатов на-

турного эксперимента становятся ошибки в процедуре регистрации измерений. Например, измеряется скорость ветра  $V$  и сила ветровой нагрузки  $f$ , действующих на отцеп при роспуске с горки в момент времени  $t_0$ , которые при многократном повторении распределяются в интервалах  $[V_0 - \Delta V_1, V_0 + \Delta V_2]$  и  $[f_0 - \Delta f_1, f_0 + \Delta f_2]$ . Все измерения проходят за некоторый промежуток времени  $[t_0 - \Delta t_1, t_0 + \Delta t_2]$ . На выходе фиксируются некоторые усредненные, зарегистрированные в момент  $t_0 + \varepsilon_1$ , значения  $V_0$  и  $f_0$ . Во время некоторого следующего акта эксперимента на результат могут оказывать действие факторы, отсутствовавшие до сих пор или мало-значимые для данного эксперимента, но в совокупности своего совместного действия способные привести к иному итогу, что, собственно, и происходит в реальных условиях. В этих условиях датчик сработает в момент времени  $t_0 + \varepsilon_2$ , обрабатывая несколько иной график ветровой нагрузки в диапазоне  $[t_0 - \Delta t_3, t_0 + \Delta t_4]$ . Статистическая обработка нивелирует такие отклонения, которые в силу своей случайности имеют, как правило, симметричные распределения.

Использование модели вместо натуральных образцов определенным образом меняет общую картину, которая формируется при действии упрощенных модельных правил, отсутствии случайных факторов и множественной корреляции их влияния и т.д. Повторить модельный эксперимент при заданных исходных условиях может оказаться достаточно просто с большой вероятностью получения результата, совпадающего с предыдущим экспериментом. Поэтому при неизменных входных данных в модели нет необходимости проводить многократные наблюдения — их результаты будут практически идентичны.

Колебания исходов натуральных экспериментов и постоянство модельных реконструкций теоретически должно быть связано в том смысле, что результат модельного эксперимента стремится к математическому ожиданию значительной по объёму статистической выборки натуральных данных. Простая модель относительно сложной реальной технической системы рассматривается как ее некоторый субстративный конгломерат, «сухой остаток» от всех сложноподчиненных, многоуровневых влияний различных факто-



ров, в котором остались только постоянно действующие, устойчивые во времени основные воздействия, существенные для правильного исполнения технологической операции в диапазоне допускаемых отклонений.

Естественно, простота модели относительна. Для ее использования структура объектов должна некоторым образом воспроизводить физические и технологические эффекты в заданных пределах значений реальных параметров, корректно имитировать объективные нелинейные процессы (например, при арифметической прогрессии роста значения параметра  $X_i$  приводить к геометрической прогрессии роста эффекта  $E_j$ , регистрируемого в действительности).

Достоверность модельного эксперимента должна подтверждаться сопоставляемыми исходами на натуральных объектах. Однако кроме корректного воспроизведения результатов реальных опытов модель призвана обладать предсказательными возможностями. В противном случае полезность такой сложной модели с реконструкцией физических эффектов сомнительна, поскольку можно и без нее провести натуральный эксперимент и воспользоваться полученными результатами с гарантированной достоверностью для решения необходимой прикладной задачи.

Инженерная (процессная) модель станции должна обладать высоким подобием по своему функционалу реальному прототипу на железной дороге. Речь идет о том, что состояние модельных объектов изменяется согласно математическим расчётам в таком же направлении, в каком происходит изменение состояний реальных станционных объектов при действии определенных нагрузок (силы тяготения при скатывании отцепов с горки, силы инерции при соударении вагонов в сортировочном парке, сил сопротивления при торможении состава на устройствах удержания и др.). При этом количественные эффекты, наблюдаемые на модели (скорость движения вагонов, длина тормозного пути), должны соответствовать реально регистрируемым явлениям, возникающим при равных исходных условиях. Возможны определенные отклонения искомых значений параметров модели от прототипируемых процессов. Более детальные в структурном и функциональном отношении имитации

сужают область допускаемых ошибок, позволяя формировать адекватные модели. «Вкрапление» в результаты действий особых факторов, которые рассеивают получаемые детерминированные значения параметров в полном соответствии с реальными процессами, еще более приближает модель к исходам натурального эксперимента.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ЭКСПЕРИМЕНТА НА 3D-МОДЕЛИ

Эксперименты на визуальной модели позволяют концентрировать внимание на существенных конструктивных элементах и технологических операциях, экспертно оценивать реальный процесс, ранжируя значимые факторы взаимного влияния в динамике явлений. 3D-модель станции следует рассматривать как наглядный реконструктивный образ, создающий комфортную среду для исследователя с целью изучения неизвестных закономерностей взаимодействия в системах колесо-рельс, вагон-груз, локомотив-вагон и т.д. Наблюдение за функционированием псевдофизической модели, адекватной железнодорожной станции, воспринимается как эксперимент на реальных объектах, проводимый в безопасных условиях, менее трудоёмких, не требующих значительных затрат на подготовку к работе, не влияющих на деятельность других подразделений станции [2, 3].

Такой реконструктивный аналог реальной станции представляется как изоморфная 3D-модель станции, наблюдаемая на экране дисплея в виде последовательности кадров изменяющихся объектов. Зрительно она воспринимается как видеосъёмка некоторого технологического процесса, исполненного на реальной станции. Высокая степень детализации внешних форм модельных объектов, неотличимых от вида соответствующих прототипов, дополняется структурно-функциональным подобием, когда компьютерные репродукции вагонов и путей изменяют свое положение под воздействием определенных модельных, рассчитанных в полном соответствии с параметрами реальных устройств нагрузок. В этом случае эксперименты на таких изоморфных моделях после проведения верифицирующих процедур могут обеспечивать опытные исследования с высоким доверием к получаемым результатам.

На изоморфных 3D-моделях станции можно с успехом изучать состояния объектов в пограничных и критических ситуациях, когда постановка и проведение аналогичных испытаний в реальных условиях не могут быть выполнены по соображениям безопасности (например, определение зоны химического поражения при аварии железнодорожного подвижного состава с опасными грузами окисляющих, ядовитых, инфекционных и других веществ; моделирование схода вагонов с пути в кривой перед сложной развязкой с автомобильными и железными дорогами; определение предельной скорости движения поезда с конкретной схемой расположения в составе порожних и груженых, универсальных и специализированных вагонов при прохождении сложных кривых в плане и профиле).

Модельная физика позволит реконструировать множественные прямые и косвенные эффекты действия взаимоскоррелированных условий и факторов, рассчитать и визуализировать состояния объектов, достаточно удаленных по времени от позиций столкновения объектов. При этом детально фиксируются не только отдельные кадры, как в реальной киносъемке, но и записывается состояние каждой точки цифрового объекта, с которого можно снять данные в любой момент времени в пределах временного кванта рассчитываемых сил, напряжений, возникающих деформаций. Так как все критические ситуации происходят за весьма незначительный период (секунды и доли секунд), то последующее изучение компьютерной анимации изоморфной модели станции с растяжкой шкалы времени в 20 и более раз позволит провести детальный анализ, выявить особо опасные точки и поверхности взаимодействующих объектов, интервалы времени, требующие конструкционного усиления элементов, ограничения скорости при некоторых сочетаниях величин физических характеристик и прочего.

Стоимость разработки изоморфной 3D-модели станции предполагается значительной, нужны усилия многих специалистов

в области алгоритмизации, программирования, вычислительной математики, физики, системного анализа, опытных технологов-транспортников. Однако возможности такой модели, как системной среды, соизмеримы с потенциалом реальной технической системы, обеспечивающей исследования закономерностей действия объективных связей натурным и статистическим материалом. Модельное воспроизведение технологических процессов станет адекватной заменой натурному экспериментированию с сопутствующими высокими издержками, сложным механизмом планирования и контроля всех этапов проведения эксперимента.

## ВЫВОДЫ

Инженерная модель станции по форме и содержанию может быть приближена к своему прототипу настолько, чтобы стать полноценной заменой для получения определенных статистических данных по различным проблемным аспектам функционирования транспортной системы, изучения сложных явлений, возникающих при действии неисследованных факторов (сверхвысоких скоростей, жесткого радиоактивного излучения, аномальных давлений и температур и др.).

Изоморфной динамическая 3D-модель станции становится при отсутствии существенных различий между имитирующими технологические операции процедурами и реальными физическими процессами, порождающими эти технологические операции. При этом значительно расширяются возможности такой репродуцирующей среды, особенно в части моделирования опасных ситуаций, приводящих с высокой вероятностью к крушениям и авариям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сидняев Н. И., Вилисова Н. Т. Введение в теорию планирования эксперимента. – М.: МГТУ им. Баумана, 2011. – 463 с.
2. Головнич А. К. Физические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта. – 2015. – № 4. – С. 25–34.
3. Головнич А. К. Технологические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта. – 2016. – № 2. – С. 34–42.

Координаты автора: **Головнич А. К.** – [golovnich\\_alex@mail.ru](mailto:golovnich_alex@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 07.02.2017, принята к публикации 21.04.2017.



## FEATURES OF EXPERIMENTS BASED ON PROCESS 3D-MODEL OF THE STATION

*Golovnich, Alexander K., Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus.*

### ABSTRACT

A 3D-model can become an isomorphic one if there are no significant differences between the actual image and its likeness (the prototype). Theoretical evaluation of the results of observation of real technological processes at the railway station and imitating them in the course of experiments of model analogues,

recreating the dynamics of all operations based on calculation and three-dimensional reproduction with correct physical phenomena of gravitation, resistance, inertia and the presence of other accompanying reactions. Model physics confirms the possibility of reconstructing multiple effects of controlled actions within the time quantum of the forces being calculated.

*Keywords:* railway station, design, process approach, experiment, 3D-model, information technologies.

**Background.** *The development of an adequate dynamic model of a railway station, reconstructing physical and technological operations for servicing train- and car flows with visualization of achievable states in three-dimensional images, makes it possible to obtain a powerful tool for simulating real processes. The structural and functional similarity of the 3D-model to the prototype objects of the stations (railway tracks, cars, locomotives) approximates the model interpretation in form and content to the originating procedures in the process of train formation, delivery, unloading, loading of cars at cargo points, etc. The model of the railway station, the objects of which function in accordance with the physical laws of motion of bodies and the requirements of technology, can be applied to various experiments, replacing the use of resources of a real station.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider features of experiments on the process 3D-model of a railway station.*

**Methods.** *The author uses general scientific and engineering methods, statistical analysis, comparative method, mathematical apparatus, 3D-modeling.*

### Results.

#### Possibilities of full-scale and model experimentation

*The transfer of the functions of the full-scale experiment of model reconstruction is related to fulfillment of the condition of equal reliability of the representative real statistics and the sample obtained as a result of the data collection from the virtual sensors installed on the model objects. In this case, one should take into account the fact that the results of the experiments on the model will not be identical, but are close to the outcomes at similar prototype objects. Process reconstruction of complex technological operations with car flows as a dynamic deployment of events, taking into account physical interactions between bodies, can be sufficient to bring about the functioning of a real station.*

*If it is necessary to obtain reliable analytical material on the state of objects in the process of operation, to identify the causes of occurrence of significant stresses and deformations in complex structural elements of the track and rolling stock, the most reliable method is to carry out the full-scale experiment [1]. However, it should be noted that it is also conducted on a kind of model stand (physical), in a certain way prepared for retrieval of the given information.*

*Of all station objects, a certain track section is selected, on which information reading devices are installed in full accordance with the planned experiment. The fencing of the territory is carried out, all external influences that could violate the purity of the experiment are minimized. In this respect, full-scale experimentation can be considered as a somewhat repetitive experiment with preservation of the initial positions in its conduct. However, all the initial conditions of the full-scale experiment are conditioned by the action of a set of random factors and become somewhat different from the previous ones. For a number of reasons of objective nature*

*(the inconsistency of the readout equipment, stochastic nature of the manifestation of influencing factors, the correlated action of forces, etc.), the results of such experiments carry a certain stochastic error. More advanced techniques and methods of information retrieval, of course, will lead to more accurate conclusions.*

*The second reason for the impossibility of an identical reproduction of the results of the full-scale experiment is errors in the measurement recording procedure. For example, we measure the wind speed  $V$  and the strength of the wind load  $f$  acting on the uncoupling during the dissolution from the hump at time  $t_0$ , which are distributed during looping in the intervals  $[V_0 - \Delta V_1, V_0 + \Delta V_2]$  and  $[f_0 - \Delta f_1, f_0 + \Delta f_2]$ . All measurements pass for some time interval  $[t_0 - \Delta t_1, t_0 + \Delta t_2]$ . At the output, some averaged values  $V_0$  and  $f_0$ , recorded at the time  $t_0 + \epsilon$ , are fixed. During some next act of the experiment, the effect can be exerted by factors that have been absent until now or are of little significance for the given experiment, but in the aggregate of their combined action, they can lead to a different result, which, in fact, occurs in real conditions. Under these conditions, the sensor will operate at time  $t_0 + \epsilon$ , processing a slightly different wind load graph in the range  $[t_0 - \Delta t_1, t_0 + \Delta t_2]$ . Statistical processing neutralizes such deviations, which by their chance have, as a rule, symmetrical distributions.*

*The use of the model instead of natural samples changes the general picture in a definite way, which is formed under the action of simplified model rules, the absence of random factors and the multiple correlation of their influence, etc. It can be quite easy to repeat the model experiment with the given initial conditions with a high probability of obtaining a result that coincides with the previous experiment. Therefore, with constant input data in the model, there is no need to conduct multiple observations – their results will be almost identical.*

*Fluctuations in the outcomes of full-scale experiments and the constancy of model reconstructions should theoretically be related in the sense that the result of the model experiment tends to the mathematical expectation of a significant statistical sample of full-scale data. A simple model of a relatively complex real technical system is considered as its some kind of substrate conglomerate, a «dry residue» from all complex, multilevel influences of various factors, in which there are only permanent, time-stable basic actions that are essential for correct performance of a technological operation in the range of tolerable deviations.*

*Naturally, the simplicity of the model is relative. For its use, the structure of objects must in some way reproduce physical and technological effects within the given limits of the values of real parameters, correctly imitate objective nonlinear processes (for example, with an arithmetic progression of the growth of the value of the parameter  $X_i$ , the geometric progression of the growth of the effect  $E_i$ , registered in reality).*

*The validity of the model experiment should be confirmed by comparative outcomes on natural*

objects. However, in addition to correctly reproducing the results of real experiments, the model is called upon to possess predictive capabilities. Otherwise, the utility of such a complex model with the reconstruction of physical effects is doubtful, since it is possible to carry out a full-scale experiment without it and to use the obtained results with guaranteed reliability for solving the necessary applied problem.

The engineering (process) model of the station must have a high similarity in its functional to the real prototype on the railway. The point is that the state of model objects changes according to mathematical calculations in the same direction as the change in the states of real station objects under the action of certain loads (gravitational force when rolling off the slides from the hump, the inertia force when the cars collide in sorting yard, resistance forces when braking the composition on hold devices, etc.). In this case, the quantitative effects observed on the model (speed of cars, length of the stopping distance) must correspond to the actually recorded phenomena arising under equal conditions. Some deviations of the desired values of the model parameters from prototyped processes are possible. More detailed structural and functional simulations narrow the domain of pre-emptive errors, allowing to form adequate models. «Inclusion» into the results of actions of special factors that dissipate the determined deterministic values of parameters in full compliance with real processes, further approximates the model to the outcomes of the full-scale experiment.

#### Advantages of experiment on 3D-models

Experiments on the visual model allow to concentrate on significant structural elements and technological operations, expertly evaluate the real process, ranking significant factors of mutual influence in the dynamics of phenomena. The 3D-model of the station should be considered as a visual reconstructive image, creating a comfortable environment for the researcher to study unknown patterns of interaction in wheel-rail systems, cargo car, locomotive-wagon, etc. Observation of the functioning of a pseudophysical model, adequate to a railway station, is perceived as an experiment on real objects, conducted in a safe environment, less labor-intensive, not requiring significant expenses for preparation for work that does not affect the activities of other units of the station [2, 3].

Such a reconstructive analog of a real station is represented as an isomorphic 3D-model of a station, seen on the display screen as a sequence of frames of changing objects. Visually, it is perceived as a video recording of a certain technological process performed on a real station. A high degree of detailing of external forms of original objects that are indistinguishable from the type of the corresponding prototypes is filled with a structural and functional similarity when the computer products of cars and tracks change their position under the influence of certain model calculated in full accordance with the parameters of real devices Loads. In this case, experiments on such isomorphic models after conducting verifying procedures can provide experimental studies with high confidence in the results obtained.

On isomorphic 3D-models of the station, it is possible to successfully study the states of objects in borderline and critical situations, when setting and carrying out similar tests in real conditions cannot be performed for safety reasons (for example, determining the zone of chemical damage in the event of an accident of railway rolling stock with hazardous loads of oxidizing, poisonous, infectious and other

substances, modeling of the derailment of cars from the track in the curve before a complex intersection with motor roads and railways; determination of a limit speed of the train with the specific circuit arrangement of empty and loaded cars in the train, universal and special cars during the passage of complex curves in the plan and profile).

Model physics will allow to reconstruct multiple direct and indirect effects of the action of mutually correlated conditions and factors, calculate and visualize the states of objects that are sufficiently remote in time from the positions of collision of objects. In this case, not only individual frames are recorded in detail, as in real filming, but the state of each point of the digital object is recorded, from which it is possible to take data at any time within the time scale of the calculated forces, stresses, and deformations. Since all critical situations occur for a very small period of time (seconds and fractions of seconds), the subsequent study of computer animation of an isomorphic model of the station with a time scale extension of 20 or more will allow a detailed analysis, identify particularly dangerous points and surfaces Interacting objects, time intervals that require structural reinforcement of elements, speed limits for certain combinations of physical quantities and so on.

The cost of developing an isomorphic 3D-model of the station is expected to be significant, the efforts of many specialists in the field of algorithmization, programming, computational mathematics, physics, system analysis, and experienced transport technologists are needed. However, the possibilities of such a model as a system environment are commensurable with the potential of a real technical system that provides studies of the laws governing the operation of objective connections by full-scale and statistical material. Model reproduction of technological processes will become an adequate substitute for full-scale experimentation with associated high costs, a complex mechanism for planning and controlling all phases of the experiment.

**Conclusions.** The engineering model of the station in form and content can be approximated to its prototype so that it can become a full-fledged substitute for obtaining certain statistical data on various problem aspects of the functioning of the transport system, studying complex phenomena arising from the action of unexplored factors (ultrahigh speeds, severe radioactive radiation, anomalous pressures and temperatures, etc.).

The dynamical 3D-model of a station becomes isomorphic in the absence of significant differences between simulating technological operations and real physical processes that generate these technological operations. At the same time, the possibilities of such a reproducing environment are greatly expanded, especially in the modeling of dangerous situations, which bring with high probability to crashes and accidents.

## REFERENCES

1. Sidnyaev, N. I., Vilisova, N. T. Introduction to the theory of experiment planning [Vvedenie v teoriyu eksperimentalnaya]. Moscow, Bauman MSTU, 2011, 463 p.
2. Golovnich, A. K. Physical properties of objects of 3D-station engineering model. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 4, pp. 25–34.
3. Golovnich, A. K. Technological properties of 3D-station engineering model. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 2, pp. 34–42. ●

Information about the author:

**Golovnich, Alexander K.** – D.Sc. (Eng.), head of department of Transport junctions of Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus, golovnich\_alex@mail.ru.

Article received 07.02.2017, accepted 21.04.2017.



# Эксплуатационные упругие свойства хаотически армированных трибокомполитов



**Владимир КОЛЕСНИКОВ**  
Vladimir I. KOLESNIKOV

**Владимир БАРДУШКИН**  
Vladimir V. BARDUSHKIN



**Александр СЫЧЁВ**  
Alexander P. SYCHEV

*Колесников Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, президент РГУПС, Ростов на Дону, Россия.*  
*Бардушкин Владимир Валентинович – доктор физико-математических наук, доцент, профессор НИУ «МИЭТ», Москва, Россия.*  
*Сычёв Александр Павлович – кандидат физико-математических наук, доцент РГУПС, Ростов на Дону, Россия.*

## Operational Elastic Properties of Chaotically Reinforced Tribocomposites

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 43)

**Решена задача прогнозирования эксплуатационных упругих свойств композитов на основе связующих с высоким содержанием эпоксидных групп (марка ЭПАФ и её модификация), хаотически армированных короткими полиимидными (или стеклянными) волокнами с антифрикционными дисперсными добавками политетрафторэтилена. Проведены численные модельные расчёты эффективных упругих характеристик (модуля Юнга и коэффициента Пуассона) указанных трибокомполитов, учитывающие изменения концентраций их компонентов.**

*Ключевые слова:* транспортное машиностроение, моделирование, трибокомполит, включение, эпоксидное связующее, эффективные модули упругости.

**К**омпозиты на полимерной основе, состоящие из дискретных включений и окружающей их сплошной матрицы (связующего), находят широкое практическое применение в транспортном машиностроении, например, в узлах трения и сопряжения. Армирование указанных материалов часто производится включениями неизометричной формы (волокна, диски и т.п.), специальным образом ориентированными в пространстве композита. Поскольку технологии их создания довольно дорогостоящи, возникает необходимость в разработке методов моделирования структуры, подбора компонентов и прогнозирования их влияния на эксплуатационные физико-механические свойства проектируемых материалов [1–4].

Для получения высокопрочных и теплоустойчивых полимерных трибокомполитов наиболее перспективными связующими являются эпоксидные смолы с высоким содержанием эпоксидных групп – от 28 до 54 % (это в 1,5–2,5 раза выше, чем у наиболее часто применяемой в промышленности отечественной смолы марки ЭД-20 или ее аме-

риканского аналога DER-330) [5]. В этой статье приведены результаты исследований прочностных и теплофизических показателей эпоксидных связующих на основе триглицидилпарааминофенола – смол марок ЭПАФ и ЭПАФ-м (смола ЭПАФ-м модифицирована диглицидиловым эфиром DL-камфорной кислоты в соотношении 60:40). Содержание эпоксидных групп у ЭПАФ составляет 38 %, а у ЭПАФ-м – 30 %. Также в работе [5] показано, что отверждённые полимеры на основе исследованных смол достигают максимальных значений физико-механических показателей для описанных в литературе эпоксидных материалов подобного класса.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ

В данной работе ставится задача прогнозирования эксплуатационных упругих свойств трибокомполитов при наличии в них эпоксидных смол с высоким содержанием эпоксидных групп с антифрикционными дисперсными добавками и хаотически распределёнными в пространстве материала рублеными короткими волокнами. В основе решения указанной задачи лежит вычисление их эффективных (эксплуатационных) упругих свойств [2, 4, 6]. Эти свойства определяются с помощью тензора четвертого ранга  $c^*$  («\*» здесь и далее указывает на то, что рассматриваются эффективные характеристики композитов), связывающего средние значения напряжений  $\langle s_{ij}(r) \rangle$  и деформаций  $\langle e_{kl}(r) \rangle$  в материале:

$$\langle s_{ij}(r) \rangle = (c^*)_{ijkl} \langle e_{kl}(r) \rangle, \quad i, j, k, l = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус-вектор случайной точки среды, угловые скобки здесь и далее определяют процедуру усреднения. Отметим, что для многокомпонентного композита в случае выполнения условия эргодичности можно использовать усреднение по объёму (для каждого его компонента) [6]. Тогда операция усреднения по всему объёму материала для некоторой случайной величины  $a(r)$  сводится к суммированию:

$$\langle \sigma a(r) \rangle = \sum_s V_s \langle a_s(r) \rangle, \quad (2)$$

где  $V_s$  – объёмная концентрация компонента  $s$ -го типа, а  $a_s(r)$  – соответствующая указанному компоненту случайная величина,  $\sum_s V_s = 1$ .

Для проведения корректного анализа эффективных упругих свойств композитов,

позволяющего учитывать взаимодействие элементов неоднородности, состав, форму, ориентацию и концентрацию компонентов, необходимо решать уравнения равновесия упругой неоднородной среды. Однако в общем случае получить соотношение для численных расчётов тензора эффективных модулей упругости  $c^*$  не удастся. Поэтому для его вычисления используются различные приближения. Одним из таких приближений, учитывающих перечисленные выше факторы, является обобщенное сингулярное приближение теории случайных полей [6]. В его рамках используется только сингулярная составляющая тензора Грина уравнений равновесия, зависящая лишь от дельта-функции Дирака, а также вводится однородное тело сравнения, материальные константы которого входят в окончательное выражение для вычисления  $c^*$ . Физический смысл обобщенного сингулярного приближения заключается в предположении однородности полей напряжений и деформаций в пределах элемента неоднородности. В этом случае выражение для  $c^*$  в (1) имеет следующий вид (индексы опущены) [6]:

$$c^* = \langle c(r)(I - g(r)c''(r))^{-1} \rangle \cdot \langle (I - g(r)c''(r))^{-1} \rangle^{-1}, \quad (3)$$

где  $I$  – единичный тензор четвертого ранга;  $c(r)$  – тензор модулей упругости; двумя штрихами обозначена разность  $c''(r) = c(r) - c^*$  между соответствующими параметрами неоднородной среды и однородного тела сравнения (характеристики тела сравнения обозначаются далее верхним индексом «с»);  $g(r)$  – интеграл от сингулярной составляющей второй производной тензора Грина уравнений равновесия, являющийся тензором четвертого ранга. Для вычисления компонента  $g_{ijkl}$  тензора  $g(r)$  необходимо вначале осуществить расчёты компонента  $a_{ijkl}$  тензора четвертого ранга  $A$ , а затем в  $a_{ijkl}$  по двум парам индексов ( $i, j$  и  $k, l$ ) провести операцию симметризации [6]. Компоненты  $a_{ijkl}$  тензора  $A$  вычисляются с помощью следующего соотношения:

$$a_{ijkl} = -\frac{1}{4\pi} \int n_k n_j (t^{-1})_{il} d\Omega, \quad (4)$$

где  $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$  – элемент телесного угла в сферической системе координат,  $(t^{-1})_{il}$  – элементы матрицы, обратной матрице  $T$  с элементами  $t_{il} = (c^c)_{ijkl} n_k n_j$ , а  $n_k$  и  $n_j$  ( $k, j = 1, 2, 3$ ) – компоненты вектора внешней норма-



Физико-механические свойства компонентов трибокомпозигов [1, 5, 7–10]

Тип компонента	Материал компонента	E, ГПа	n	г, г/см <sup>3</sup>
1	ПТФЭ	0,15	0,33	2,20
2	АРИМИД БЩС	120,0	0,36	1,45
		76,2	0,22	2,54
3	ЭПАФ ЭПАФ-м ЭД-20	5,4	0,46	1,30
		4,6	0,42	1,24
		3,8	0,39	1,18

ли к поверхности включения. Для эллипсоидальных включений с главными полуосями  $l_1, l_2$  и  $l_3$  компоненты вектора нормали определяются соотношениями

$$n_1 = (l_1)^{-1} \sin\theta \cos\varphi, \quad n_2 = (l_2)^{-1} \sin\theta \sin\varphi, \\ n_3 = (l_3)^{-1} \cos\theta.$$

Соотношение (3) может быть использовано для расчёта эффективных характеристик статистически однородных матричных композитов с включениями эллипсоидальной формы, ориентированными друг относительно друга [2].

### ПРОВЕДЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЁТОВ

Далее в работе рассматриваются композиты с включениями двух типов. К первому типу относятся дисперсные включения политетрафторэтилена (ПТФЭ), равномерно распределенные в пространстве композита и выполняющие антифрикционную роль. Ко второму типу относятся рубленые короткие волокна, хаотически распределенные в пространстве композита и выполняющие функцию его упрочнения. Отдельно исследуются композиты, наполненные: а) высокотермоогнестойкими полиимидными волокнами (марка АРИМИД, ТУ 2272–034–17277875–2003, изготовитель – ООО «ЛИРСОТ», г. Мытищи); б) волокнами бесщелочного стекла (БЩС). В качестве матрицы – компонент третьего типа – рассматриваются эпоксидные связующие ЭПАФ, ЭПАФ-м и ЭД-20. Связующее ЭД-20 рассмотрено для проведения сравнительного анализа эксплуатационных упругих характеристик трибокомпозигов на его основе и на основе смол ЭПАФ, ЭПАФ-м. Физико-механические свойства компонентов трибокомпозигов приведены в таблице 1 ( $E$  – модуль Юнга при сжатии,  $n$  – коэффициент Пуассона,  $\rho$  – плотность).

При построении модели прогнозирования эффективных упругих свойств рассматриваемых материалов будем основываться

на представлении их структуры в виде статистически однородных матричных композитов. Армирование композитов производится включениями в виде сфер одинакового радиуса  $R$  и в виде равных друг другу вытянутых эллипсоидов вращения ( $l_1, l_2$  и  $l_3$  – полуоси этих эллипсоидов, большая из которых имеет длину  $L$ ). При этом эллипсоиды ориентированы своей большей полуосью в пространстве композита в семи различных направлениях (относительно лабораторной системы координат). А именно, параллельно координатным осям (три направления) и параллельно прямым, образующим равные углы со всеми координатными осями (четыре направления). Кроме того, будем считать, что модельные композиты состоят из изотропных компонентов с объёмными концентрациями  $V_1, V_2$  и  $V_3$ , где индекс «1» относится к ПТФЭ, индекс «2» – к волокнам (АРИМИД или БЩС), а «3» – к связующим (ЭПАФ, ЭПАФ-м или ЭД-20).

С учетом (2) расчётное соотношение (3) для тензора эффективных модулей упругости  $c^*$  примет следующий вид:

$$c^* = \left( \sum_s V_s c_s (I - g_s (c_s - c^c))^{-1} \right) \cdot \left( \sum_s V_s (I - g_s (c_s - c^c))^{-1} \right)^{-1}. \quad (5)$$

В формуле (5)  $c_s$  и  $c^c$  – тензоры модулей упругости  $s$ -го компонента композита и однородного тела сравнения соответственно;  $g_s$  – это тензор  $g(r)$   $s$ -го компонента композита, вычисляемый по соотношению (4). При этом  $g_1$  соответствует сферическим включениям ( $l_1 = l_2 = l_3 = R = 1$ );  $g_2$  соответствует эллипсоидальным включениям (волокнам), ориентированным относительно осей координат вдоль указанных выше семи направлений, с главной полуосью  $L = 50$  и остальными полуосями, равными 1;  $g_3$  – связующему (при вычислении  $g_3$  полагалось, что  $l_1 = l_2 = l_3 = 1$ ). Будем считать также, что объёмные содержания эллипсоидальных



включений в каждом из семи указанных направлений одинаковы и равны  $V_2/7$ .

Для проведения модельных расчётов при операциях над тензорами использовалась их матричная форма записи [6]. При этом ненулевые элементы  $c_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 6$ ) симметрической матрицы тензора модулей упругости  $c$  для изотропного материала выражаются через модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  следующим образом:

$$c_{11} = c_{22} = c_{33} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)};$$

$$c_{44} = c_{55} = c_{66} = \frac{E}{2(1+\nu)};$$

$$c_{12} = c_{21} = c_{13} = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}.$$

При вычислении упругих характеристик однородного тела сравнения использовался метод самосогласования [6, 11]. С этой целью в работе была организована итерационная процедура, в которой в качестве параметров  $c^c$  тела сравнения брались значения тензора модулей упругости (в матричной форме записи), полученные на предыдущем шаге итерации. В качестве начальных значений параметров тела сравнения брались упругие характеристики, полученные в приближении Хилла, т.е. среднего арифметического значений, полученных в приближениях Ройсса и Фойгта [6, 11]. Выход из итерационной процедуры осуществлялся, когда максимальная разница между модулями  $c^c$  составляла менее 0,01.

Результаты всех модельных расчётов приведены далее относительно процентных концентраций  $m_s$  ( $s = 1, 2, 3$ ) элементов неоднородности по массе, связанных с объёмными концентрациями и плотностями компонентов композита с помощью формулы

$$m_s = \frac{V_s \rho_s}{\sum_i V_i \rho_i} \cdot 100, \text{ мас. \%}.$$

Численное моделирование, проведенное по соотношению (5) для различных значений концентраций включений, показало, что рассматриваемые в работе композиты обладают изотропией эффективных упругих свойств [6]. Таким образом, расчёты тензора эффективных модулей упругости  $c^*$  полностью подтвердили те предположения, которые можно было выдвинуть заранее,

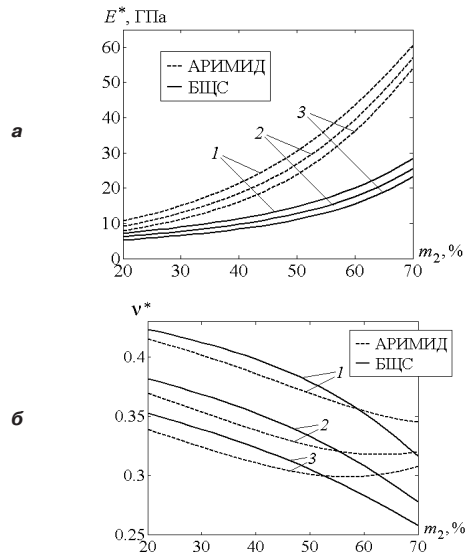


Рис. 1. Изменение эксплуатационных упругих свойств трибокомпозитов при увеличении процентного содержания  $m_2$  волокон (АРИМИД или БПС) и фиксированной концентрации  $m_1 = 10\%$  ПТФЭ: 1 – ЭПАФ, 2 – ЭПАФ-м, 3 – ЭД-20.

исходя из структуры рассматриваемых материалов.

На рис. 1 и 2 приведены результаты численных расчётов значений эксплуатационных упругих характеристик – модуля Юнга  $E^*$  и коэффициента Пуассона  $\nu^*$  – модельных трибокомпозитов от изменений процентных

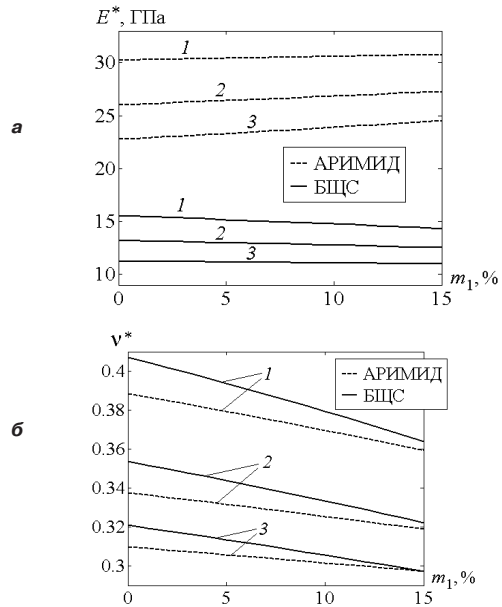


Рис. 2. Изменение эксплуатационных упругих свойств трибокомпозитов при увеличении процентного содержания  $m_1$  ПТФЭ и фиксированной концентрации  $m_2 = 50\%$  волокон (АРИМИД или БПС): 1 – ЭПАФ, 2 – ЭПАФ-м, 3 – ЭД-20.





содержаний волокон (АРИМИД или БЩС) и дисперсных включений ПТФЭ.

Эксплуатационные упругие характеристики  $E^*$  и  $\nu^*$  вычислялись через элементы матрицы  $c^*$  с помощью следующих формул [6]:

$$E^* = \frac{c_{44}^*(3c_{12}^* + 2c_{44}^*)}{c_{12}^* + c_{44}^*}; \nu^* = \frac{c_{12}^*}{2(c_{12}^* + c_{44}^*)}.$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований можно заключить следующее.

1. Применение в качестве связующих смол с высоким содержанием эпоксидных групп приводит к существенному улучшению эксплуатационных упругих свойств трибокомпозитов по сравнению с материалами на основе других полимерных связующих (см. рис. 1, 2 и [4]).

2. Увеличение концентрации волокон при фиксированном содержании включений ПТФЭ приводит к росту значений  $E^*$ , при этом характер зависимости — нелинейный (рис. 1а). Увеличение же концентрации дисперсных включений ПТФЭ при фиксированном содержании волокон может приводить как к незначительному росту (при использовании волокон АРИМИД), так и к незначительному снижению значений  $E^*$  (при использовании волокон БЩС). При этом характер зависимости близок к нелинейному (рис. 2а).

3. Увеличение концентрации волокон АРИМИД при фиксированном содержании включений ПТФЭ приводит к немонотонному изменению значений коэффициента Пуассона  $\nu^*$  (рис. 1б). Увеличение же процентного содержания дисперсных антифрикционных добавок ПТФЭ при фиксированной концентрации волокон АРИМИД приводит к незначительному снижению значений  $\nu^*$  по закону, близкому к линейному (рис. 2б).

4. Увеличение концентрации как волокон БЩС, так и дисперсных антифрикционных добавок ПТФЭ приводит к монотонному уменьшению значений коэффициента Пуассона  $\nu^*$  (рис. 1б, 2б).

5. Поскольку вариация процентного содержания волокон (АРИМИД или БЩС) приводит к более значительному изменению эксплуатационных упругих характеристик трибокомпозитов, чем вариация концентрации включений ПТФЭ, необходимы дополнительные экспериментальные и теоретические исследования по оптимизации концентрации как ПТФЭ, так и волокон с целью максимального улучшения трибохарактеристик рассматриваемых композитов без существенного ухудшения их упруго-прочностных показателей. Сказанное особенно важно для трибокомпозитов, работающих в тяжело нагруженных узлах трения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машков Ю. К., Овчар З. Н., Байбарацкая М. Ю., Мамаев О. А. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. — М.: Недра, 2004. — 261 с.
2. Колесников В. И., Бардушкин В. В., Яковлев В. Б., Сычёв А. П., Колесников И. В. Микромеханика поликристаллов и композитов (напряженно-деформированное состояние и разрушение). — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2012. — 288 с.
3. Бардушкин В. В., Колесников И. В., Сычёв А. П. Объёмная плотность энергии деформации в антифрикционных композитах // Мир транспорта. — 2011. — № 5. — С. 12–17.
4. Бардушкин В. В., Сычёв А. П., Яковлев В. Б., Лапицкий А. В. Прогнозирование эксплуатационных упругих свойств хаотически армированных полимерных композитов с антифрикционными дисперсными добавками // Вестник машиностроения. — 2015. — № 10. — С. 44–47.
5. Лапицкий А. В. Эпоксидные полимерные матрицы для высокопрочных и теплостойких композитов // Клеи. Герметики. Технологии. — 2010. — № 2. — С. 12–15.
6. Шермергор Т. Д. Теория упругости микронеоднородных сред. — М.: Наука, 1977. — 399 с.
7. Лапицкий В. А., Крицук А. А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков. — Киев: Наукова думка, 1986. — 92 с.
8. Физические величины: Справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.
9. Зеленский Э. С., Куперман А. М., Горбаткина Ю. А., Иванова-Мумжиева В. Г., Берлин А. А. Армированные пластики — современные конструкционные материалы // Российский химический журнал. — 2001. — Т. XLV. — № 2. — С. 56–74.
10. Гутников С. И., Лазорьяк Б. И., Селезнев А. Н. Стекланные волокна. — М.: МГУ, 2010. — 53 с.
11. Паньков А. А. Методы самосогласования механики композитов. — Пермь: Изд-во Пермского гос. техн. ун-та, 2008. — 253 с.

Координаты авторов: Колесников В. И. — kvi@rgups.ru, Бардушкин В. В. — bardushkin@mail.ru, Сычёв А. П. — aleks\_sap@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.01.2017, принята к публикации 28.02.2017.

Исследование В. И. Колесникова и А. П. Сычёва выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 14–29–00116) в Ростовском государственном университете путей сообщения.

# OPERATIONAL ELASTIC PROPERTIES OF CHAOTICALLY REINFORCED TRIBOCOMPOSITES

**Kolesnikov, Vladimir I.**, Rostov State Transport University (RSTU), Rostov on Don, Russia.  
**Bardushkin, Vladimir V.**, National Research University MIET, Moscow, Russia.  
**Sychev, Alexander P.**, Rostov State Transport University (RSTU), Rostov on Don, Russia.

## ABSTRACT

The problem of predicting the operational elastic properties of composites based on binders with a high content of epoxy groups (the grade of EPAF and its modification), chaotically reinforced with short polyimide (or glass) fibers with antifriction disperse

additives of polytetrafluoroethylene was solved. Numerical model calculations of the effective elastic characteristics (Young's modulus and Poisson's ratio) of these tribocomposites were made taking into account changes in the concentrations of their components.

**Keywords:** transport engineering, modeling, tribocomposite, inclusion, epoxy binder, effective elastic moduli.

**Background.** Composites on a polymer basis, consisting of discrete inclusions and the surrounding solid matrix (binder) find wide practical application in transport engineering, for example, in friction and conjugation nodes. Reinforcement of these materials is often made by inclusions of non-isometric shape (fibers, disks, etc.) by the composite specially oriented in the space. Since the technologies for their creation are quite expensive, there is a need to develop methods for modeling the structure, selecting components and predicting their effect on the operational physical and mechanical properties of the materials being designed [1–4].

To obtain high-strength and heat-resistant polymeric tribocomposites, epoxy resins with a high content of epoxy groups – from 28 to 54 % (this is 1,5–2,5 times higher than for the most commonly used in the industry domestic resin brand ED-20 or its American counterpart DER-330) [5]. In the same article, the results of studies of strength and thermophysical parameters of epoxy binders based on triglycidylparaminaminophenol resins of the grades of EPAF and EPAF-m (EPAP-m resin modified with diglycidyl ether of DL-camphoric acid in a ratio of 60: 40) are presented. The content of epoxy groups in EPAP is 38 %, and in EPAP-m – 30 %. It was also shown in [5] that cured polymers on the basis of the investigated resins reach the maximum values of physico-mechanical parameters for epoxy materials of this class described in the literature.

**Objective.** The objective of the authors is to consider operational elastic properties of chaotically reinforced tribocomposites.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, mathematical calculations, comparative analysis.

## Results.

### Statement of the problem and construction of the model

In this paper, the problem of predicting the operational elastic properties of tribocomposites based on epoxy resins with a high content of epoxy groups with antifriction dispersed additives and chaotically distributed in the space material by chopped short fibers is solved. The solution of this problem is based on the calculation of their effective (operational) elastic properties [2, 4, 6]. These properties are determined by means of the fourth-rank tensor  $c^*$  («\*» here and further indicates that the effective characteristics of the

composites are considered), which connects the mean values of the stresses  $\langle \sigma_{ij}(r) \rangle$  and the deformations  $\langle \varepsilon_{kl}(r) \rangle$  in the material:

$$\langle \sigma_{ij}(r) \rangle = (c^*)_{ijkl} \langle \varepsilon_{kl}(r) \rangle, \quad i, j, k, l = 1, 2, 3, \quad (1)$$

where  $r$  – radius vector of the random point of the medium, the angle brackets here and below determine the averaging procedure. We note that for a multicomponent composite, if the ergodicity condition is satisfied, averaging over the volume (for each component of it) can be used [6]. Then the averaging operation over the entire volume of the material for some random variable  $a(r)$  reduces to summation:

$$\langle \sigma a(r) \rangle = \sum_s V_s \langle a_s(r) \rangle, \quad (2)$$

where  $V_s$  – volume concentration of the  $s$ -th type component, and  $a_s(r)$  – random variable corresponding to the specified component,

$$\sum_s V_s = 1.$$

To carry out a correct analysis of effective elastic properties of composites, allowing for interaction of elements of heterogeneity, composition, shape, orientation and concentration of components, it is necessary to solve the equilibrium equations for an elastic inhomogeneous medium. However, in general case it is not possible to obtain a relation for numerical calculations of the tensor of the effective elastic moduli  $c^*$ . Therefore, various approximations are used to calculate it. One of these approximations, taking into account the factors enumerated above, is the generalized singular approximation of the theory of random fields [6]. It uses only the singular component of the Green's tensor of equilibrium equations, depending only on the Dirac delta function, and also introduces a homogeneous comparison body which material constants enter the final expression for computing  $c^*$ . The physical meaning of the generalized singular approximation is the assumption that the fields of stress and strains are homogeneous within the element of inhomogeneity. In this case, the expression for  $c^*$  in (1) has the following form (the indices are omitted) [6]:

$$c^* = \langle c(r)(I - g(r)c''(r))^{-1} \rangle \langle (I - g(r)c''(r))^{-1} \rangle^{-1}, \quad (3)$$

where  $I$  – unit tensor of the fourth rank;  $c(r)$  – elastic modulus tensor; two dashes denote the



Physico-mechanical properties of tribocomposite components [1, 5, 7–10]

Type of component	Material of component	E, GPa		$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>
1	PTFE	0,15	0,33	2,20
2	ARIMID AFG	120,0 76,2	0,36 0,22	1,45 2,54
3	EPAF EPAF-m ED-20	5,4 4,6 3,8	0,46 0,42 0,39	1,30 1,24 1,18

difference  $c''(r) = c(r) - c^c$  between the corresponding parameters of inhomogeneous medium and homogeneous comparison body (characteristics of the comparison body are denoted below by the superscript «c»);  $g(r)$  – integral of the singular component of the second derivative of the Green’s tensor of the equilibrium equations, which is a fourth-rank tensor. To calculate the components  $g_{ijkl}$  of the tensor  $g(r)$ , it is first necessary to perform calculations of the components  $a_{ijkl}$  of the fourth-rank tensor  $A$ , and then perform a symmetrization operation in  $a_{ijkl}$  with respect to two pairs of indices ( $i, j$  and  $k, l$ ) [6]. The components  $a_{ijkl}$  of the tensor  $A$  are calculated using the following relation:

$$a_{ijkl} = -\frac{1}{4\pi} \int n_k n_j (t^{-1})_{il} d\Omega, \quad (4)$$

where  $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$  – solid angle element in the spherical coordinate system,  $(t^{-1})_{il}$  – elements of the matrix inverse to the matrix  $T$  with elements  $t_{il} = (c^c)_{ijkl} n_k n_j$ ,  $a_n$  and  $n_j$  ( $k, j = 1, 2, 3$ ) – components of the exterior normal vector to the inclusion surface. For ellipsoidal inclusions with principal semiaxes  $l_1, l_2$  and  $l_3$ , the components of the normal vector are determined by the relations  $n_1 = (l_1)^{-1} \sin\theta \cos\varphi$ ,  $n_2 = (l_2)^{-1} \sin\theta \sin\varphi$ ,  $n_3 = (l_3)^{-1} \cos\theta$ .

Equation (3) can be used to calculate the effective characteristics of statistically homogeneous matrix composites with ellipsoidal inclusions oriented relative to each other [2].

**Carrying out model calculations**

Composites with inclusions of two types are then considered. The first type includes dispersed inclusions of polytetrafluoroethylene (PTFE), evenly distributed in the space of the composite and performing an antifriction role. The second type includes chopped short fibers randomly distributed in the space of the composite and performing the function of hardening it. Separate study is carried out for composites filled with: a) high-heat-resistant polyimide fibers (ARIMID brand, TU2272–034–17277875–2003, manufactured by LLC LIRSOT, Mytischii); b) fibers of alkali-free glass (AFG). As a matrix – a component of the third type – epoxy binders of EPAF, EPAF-m and ED-20 are considered. The binder ED-20 is considered for carrying out a comparative analysis of the operational elastic characteristics of tribocomposites based on it and on the basis of EPAF and EPAF-m resins. The physical and mechanical properties of tribocomposite components are given in Table 1 ( $E$  – Young’s modulus for compression,  $\nu$  – Poisson’s ratio,  $\rho$  – density).

When constructing a model for predicting the effective elastic properties of the materials in question, we will base our analysis on the representation of their structure in the form of statistically homogeneous matrix composites. Reinforcement of composites is made by inclusions in the form of spheres of the same radius  $R$  and in the form of elongated ellipsoids of revolution ( $l_1, l_2$  and  $l_3$  – semi-axes of these ellipsoids, the largest of which is of length  $L$ ). In this case, the ellipsoids are oriented with their larger semiaxis in the space of the composite in seven different directions (relative to the laboratory coordinate system). Namely, parallel to the coordinate axes (three directions) and parallel to the straight lines, forming equal angles with all coordinate axes (four directions). In addition, we will assume that the model composites consist of isotropic components with volume concentrations  $V_1, V_2$  and  $V_3$ , where the index «1» refers to PTFE, the index «2» refers to fibers (ARIMID or AFG), and «3» refers to binding agent (EPAF, EPAF-m or ED-20).

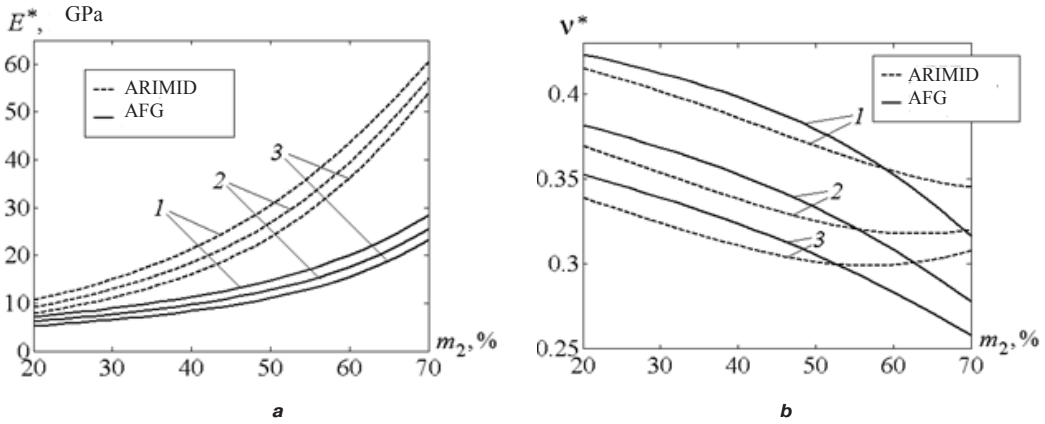
Taking into account (2), the calculated relation (3) for the elastic modulus tensor  $c^*$  takes the following form:

$$c^* = \left( \sum_s V_s c_s (I - g_s (c_s - c^c))^{-1} \right) \cdot \left( \sum_s V_s (I - g_s (c_s - c^c))^{-1} \right)^{-1}. \quad (5)$$

In formula (5),  $c_s$  and  $c^c$  are the elastic moduli tensors of the  $s$ -th component of the composite and the homogeneous reference body, respectively;  $g_s$  is the tensor  $g(r)$  of the  $s$ -th component of the composite, calculated from the relation (4). In this case,  $g_1$  corresponds to spherical inclusions ( $l_1 = l_2 = l_3 = R = 1$ );  $g_2$  corresponds to ellipsoidal inclusions (fibers) oriented with respect to the coordinate axes along the seven directions indicated above, with the main semiaxis  $L = 50$  and the remaining semiaxes equal to 1;  $g_3$  refers to the binder (in calculating  $g_3$  it was assumed that  $l_1 = l_2 = l_3 = 1$ ). We will also assume that the volume contents of the ellipsoidal inclusions in each of the seven indicated directions are the same and are equal to  $V_2/7$ .

To carry out model calculations in operations on tensors the matrix form of their recording was used [6]. The nonzero elements  $c_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 6$ ) of the symmetric matrix of the elastic modulus tensor  $c$  for an isotropic material are expressed in terms of the Young’s modulus  $E$  and Poisson’s ratio  $\nu$  as follows:

$$c_{11} = c_{22} = c_{33} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)};$$



**Pic. 1. Change in operational elastic properties of tribocomposites with an increase in the percentage of  $m_2$  fibers (ARIMID or AFG) and fixed concentration  $m_1 = 10\%$  PTFE: 1 – EPAF, 2 – EPAF-m, 3 – ED-20.**

$$c_{44} = c_{55} = c_{66} = \frac{E}{2(1+\nu)};$$

$$c_{12} = c_{21} = c_{13} = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}.$$

In calculating the elastic characteristics of a homogeneous comparison body, the self-consistency method was used [6; 11]. To this end, an iterative procedure was organized in which the values of the elastic modulus tensor (in the matrix form of recording) obtained at the previous step of the iteration were taken as parameters  $c^0$  of the comparison body. As initial values of the parameters of the comparison body, the elastic characteristics obtained in the Hill approximation were taken, i.e. arithmetic mean values obtained in the Reuss and Voigt approximations [6; 11]. The exit from the iterative procedure was performed when the maximum difference between the  $c^0$  modules was less than 0,01.

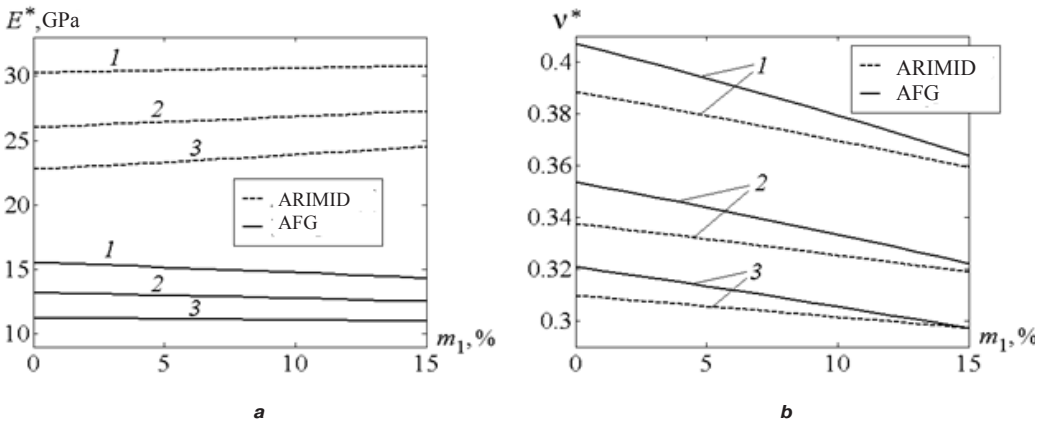
The results of all model calculations are given below with respect to the percentage concentrations  $m_s$  ( $s = 1, 2, 3$ ) of the heterogeneity elements

according to mass, associated with the volume concentrations and densities of the composite components using formula

$$m_s = \frac{V_s \rho_s}{\sum_i V_i \rho_i} \cdot 100, \text{ mas. \%}.$$

Numerical simulation based on the relation (5) for different values of the inclusions concentrations has shown that the composites considered in this work have an isotropy of effective elastic properties [6]. Thus, the calculations of the tensor of the effective moduli of elasticity  $c^*$  fully confirmed those assumptions that could be advanced, starting from the structure of the materials under consideration.

Pic. 1 and 2 show the results of numerical calculations of the values of the operational elastic characteristics – the Young's modulus  $E^*$  and the Poisson's ratio  $\nu^*$  – model tribocomposites from changes in the percentage contents of the fibers (ARIMID or AFG) and dispersed PTFE inclusions.



**Pic. 2. Change in operational elastic properties of tribocomposites with increasing percentage of  $m_1$  of PTFE and fixed concentration  $m_2 = 50\%$  of fibers (ARIMID or AFG): 1 – EPAF, 2 – EPAF-m, 3 – ED-20.**





The operational elastic characteristics  $E^*$  and  $\nu^*$  were calculated through the elements of the matrix  $c^*$  using the following formulas [6]:

$$E^* = \frac{c_{44}^*(3c_{12}^* + 2c_{44}^*)}{c_{12}^* + c_{44}^*};$$

$$\nu^* = \frac{c_{12}^*}{2(c_{12}^* + c_{44}^*)}.$$

**Conclusion.** On the basis of the conducted researches it is possible to conclude the following.

1. Application of resins with a high content of epoxy groups as binders leads to a significant improvement in operational elastic properties of tribocomposites in comparison with materials based on other polymer binders (see Pic. 1, 2 and [4]).

2. An increase in concentration of fibers at a fixed content of PTFE inclusions leads to an increase in the  $E^*$  values, while the character of the dependence is nonlinear (Pic. 1a). An increase in the concentration of dispersed inclusions of PTFE at a fixed fiber content can lead to both a slight growth (when using ARIMID fibers) and to a slight decrease in the  $E^*$  values (using AFG fibers). The character of the dependence is close to nonlinear (Pic. 2a).

3. An increase in concentration of ARIMID fibers with a fixed content of PTFE inclusions leads to a nonmonotonic change in the values of the Poisson's ratio  $\nu^*$  (Pic. 1b). An increase in the percentage content of disperse antifriction additives of PTFE at a fixed concentration of ARIMID fibers leads to a slight decrease in the values of  $\nu^*$  according to a law close to linear (Pic. 2b).

4. An increase in concentration of both AFG fibers and dispersed antifriction additives of PTFE leads to a monotonous decrease in the values of the Poisson's ratio  $\nu^*$  (Pic. 1b, 2b).

5. Since the variation in the percentage of fibers (ARIMID or AFG) results in a more significant change in operational elastic characteristics of tribocomposites than the variation in the concentration of PTFE inclusions, additional experimental and theoretical studies are needed to optimize the concentration of both PTFE and fibers in order to maximize the tribocharacteristics of the composites under consideration without significant deterioration of their elastic-strength indicators. This is especially important for tribocomposites operating in heavily loaded friction nodes.

## REFERENCES

1. Mashkov, Yu. K., Ovchar, Z. N., Baibaratskaya, M. Yu., Mamaev, O. A. Polymer composite materials in tribotechnics [Polimernye kompozicionnye materialy v tribotekhnike]. Moscow, Nedra publ., 2004, 261 p.
2. Kolesnikov, V. I., Bardushkin, V. V., Yakovlev, V. B., Sychev, A. P., Kolesnikov, I. V. Micromechanics of polycrystals and composites (stress-strain state and destruction) [Mikromekhanika polikristallov i kompozitov (naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie i razrushenie)]. Rostov-on-Don, RSTU publ., 2012, 288 p.
3. Bardushkin, V. V., Kolesnikov, I. V., Sychev, A. P. Volume Density of Strain Energy in Antifrictional Composites. *World of Transport and Transportation*, Vol. 9, 2011, Iss. 5, pp. 12–17.
4. Bardushkin, V. V., Sychev, A. P., Yakovlev, V. B., Lapitsky, A. V. Forecasting the operational elastic properties of chaotically reinforced polymeric composites with antifriction dispersed additives [Prognozirovaniye ekspluatatsionnykh uprugih svoystv haoticheski armirovannykh polimernykh kompozitov s antifriktsionnymi dispersnyimi dozvavkami]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2015, Iss. 10, pp. 44–47.
5. Lapitsky, A. V. Epoxy polymer matrices for high-strength and heat-resistant composites [Epoksidnye polimernye matricy dlya vysokoprochnykh i teplostojkikh kompozitov]. *Klei. Germetiki. Tehnologii*, 2010, Iss. 2, pp. 12–15.
6. Shermergor, T. D., Theory of Elasticity of Microinhomogeneous Media [Teoriya uprugosti mikroneodnorodnykh sred]. Moscow, Nauka publ., 1977, 399 p.
7. Lapitsky, V. A., Kritsuk, A. A. Physical and mechanical properties of epoxy polymers and fiberglass [Fiziko-mekhanicheskie svoystva epoksidnykh polimerov i stekloplastikov]. Kiev, Naukova dumka publ., 1986, 92 p.
8. Physical quantities: Handbook [Fizicheskie velichiny: Spravochnik]. Ed. by I. S. Grigoriev, E. Z. Meilikhov. Moscow, Energoatomizdat publ., 1991, 1232 p.
9. Zelenskiy, E. S., Kuperman, A. M., Gorbatkina, Yu. A., Ivanova-Mumzhieva, V. G., Berlin, A. A. Reinforced plastics – modern construction materials [Armirovannye plastiki – sovremennye konstruktsionnye materialy]. *Ros. him. Zh. (Zh. Ros. him. obzh-va im. D. I. Mendeleeva)*, 2001, Vol. XLV, Iss. 2, pp. 56–74.
10. Gutnikov, S. I., Lazoryak, B. I., Seleznev, A. N. Glass fibers [Stekljannye volokna]. Moscow, MSU publ., 2010, 53 p.
11. Pankov, A. A. Methods of self-consistency of the mechanics of composites [Metody samosoglasovaniya mehaniki kompozitov]. Perm, Publishing House of Perm State Technical University, 2008, 253 p. ●

Information about the authors:

**Kolesnikov, Vladimir I.** – D.Sc. (Eng.), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, head of the department of Theoretical Mechanics, president of Rostov State Transport University (RSTU), Rostov on Don, Russia, kvi@rgups.ru.

**Bardushkin, Vladimir V.** – D.Sc. (Physics and Mathematics), associate professor, professor of the departments Higher Mathematics No. 2 and System Quality Environment of National Research University MIET, Moscow, Russia, bardushkin@mail.ru.

**Sychev, Alexander P.** – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor of the department of Theoretical Mechanics of Rostov State Transport University (RSTU), Rostov on Don, Russia, aleks\_sap@mail.ru.

Article received 17.01.2017, accepted 28.02.2017.

The research of V. I. Kolesnikov and A. P. Sychev was carried out thanks to the grant of the Russian Science Foundation (project No. 14–29–00116) at Rostov State Transport University.

# T

## ТРАМВАЙ 48

*Краков: ускоренный ремонт путей.*



## ВАГОНЫ 60, 82

*Снижение вибрации кузова.  
Контроль тормозной системы.*

## ТКХ 74

*Автомобили на рельсах.  
И не только.*

НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING

## TRAM 48

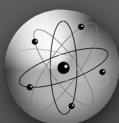
*Krakow: accelerated track repairing.*

## RAIL CARS 60, 82

*Reduction of car body's vibrations.  
Control of braking system.*

## HYBRID DRIVE TRANSPORT 74

*Road cars are going by rails.*





# Ускоренные технологии TINES для трамвайных путей



Влодзимерж  
ЧЕРЛУНЧАКЕВИЧ

Włodzimierz  
CZERLUNCZAKIEWICZ

*Черлунчакевич Влодзимерж – директор по вопросам Восточных рынков TINES Railway, Краков, Польша.*

## Accelerated TINES Technologies for Tram Tracks

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 55)

**В статье представлен способ организации ремонта трамвайного пути на улице с большой транспортной нагрузкой.**

**В связи с особым местоположением объекта ключевым аспектом при выборе технологии был короткий срок выполнения работ с обязательным получением высоких технико-эксплуатационных параметров, обеспечивающих длительную и надежную эксплуатацию рельсового полотна после реконструкции.**

**Подрядчик применил систему типа TINES LC-L XL, основным элементом которой является сборная железобетонная плита длиной 17 м, со встроенным модулем ERS-M. Технология ремонта и конструкция трамвайных путей были подобраны так, чтобы ограничить риск возможного продления времени реализации проекта.**

**Это соответствовало ожиданиям инвестора, основной целью которого оставалось потратить на демонтаж и модернизацию не более 60 часов.**

*Ключевые слова:* трамвай, рельсовый путь, верхнее строение пути, ремонт, ускоренные технологии, TINES LC-L XL, Краков, качество.

Улица Гжегужецкая – одна из наиболее загруженных в Кракове. Она является важным дорожным маршрутом в сети общественного транспорта, поскольку соединяет два пересадочных узла – Гжегужецкую площадь и Центральный крытый рынок. Плюс к тому имеет немалое значение с точки зрения пространственного доступа, поскольку позволяет обеспечить непосредственный проезд к центру города переходя в улицу Дитля, а также пересекаясь с улицей Старовисельной, которая идет по второму по величине культурному комплексу – району Казимеж, ведя на другой берег реки Вислы. В течение всего дня здесь постоянно наблюдается высокая интенсивность дорожного движения.

Все эти факторы свидетельствуют о том, что при проведении ремонта пути в данной локализации у управляющего инфраструктурой возникает множество логистических и экономических проблем, связанных с организацией движения. Длительные периоды закрытия движения становятся очень дорогостоящими, а кроме того могут привести к транспортному коллапсу в этой части города. Поэтому возникла необходимость в такой технологии работ, которая бы позволила улучшать состояние трамвай-





*Рис. 1. Существенные трещины и сколы в покрытии.*

ного полотна при условии минимализации времени ограничения транспортного движения.

## **СОСТОЯНИЕ ПУТИ ПЕРЕД РЕКОНСТРУКЦИЕЙ**

Трамвайное полотно вдоль улицы Гжегужецкой выделено из проезжей части с помощью бетонных разделителей, которые не дают занимать полосу движения, предназначенную для городского общественного транспорта, водителям частных транспортных средств. Внедрение разделителей было необходимо для повышения интенсивности движения автобусов и трамваев.

Ремонтируемый участок длиной 17 метров включал в себя двупутный фрагмент полотна, включая междупутье. Техническое состояние рельсового полотна, которое было инвентаризовано во время посещения объекта специалистами, оказалось исключительно плохое. В существующем покрытии были видны многочисленные сколы и трещины асфальтобетона, а также отрыв резиновых прирельсовых элементов и элементов крепления рельса. Повреждения привели к попаданию воды в трамвайное полотно, что ускорило рост сколов и трещин в асфальтобетонном покрытии. В некоторых местах наблюдались особенно

большие деформации в результате подъёма бетонных плит.

Плохое состояние полотна создавало угрозы движению трамваев. Было установлено, что основные дефекты находились в районе поперечного линейного водоотвода. Дорожное асфальтобетонное покрытие, по которому двигались городские автобусы, тоже подвергалось быстрому разрушению. Дело дошло уже до того, что в трамвайном пути был зафиксирован отрыв рельса от бетонного основания.

Согласно проектной документации, предоставленной подрядчику, трамвайный путь был выполнен в технологии сплошной опоры рельса в монолитной железобетонной плите. Однако во время разборочных работ оказалось, что конструкция существующего полотна отличается от заявленной в проектной документации (рис. 2), что привело к увеличению продолжительности демонтажных работ.

## **ОЖИДАНИЕ ИНВЕСТОРА**

В связи с упомянутыми особенностями улицы Гжегужецкой в городской системе сообщения приоритетом для инвестора при реконструкции дефектного участка стало сокращение времени работ и максимальное сохранение движения. Основная цель заключалась в ограничении затрат по по-



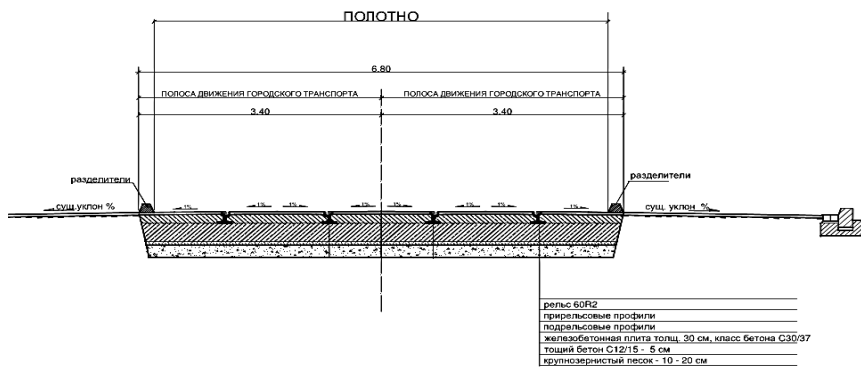


Рис. 2. Поперечное сечение трамвайного полотна на ул. Гжегуежской – конструкция перед ремонтом.



Рис. 3. Плита заводского изготовления TINES LC-L XL.

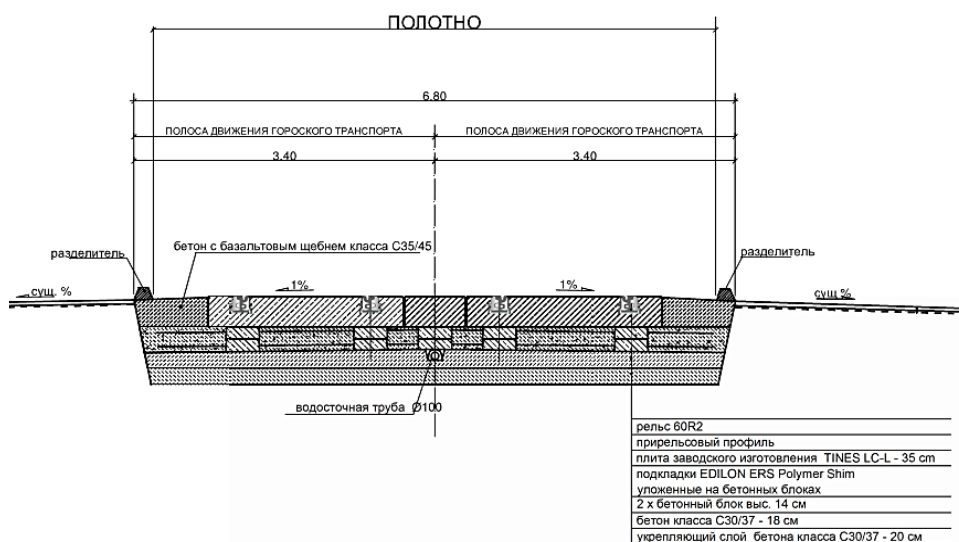
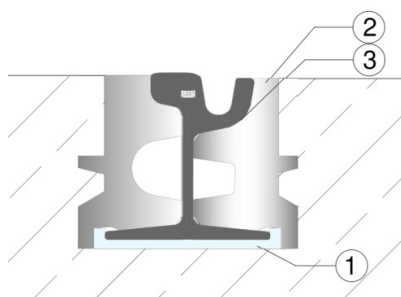


Рис. 4. Поперечное сечение полотна на ул. Гжегуежской с системой TINES LC-L XL.

воду изменений в организации движения, возможного транспортного коллапса на участке, где расположен пересадочный узел, а также применение такой конструкции пути, которая бы гарантировала долговечную эксплуатацию с минимальными расходами на содержание.

При выборе покрытия ключевую роль играла высокая устойчивость к интенсивному движению общественных видов транспорта: трамваев и автобусов. Управляющий инфраструктурой хотел минимизировать дальнейшие расходы на содержание и гарантировать пользователям безаварийную службу системы на долгие годы. Из-за близости застройки, в том числе жилых домов, значимым фактором являлись обеспечение допустимого уровня виброизоляции, уменьшение динамического воздействия от проезжающего транспорта на близлежащие здания. Высокие, но при этом обоснованные требования инвестора уже на начальном этапе исключили большинство используемых в Польше конструкций и технологий.

Собственно, тогда-то к инвестору и обратилась фирма TINES, предлагая применение интегрированного железнодорожно-автомобильного покрытия TINES LC–L XL. Оно разработано для максимального сокращения строительно-монтажных работ при замене верхнего строения пути и обеспечивает наивысший стандарт качества. Техничко-эксплуатационные характе-



**Рис. 5. Детальный разрез узла крепления рельса в системе TINES LC–L XL: 1 – сплошной подрельсовый профиль; 2 – прирельсовый профиль; 3 – клей для профилей.**

ристики покрытия TINES LC–L XL гарантируют долгий срок службы, минимализацию расходов на содержание, а также столь важное для города условие, как виброизоляция, достигаемая благодаря сплошной опоре рельса.

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАННОГО РЕШЕНИЯ**

Интегрированное железнодорожно-автомобильное покрытие TINES LC–L XL состоит из крупногабаритных перефабрикованных железобетонных плит с закрепленными с помощью модульной системы рельсами в защитном слое ERS-M на этапе заводского изготовления. Рельс опирается на подрельсовый профиль и крепится посредством прирельсовых профилей из резинового гранулята.



**Рис. 6. Демонтаж существующего полотна.**





Рис. 7. Укладка плиты TINES LC–L XL.



Рис. 8. Плиты междупутя заводского изготовления покрытия TINES LC–L XL.

Полная заводская готовность покрытия TINES LC–L XL значительно сокращает время её монтажа, что и являлось главной целью инвестора. Дополнительно предлагаемая конструкция пути отвечала требованиям по виброизоляции, а также минимализации работ по текущему содержанию системы во время ее последующей эксплуатации. Способ крепления ERS-M гарантирует сплошную надежную и упругую опору рельса, ограничение шума, а также хорошую электрическую изоляцию рельсовой линии.

#### ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Ремонт пути был запланирован на выходные дни недели, принимая во внимание уменьшение интенсивности движения

в это время. Строительные работы начались в пятницу, в вечерние часы. После закрытия движения и выполнения подготовительных операций (в т.ч. отключение и перенос контактной сети) было разобрано асфальтобетонное покрытие, путевой бетон и плита основания. Для разборки использовались экскаваторы с гидравлическим молотом, экскаваторы-погрузчики и самосвалы с задней разгрузкой.

Полученная траншея была выпрофилирована и выровнена, а основание уплотнено с помощью виброплит WACKER массой 500 кг. На следующем этапе проведены геотехнические изыскания с целью оценки состояния характеристик основания (измерение коэффициента уплотнения, модуля деформации защитного слоя по ветви



Рис. 9. Укладка плиты междупутья в районе канализационного люка.

его вторичного нагружения, значение которого должно быть не меньше 120 МПа). Когда подтвердилось, что основание отвечает всем требованиям, было произведено армирование в виде арматурных стальных сеток  $\varnothing 8$  с размерами 5000 x 2150 мм (в двух слоях). В сетках вырезали отверстия, чтобы разместить в них монтажные бетонные блоки, а на них положить специальные подкладки для регулировки положения плиты в вертикальной плоскости. Укладка покрытия длиной 17 метров стала серьезным вызовом с точки зрения высотной привязки к существующему полотну.

После выполнения подготовительных работ проведена укладка плит заводского изготовления на монтажных опорах. Перенос плит осуществлялся с помощью пятиосного автомобильного крана максимальной грузоподъемностью 250 тонн с противовесом 69 тонн и специальным телескопическим траверсом с пролетом 10 м.

При геодезическом надзоре выполнена регулировка плит в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Отметки головки рельса контролировались геодезистом, случаи отклонений от проектной документации корректировались путем добавления/удаления тонких регулировочных подкладок после предварительного подъема плиты. Вслед за установкой путевых плит аналогичные технологические опера-

ции выполнены для плит междупутья, которые размещались с обеих сторон канализационного люка, находящегося в оси полотна.

Пространство в районе люка заполнили бетоном на следующем этапе устройства верхнего строения пути. После укладки плит пошла термитная сварка рельсов и шлифовка сварных швов. Затем было вклеивание прирельсовых и подрельсовых профилей в местах сварных швов, чтобы сохранить однородность конструкции верхнего строения пути. По завершении «опалубки» из пенополистирола по бокам плит и защиты технологических швов между плитами TINES LC–L XL, а также канализационного люка, началось инъецирование под плиты быстротвердеющей бетонной смеси С30/37.

Быстротвердеющим бетоном кроме того заполнено пространство между существующим верхним строением пути и плитами заводского изготовления TINES LC–L XL.

Финишные работы включали в себя заполнение упругой заливочной массой Edilon Corkelast TO швов между монолитной бетонной плитой и путевой плитой TINES LC–L XL, установку элементов водоотвода в плите, а также выливание бетонной смеси в районе канализационного люка.



Рис. 10. Установка опалубки из пенополистирола перед выливанием бетонной смеси.



Рис. 11. Рельсовое покрытие после ремонта с системой плит заводского изготовления TINES LC–L XL.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Описанная технология путевых ремонтных работ и конструкция верхнего строения трамвайного пути учли не только короткое время закрытия движения, но и риск задержек при выполнении отдельных этапов программы. Это позволило удовлетворить ожидания инвестора, основным из которых было время вывода из эксплуатации полотна не более на 60 часов.

2. Полотно длиной 2x17 метров одиночного пути с междупутьем было демонтировано и заново уложено с применением интегрированного железнодорожно-автомобильного покрытия TINES LC–L XL в течение 59 часов.

3. Высокая заводская готовность покрытия трамвайного пути позволила максимально сократить сроки реализации проекта, а с ними и сроки закрытия улицы для

трамвайного, автобусного и автомобильного движения.

4. Ремонт пути в Кракове на улице Гжегужецкой был первым проектом в Польше, где использовались крупногабаритные плиты заводского изготовления. Задание заключалось не только в выполнении строительно-монтажных работ, но и изготовлении префабрикатов и их транспортировке на строительную площадку.

5. Разработанная система верхнего строения пути поможет организациям, управляющим трамвайной инфраструктурой, ремонтировать и реконструировать поврежденные линии в местах, где ключевой целью является сокращение времени транспортного движения и обеспечение при этом высокого качества работ с учетом виброизоляционных и электроизоляционных параметров. ●

Координаты автора: **Черлунчакевич В.**, Директор по вопросам Восточных рынков TINES Railway, Краков, Польша, w.czerlunczakiewicz@tinescg.com.

Статья поступила в редакцию 30.10.2016, принята к публикации 18.01.2017.

## ACCELERATED TINES TECHNOLOGIES FOR TRAM TRACKS

Czerlunczakiewicz, Włodzimirz, *TINES Railway, Krakow, Poland.*

### ABSTRACT

The article presents a way to organize repair of a tram track in the street with a large traffic load. In connection with the special location of the facility, the key aspect in the choice of technology was a short period of work, with mandatory obtaining of high technical and operational parameters ensuring long-term and reliable operation of the rail track after reconstruction.

*Keywords:* tramway, track, track superstructure, repair, accelerated technologies, TINES LC–LXL, Krakow, quality.

**Background.** *Grozhezetskaya Street is one of the busiest in Krakow. It is an important road route in the public transport network, since it connects two interchange hubs – Gregużecký square and the Central covered market. Plus, it has a considerable significance from the point of view of spatial access, since it allows to provide direct access to the city center by going to Ditlja Street, and also intersecting with Starovislava Street, which goes through the second largest cultural complex – the Kazimierz district, leading to the other bank of the Vistula River.*

*Throughout the day, a high traffic intensity is constantly observed here.*

*All these factors indicate that when repairing a track in a given location, the manager of the infrastructure has many logistical and economic problems associated with the organization of the traffic. Long periods of traffic closure become very expensive, and in addition can lead to traffic collapse in this part of the city. Therefore, there was a need for such a technology of work that would improve the condition of the tram track, provided that the time for limiting traffic is minimized.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider the application of TINES technologies using the example of tram track repair in Krakow.*

**Methods.** *The author uses general scientific and engineering methods, comparative analysis, statistical method.*

### Results.

#### State of the track before reconstruction

*A tram track along the Grozhezetskaya street is separated from the roadway by means of concrete*

*The contractor used a TINES LC–LXL type system, the main element of which is a prefabricated reinforced concrete plate 17 m long, with a built-in ERS-M module. The repair technology and the construction of tram tracks were chosen to limit the risk of a possible extension of the project implementation time. This was in line with the investor's expectations, the main goal of which was to spend not more than 60 hours to dismantle and upgrade.*

*dividers, which do not allow occupying the lane intended for urban public transport to drivers of private vehicles. The introduction of separators was necessary to increase the traffic intensity of buses and trams.*

*The 17-meter-long repair site included a two-track fragment of the canvas, including the cross-road. The technical condition of the rail tracks, which was inventoried during a visit to the facility by specialists, turned out to be exceptionally bad. In the existing coating, numerous cracks in the asphalt concrete were seen, as well as the separation of rubber rail elements and rail fastening elements. Damage caused water to enter the tram tracks, which accelerated the growth of chips and cracks in the asphalt concrete pavement. In some places, especially large deformations were observed as a result of the rise of concrete plates.*

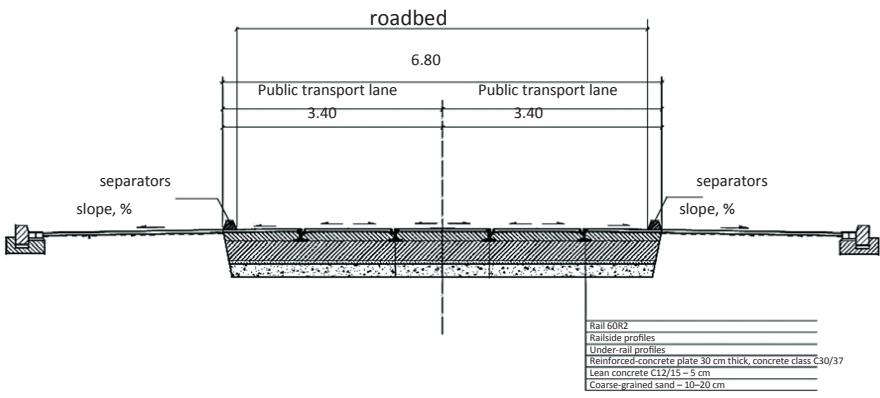
*The poor state of the roadbed created a threat to the movement of trams. It was found that the main defects were in the region of the transverse linear drainage. Road asphalt concrete covering, on which the city buses moved, also suffered rapid destruction. The matter has already reached the point where a rail track was detached from the concrete base in the tram track.*

*According to the design documentation provided to the contractor, the tram track was made in the technology of continuous rail support in a monolithic reinforced concrete slab. However, during the disassembly work, it turned out that the design of the existing roadbed is different from the one stated in the design documentation (Pic. 2), which led to an increase in the duration of dismantling.*



**Pic. 1. Significant cracks and chips in the covering.**

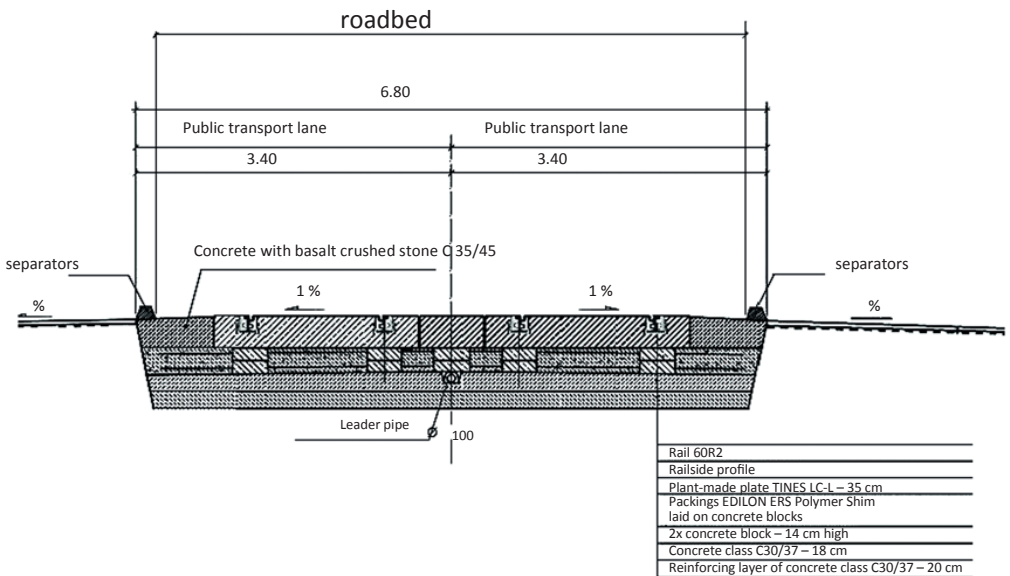




**Pic. 2. The cross-section of the tram roadbed on the street. Grzhezhtskay – the construction before the repair.**



**Pic. 3. Factory made plate TINES LC–L XL.**



**Pic. 4. Cross section of the roadbed on the street. Grzegorzeczkaya with the TINES LC–L XL system.**



### Waiting for the investor

In connection with the above-mentioned features of the Grozhezhetskaya Street in the urban traffic system, priority for the investor in the reconstruction of the defective site was the reduction of the work time and the maximum conservation of traffic. The main objective was to limit the costs of changes in the traffic organization, the possible transport collapse at the site where the interchange hub is located, as well as the use of such a design track that would guarantee long-term operation with minimal maintenance costs.

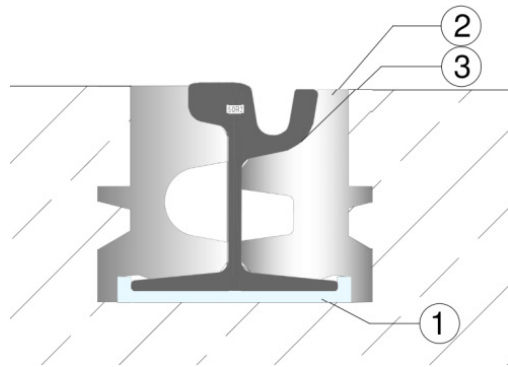
When choosing the covering, the key role was played by high resistance to the intensive movement of public modes of transport: trams and buses. The infrastructure manager wanted to minimize further costs for maintenance and guarantee users a trouble-free system for years to come. Due to the proximity of the building, including residential buildings, a significant factor was the provision of an acceptable level of vibration isolation, a reduction in the dynamic impact from passing vehicles to nearby buildings. High, but reasonable requirements of the investor already at the initial stage excluded most of the structures and technologies used in Poland.

Actually, then TINES applied to the investor, offering the use of the integrated railway-road cover TINES LC-L XL. It is designed to minimize construction and installation work when replacing the track superstructure and provides the highest quality standard. The technical and operational characteristics of the TINES LC-L XL coating guarantee a long service life, a minimal maintenance cost, and also an important condition for the city, such as vibration isolation, achieved by the solid support of the rail.

### Features of the solution used

The integrated railway-road cover TINES LC-L XL consists of large-sized rebuilt reinforced concrete plates with fixed rails in the ERS-M protective layer fixed in a modular system at the factory manufacturing stage. The rail rests on the under-rail profile and is fixed by means of rail profiles made of rubber granulate.

The full factory availability of the TINES LC-L XL covering significantly reduces the time of its installation, which was the main goal of the investor. In addition, the proposed design of the track met the requirements for vibration isolation, as well as the minimization of work on the current content of the system during its subsequent operation. The ERS-M fastening method guarantees a solid, reliable and resilient rail support, noise reduction, and good electrical isolation of the rail line.



**Pic. 5. Detailed section of the rail fastening system in the TINES LC-L XL system: 1 – solid under-rail profile; 2 – railside profile; 3 – glue for profiles.**

### Technology of work execution

The repair of the track was planned for the weekends, taking into account the decrease in traffic intensity at this time. Construction work began on Friday, in the evening hours. After the movement was closed and the preparatory operations (including the disconnection and transfer of the contact network) were completed, the asphalt concrete, the road concrete and the base plate were disassembled. For dismantling, excavators with hydraulic hammers, backhoe loaders and dump trucks with rear unloading were used.

The resulting trench was profiled and leveled, and the base was compacted using a 500 kg WACKER plate compactor. At the next stage, geotechnical surveys were carried out to assess the condition of the base characteristics (measurement of the compaction factor, the deformation modulus of the protective layer along the branch of its secondary loading, the value of which should be not less than 120 MPa). When it was confirmed that the base meets all the requirements, reinforcement was made in the form of reinforcing steel grids  $\varnothing 8$  with dimensions of 5000 x 2150 mm (in two layers). In the meshes, holes were cut out to accommodate the assembly concrete blocks, and on them special pads were put to adjust the position of the plate in the vertical plane. Laying a cover 17 meters long became a serious challenge from the point of view of high-altitude binding to the existing roadbed.

After completing the preparatory work, the stacking of the prefabricated slabs on the mounting



**Pic. 6. Dismantling the existing roadbed.**



**Pic. 7. Laying of the slab TINES LC-L XL.**



**Pic. 8. The plates of the intertrack space of the factory made coating TINES LC-L XL.**



**Pic. 9. Laying the plate of the intertrack space in the sewerage area.**



supports was carried out. The transfer of the slabs was carried out with the help of a five-axle truck crane with a maximum carrying capacity of 250 tons with a counterweight of 69 tons and a special telescopic traverse with a span of 10 meters.

When geodetic control was performed, the plates were adjusted in the vertical and horizontal planes. The marks of the rail head were controlled by the surveyor, the cases of deviations from the design documentation were corrected by adding / removing the thin adjusting pads after the plate was pre-raised. Following the installation of track slabs, similar technological operations were performed for the plates between the tracks, which were located on both

sides of the sewer hatch located in the axis of the blade.

Space in the sewerage area was filled with concrete at the next stage of the track superstructure arrangement. After laying the plates, termite welding of rails and grinding of welded joints were carried out. Then there was gluing of the railside and under-rail profiles in the places of welded joints in order to preserve the homogeneity of the structure of the track superstructure. After the completion of the «formwork» made of expanded polystyrene on the sides of the plates and the protection of technological seams between the TINES LC-L XL plates and the sewerage hatch, the installation of a



**Pic. 10. Installation of polystyrene foam formwork before pouring out the concrete mix.**



**Pic. 11. Rail coating after repair with the system of plates manufactured by the manufacturer TINES LC-L XL.**

fast-curing concrete mixture C30 / 37 began under the plate.

A space between the existing track superstructure and factory-made plates TINES LC-L XL is also filled with fast-hardening concrete.

The finishing work included the filling with the elastic casting mass of Edilon Corkelast TO of joints between the monolithic concrete slab and the TINES LC-L XL track plate, the installation of drainage elements in the slab, and the pouring of the concrete mixture in the sewerage area.

**Conclusion.**

1. The described technology of track repair works and the construction of the tram track superstructure took into account not only the short time of closing the traffic, but also the risk of delays in the execution of certain stages of the program. This allowed satisfying the investor's expectations, the main of which was the time to decommission of the road bed for no more than 60 hours.

2. A 2x17 meter long single-track road with an intertrack space was dismantled and reinstalled using

the integrated TINES LC-L XL railway and road covering for 59 hours.

3. The high factory readiness of covering of the tram track allowed to shorten the terms of the project as much as possible, and with them the deadlines for closing the street for tram, bus and automobile traffic.

4. The repair of the track in Krakow on Grzechzetskaya Street was the first project in Poland, where large-sized plates of factory manufacturing were used. The task was not only to perform construction and assembly works, but also to manufacture prefabricates and transport them to the construction site.

5. The developed system of the track superstructure will help organizations, which manage the tram infrastructure, to repair and reconstruct damaged lines in places where the key goal is to reduce the time of traffic and ensure high quality of work with regard to vibration isolation and electrical insulation parameters.

Information about the author:

**Czerlunczakiewicz, Włodzimerz**, Director for Eastern Markets of TINES Railway, Krakow, Poland, w.czerlunczakiewicz@tinescg.com.

Article received 30.10.2016, accepted 18.01.2017.





# Способы управления параметрами вибрации пассажирских вагонов



Александр СКАЧКОВ  
Alexander N. SKACHKOV

Сергей САМОШКИН  
Sergey L. SAMOSHKIN



Андрей ЗАЙЦЕВ  
Andrey V. ZAYTSEV

*Скачков Александр Николаевич – кандидат технических наук, директор ЗАО Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Тверь, Россия.*

*Самошкин Сергей Львович – доктор технических наук, начальник управления Тверского института вагоностроения, Тверь, Россия.*

*Зайцев Андрей Валентинович – заведующий лабораторией Тверского института вагоностроения, Тверь, Россия.*

## Methods for Controlling Vibration Parameters of Passenger Coaches

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 68)

**Когда вагоностроительный завод в Твери начал серийный выпуск пассажирских вагонов нового поколения, его специалистам пришлось столкнуться с фактами не всегда оправданной модификации, казалось бы, уже и без того более комфортных и безопасных конструкций. В частности, обнаружилось ослабление вибрационных параметров при постройке вагонных салонов, баров, лабораторий. Дано обоснование возможности уменьшения показателей вибрации вагона-салона за счёт увеличения изгибной жесткости кузова и подбора наиболее рационального вертикального демпфера центрального подвешивания.**

*Ключевые слова:* железная дорога, вагоностроение, вагон-салон, вибрация, плавность хода, изгибная жесткость, проектирование, испытания, управление параметрами.

**В** начале XXI века Тверской вагоностроительный завод разработал конструкции и приступил к серийному выпуску пассажирских вагонов нового поколения с обшивкой кузова из нержавеющей сталей и сроком службы 40 лет (старые модели имеют срок службы 28 лет). Все вагоны нового поколения предназначены для перевозки пассажиров и обслуживания персонала на электрифицированных и неэлектрифицированных участках железных дорог колеи 1520 мм со скоростями движения до 160 км/ч.

Купейный вагон модели 61–4440 считается базовым. Он изготавливается в двух вариантах – на 36 спальных мест в четырехместном исполнении и на 18 спальных мест в двухместном исполнении купе.

Вагон модели 61–4445 относится к купейным штабным. В нем имеются специализированное купе и туалет для проезда инвалида с сопровождающим лицом. Вагон оборудован подъёмником для инвалидов колясок, а также всеми устройствами и системами, необходимыми для штабного ва-

гона. Всего здесь 26 спальных мест для пассажиров.

Вагон модели 61–4447 – пассажирский некупейный (плацкартный). В нем пассажирское помещение разделено поперечными перегородками на 9 шестиместных отсеков, что дает 54 спальных места.

Вагон модели 61–4458 является пассажирским с местами для сидения. Количество мест 60 в вагоне со стандартным интерьером (2 + 2) и 40 для вагона с улучшенным интерьером (2 + 1).

Вагон-ресторан модели 61–4460 имеет 32 пассажирских места в салоне и четыре – в баре.

Кузова всех вагонов модельного ряда представляют собой цельнометаллическую несущую конструкцию типа замкнутой оболочки с регулярными вырезами в боковых стенах для окон и дверей, а также с люками в крыше для установки оборудования (кондиционера, бака для воды и котла).

Хребтовая балка рамы на консолях и в шкворневых зонах выполнена из двух швеллеров 30В, в средней части из одного двутавра 30Б2. Буферные брусья изготовлены из швеллера 30В. Шкворневые балки коробчатого сечения: вертикальные листы толщиной 6 мм, верхний и нижний листы – 8 мм. Поперечные балки в переходных зонах от швеллеров к двутавру представляют собой гнутые профили переменного сечения толщиной 6 мм. Остальные поперечные балки – гнутые швеллеры 100 × 60 × 4 мм и 100 × 60 × 5 мм. В конструкции продольных балок (нижних обвязок) рамы использован уголок 100 × 100 × 8 мм. Материал рамы – сталь 09Г2С.

Настил пола в средней части состоит из гофрированных листов толщиной 1,5 мм, на консолях – из плоских листов 2,5 мм.

Для изготовления боковых стен вагона применяется нержавеющая сталь. В ниж-

нем поясе однослойная обшивка – гофрированный профиль толщиной 2 мм с четырьмя широкими гофрами, имеющими следующие геометрические размеры: высота – 14 мм, ширина у основания – 120 мм, ширина у вершины – 95 мм. Обшивка подкреплена набором продольных и поперечных элементов (над- и подоконные стрингеры, обвязки, стойки).

Крыша кузова выполнена из нержавеющей стали. Средняя часть крыши – прокатные гофрированные листы толщиной 1,5 мм, скаты крыши – плоские листы 2 мм.

Конструкции в полной мере отвечают требованиям санитарных норм по освещенности, эргономике, микроклимату, шуму и вибрациям, требованиям безопасности, а также на отделочные и облицовочные материалы.

Вагоны всех моделей оборудуются безлюлучными тележками с дисковыми тормозами моделей 68–4095 для нетормозного конца вагона и 68–4096 – для тормозного конца. Всё внутривагонное и подвагонное оборудование практически однотипное (кроме вагона-ресторана). Вагоны модельного ряда проходили приемочные испытания и неоднократно сертифицировались на соответствие требованиям ТР ТС 001/2011 [1] и стандарта [4]. Испытания проводились с использованием современных методов, принятых для обязательной сертификации [2, 3].

В последнее время на базе купейного вагона модели 61–4440 ряд организаций разработали и изготовили вагоны-салоны. Отличительной их особенностью является уменьшение количества поперечных и продольных перегородок, что приводит к уменьшению нагрузки на плавающий пол и снижению количества контактируемых внутренних поверхностей. Такая перепланировка снижает рассеивание энергии колебаний внутри технической системы

**Таблица 1**  
**Варианты испытаний вагона-салона на базе купейного вагона модели 61–4440**

№ варианта	Диапазон скоростей, км/ч	Дизель-генератор	Усиление рамы вагона	Примечание
1	40–120	Установлен	Нет	–
2	40–120	Демонтирован	Нет	–
3	40–120	Установлен	Да	Рама вагона усилена продольными балками



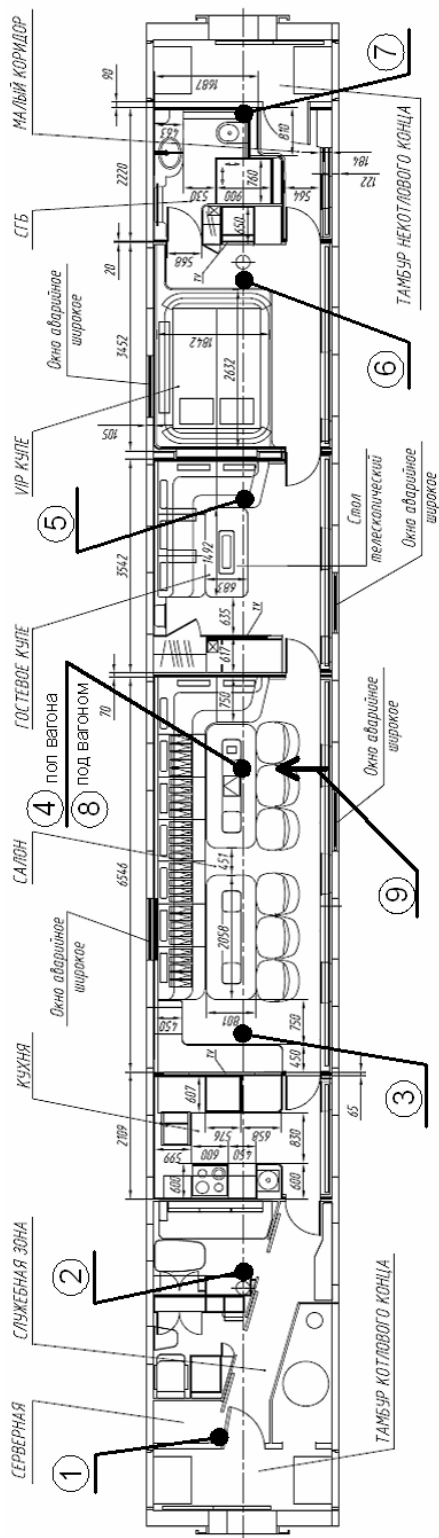


Рис. 1. Планировка и схема расстановки акселерометров в помещениях вагона-салона на базе купейного вагона модели 61–4440. ● – акселерометры 1–7, фиксирующие виброускорение в вертикальном направлении и установленные на полу вагона; ↑ – акселерометр 8, фиксирующий виброускорение в поперечном направлении и установленный на боковине вагона; ① – нумерация зон установки акселерометров.

(пассажирского вагона) и изгибную жесткость кузова. Кроме того, в вагонах-салонах устанавливается, как правило, дополнительное металлоёмкое оборудование (дизель-генераторные установки, топливные баки, системы спутниковой связи и т.д.), что неблагоприятно влияет на уровень вибрации кузова и сказывается на уровне комфорта пассажиров [5].

В 2014–2016 годах Тверской институт вагоностроения провел исследования, направленные на устранение повышенной вибрации в помещениях вагонов-салонов [6].

ПКТБ по вагонам ОАО «РЖД» (г. Москва) на базе модели 61–4440 спроектировало вагон-салон, планировка которого приведена на рис. 1. В этом вагоне значительно изменена планировка, убраны две поперечные перегородки в салоне и по одной в гостевом купе и VIP-купе. Под вагоном в центральной зоне подвешен дизель-генератор массой около 750 кг и бак для топлива вместимостью 250 л.

При проведении испытаний вагона-салона в его отдельных помещениях снова наблюдался повышенный уровень вибрации. Для ее устранения было разработано и реализовано усиление центральной части рамы дополнительными продольными балками. Кроме того, при проведении пробных испытаний оценивалось влияние подвешенного дизель-генератора. В совокупности вагон-салон испытывался в трёх различных вариантах, приведенных в таблице 1.

Усиление рамы вагона демонстрирует рис. 2.

В соответствии с целью испытаний для определения величин максимальных, среднеквадратичных значений (СКЗ) виброускорений в диапазоне частот от 0,5 до 40 Гц и показателей плавности хода был сформирован опытный поезд. Работы проводились на участке магистральных путей Октябрьской железной дороги от ст. Тверь до ст. Москва. Испытуемый вагон, установленный на безлюлочные тележки моделей 68–4095 и 68–4096, находился в середине состава и был отделен от локомотива и конца состава вагонами прикрытия.

Испытания шли с применением шумовиброметрического комплекса «Экофизика» с акселерометрами типа AP 2082M и измерительного усилителя MGCplus



Рис. 2. Рама вагона, усиленная продольными балками.

Таблица 2

**Среднеквадратичные уровни вертикальных виброускорений в зоне установки акселерометра 4 (середина – пол вагона)**

Скорость, км/ч	Частотные полосы, Гц	Допускаемые значения, м/с <sup>2</sup>	№ варианта		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,31	0,22	0,08
100	8,0	0,11	0,26	0,25	0,11
	10,0	0,14	0,23	0,22	0,13
120	8,0	0,11	0,14	0,18	0,09
	10,0	0,14	0,18	0,19	0,12

Таблица 3

**Показатели плавности хода в вертикальном направлении при различных скоростях в зоне установки акселерометра 4**

Скорость, км/ч	Допускаемое значение	№ Варианта		
		1	2	3
80	3,25	2,67	2,51	2,49
100		2,69	2,61	2,52
120		2,66	2,59	2,47

с акселерометрами типа ARF-10A. Оборудование поверено в установленном порядке. Методика испытаний выбрана в соответствии с [2].

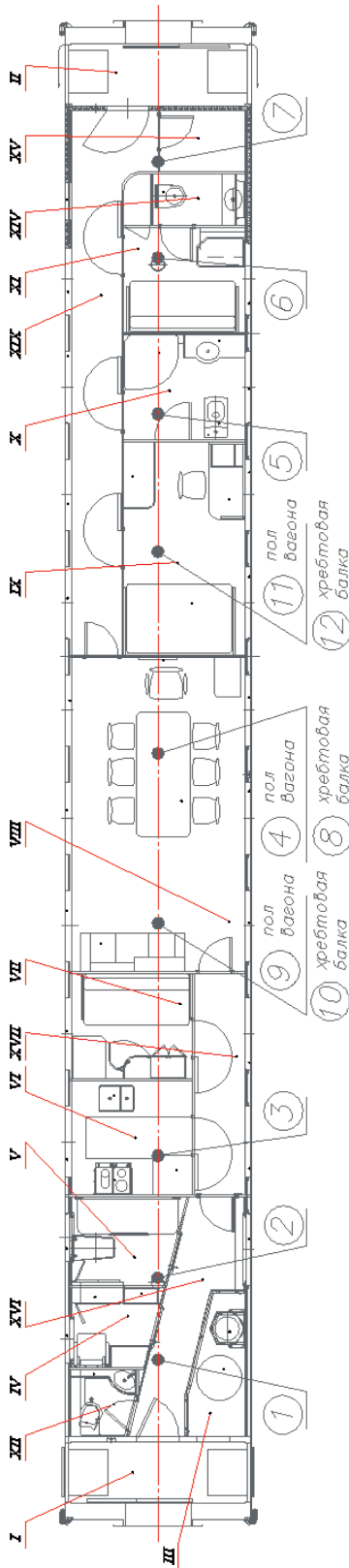
Оценка динамических характеристик вагона проводилась в диапазоне скоростей движения 40–120 км/ч путем замеров виброускорений акселерометрами, установленными в семи зонах внутри вагона по полу, как показано на рис. 1. Продолжительность измерений в каждой зоне и на каждой скорости составляла не менее 200 с. При необходимости суммарное время из-

мерений разбивалось на интервалы меньшей длительности.

В таблице 2 приведены среднеквадратичные уровни виброускорений в вертикальном направлении в проблемной зоне – месте установки акселерометра 4 (середина – пол вагона) для третьоктавных частотных полос и скоростей, на которых фиксировались превышения. В таблице указаны и допускаемые значения среднеквадратичных уровней виброускорений в соответствии с [7]. Заметим, что для остальных частотных полос и скоростей



Внутренняя планировка вагона модели 61-4485



- I Тамбур тормозного конца вагона
- II Тамбур нетормозного конца вагона
- III Котельное отделение
- IV Службное отделение
- V Кухня отделе проводников, связь и видеонаблюдения
- VI Кухня купе
- VII Кухня пассажирское 2-местное (рефрерента)
- VIII Салон
- IX Кухня-кабинет главного пассажира
- X Туалетная комната главного пассажира
- XI Кухня пассажирское 2-местное
- XII Туалет общего пользования тормозного конца вагона
- XIII Туалетная комната гостевого купе
- XIV Пассажирская комната (подсобное помещение)
- XV Коридор тормозного конца вагона
- XVI Мальский коридор
- XVII Коридор нетормозного конца вагона
- XVIII Туалетная комната гостевого купе
- XIX Пассажирское 2-местное
- 1 акселерометр
- 2 акселерометр
- 3 акселерометр
- 4 акселерометр
- 5 акселерометр
- 6 акселерометр
- 7 акселерометр
- 8 хребтовая балка
- 9 хребтовая балка
- 10 хребтовая балка
- 11 хребтовая балка
- 12 хребтовая балка

Рис. 3. Планировка и схема расположения акселерометров при проведении пробных испытаний. • – акселерометры 1–7, 9, 11, фиксирующие ускорение в вертикальном направлении и установленные на полу вагона (акселерометры 8, 10, 12 фиксируют ускорение хребтовой балки); ① – нумерация зон установки акселерометров.



Варианты испытаний вагона-салона модели 61–4485

№ варианта	Диапазон скоростей, км/ч	Маршрут следования	Усиление рамы вагона	Примечания
1	50–120	Москва–Петербург	Нет	–
2			Да	Рама вагона усилена продольными балками
3			Да	Рама вагона усилена продольными балками. Была произведена замена вертикальных и горизонтальных гидравлических гасителей центрального подвешивания фирмы Sachs на гасители фирмы ЗАО «Вагонкомплект»

превышения допускаемых значений не зафиксировано.

Из таблицы 2 видно, что доработка вагона по 3-му варианту (рама вагона усилена продольными балками (рис. 2)) обеспечивает снижение наибольших максимальных величин вертикальных виброускорений в проблемной центральной части вагона (зона установки акселерометра 4) до уровня ниже допускаемых значений при скоростях движения опытного состава 80, 100 и 120 км/ч.

Таким образом, для вагона-салона, изготовленного на базе пассажирского купейного вагона модели 61–4440, задача по снижению уровня виброускорений была решена путем отстройки от резонанса за счет увеличения изгибной жесткости кузова.

Дополнительно при проведении пробных испытаний вагона определялся показатель плавности хода. В таблице 3 приведены полученные показатели плавности хода в зоне установки акселерометра 4.

Анализируя таблицу 3, можно отметить следующие результаты, которые можно будет использовать в дальнейших работах по управлению вибрационными характеристиками пассажирских вагонов, а именно:

- установка дизель-генератора на усиленную раму вагона увеличивает (ухудшает) показатель плавности хода до 7 % (следует из анализа результатов по вариантам испытаний № 1 и № 2);

- усиление рамы вагона уменьшает (улучшает) показатель плавности хода до 8 % (следует из анализа результатов по вариантам испытаний № 1 и № 3).

На базе купейного вагона модели 61–4440 был разработан и изготовлен ва-

гон-салон модели 61–4485. При проведении испытаний в нем отмечен повышенный уровень вибрации в отдельных помещениях. На рис. 3 показана планировка вагона-салона. Видно, что убраны поперечные перегородки в салоне (2 шт.) и купе-кабинете (1 шт.). Кроме того, «разорвана» продольная перегородка большого коридора. От котлового конца вагона до салона продольная перегородка расположена вдоль котловой боковины. От салона до нетормозного конца вагона продольная перегородка расположена вдоль некотловой боковины.

На этапе подготовки рекомендаций по устранению повышенной вибрации в отдельных помещениях вагона-салона модели 61–4485, оборудованного тележками безлюлечного типа моделей 68–4095 и 68–4096 с дисковыми тормозами, круг исследований был расширен по сравнению с вагоном-салонем, изготовленным на базе серийного купейного вагона модели 61–4440.

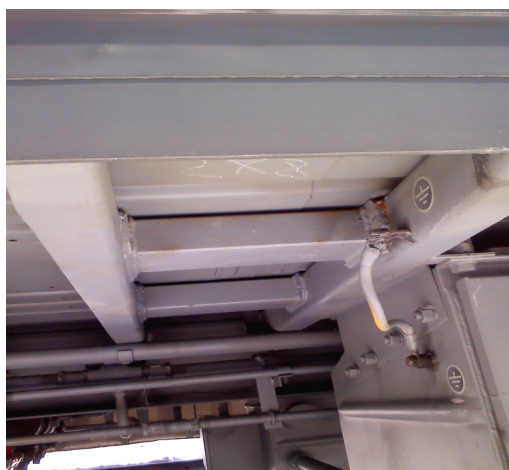
Для решения поставленных вопросов был проведен ряд ходовых динамических испытаний на различных направлениях с последовательной доработкой кузова и подбором наиболее рационального вертикального демпфера центрального подвешивания. Оценка динамических характеристик вагона осуществлялась в диапазоне скоростей движения от 50 до 120 км/ч с шагом 10 км/ч. Схема установки акселерометров показана на рис. 3, а в таблице 4 приведены маршруты следования и варианты модернизации вагона-салона.

Поначалу было произведено усиление рамы вагона в средней части продольными элементами. По мере проведения поездок



**Среднеквадратичные уровни вертикальных виброускорений в проблемных зонах вагона-салона модели 61–4485**

Скорость, км/ч	Частотные полосы, Гц	Допускаемые значения, м/с <sup>2</sup>	№ варианта		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,38	0,11	0,04
	10,0	0,14	0,06	0,09	0,03
90	8,0	0,11	0,66	0,16	0,10
	10,0	0,14	0,06	0,08	0,04
100	8,0	0,11	0,16	0,07	0,05
	10,0	0,14	0,28	0,13	0,09
110	8,0	0,11	0,17	0,10	0,06
	10,0	0,14	0,28	0,14	0,08
120	8,0	0,11	0,13	0,05	0,04
	10,0	0,14	0,25	0,14	0,09



**Рис. 4. Рама вагона, усиленная продольными балками.**

и измерения вибрации число усиливающих продольных элементов увеличивалось и в конечном итоге общее усиление вылилось в четыре составные продольные балки, две из которых расположены около продольных обвязок, а две другие около двутавра средней части составной хребтовой балки. На рис. 4 демонстрируется элемент рамы вагона, усиленный продольными балками.

Результаты испытаний при различных скоростях по определению среднеквадратичных уровней вертикальных виброускорений в проблемных зонах приведены в таблице 5, а показатели плавности хода в вертикальном направлении в таблице 6.

Оценивая результаты работы по вагону-салону модели 61–4485, можно отметить, что задача по снижению уровней виброускорений решена путем отстройки от ре-

зонанса за счёт изменения характеристик системы (увеличения изгибной жесткости кузова) и оптимизации рессорного подвешивания за счёт установки наиболее оптимальных демпферов для отечественных железных дорог. На рис. 5 приведены средние уровни вибрации, полученные при исполнении вагона-салона по варианту № 3 таблицы 4.

### ВЫВОДЫ

При изготовлении вагонов других типов (салонов, баров, лабораторий) на базе серийных купейных пассажирских вагонов возможно увеличение виброускорений по сравнению с требованиями нормативных документов. Основной причиной является коренная перепланировка внутренних помещений вагона (снижение изгибной жесткости кузова) и установка дополнительного материалоемкого внутривагонного и подвагонного оборудования.

Как показали испытания, устранение в таких вагонах повышенной вибрации является дорогостоящим и длительным по времени мероприятием. В связи с этим разработка методов управления параметрами изгибных колебаний и вибрационными параметрами кузовов пассажирских вагонов становится актуальной задачей. При этом искомый метод должен охватывать все этапы создания вагонов, включая подготовку конструкторской документации, изготовления и испытаний опытных образцов, передачи их в производство.

Для моделей вагонов, производство которых осуществляется на основе базовой модели 61–4440, при внедрении методов

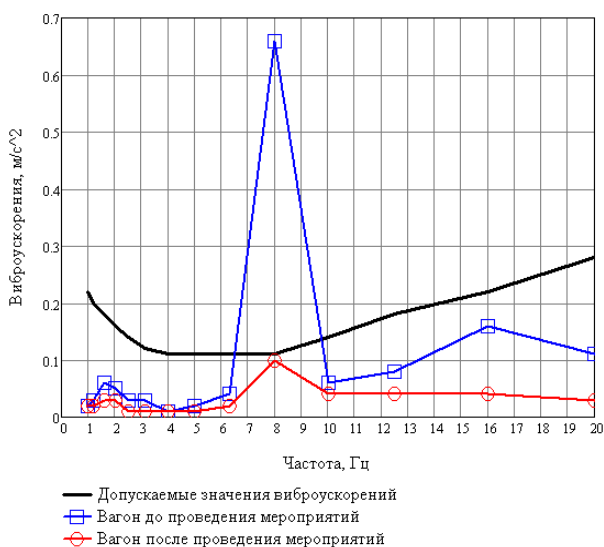


Рис. 5. Средние уровни вибрации при скорости движения опытного вагона 90 км/ч (зона установки акселерометра 9 на рис. 3).

Показатели плавности хода в вертикальном направлении при различных скоростях вагона-салона модели 61–4485

Таблица 6

Скорость, км/ч	Допускаемое значение	№ варианта		
		1	2	3
50	3,25	2,33	2,23	2,10
60		2,34	2,25	2,11
70		2,49	2,29	2,12
80		2,68	2,34	2,13
90		2,82	2,40	2,19
100		2,63	2,35	2,18
110		2,68	2,41	2,21
120		2,63	2,42	2,23

управления виброускорениями в первую очередь необходимо предусмотреть методику расчета собственных частот и форм вертикальных изгибных колебаний кузова с учётом деформации контура поперечного сечения кузова и расположения наиболее материалоемкого внутривагонного и подвагонного оборудования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ТР ТС 001/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава». – Минск: Бел. ГИИС, – 2012. – 46 с.
2. Коршунов С. Д., Самошкин С. Л. Современные методы испытаний железнодорожного подвижного состава, прошедшего ремонт различных объёмов и вновь построенного // Вагонный парк. – 2012. – № 7. – С. 15–18.
3. Коршунов С. Д., Скачков А. Н., Самошкин С. Л., Гончаров Д. И., Жуков А. С. Методика

расчётно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава // Известия ПГУПС. – 2015. – № 4. – С. 38–47.

4. ГОСТ Р 55182–2012. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.

5. Мейстер В. М. Исследование вибрации пассажирских вагонов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Л., 1967. – 20 с.

6. Скачков А. Н., Зайцев А. В., Гончаров Д. И., Лиференко В. Ю., Казак А. С. Исследование вибрации пассажирских вагонов с открытым салоном // Материалы VI всероссийской научно-практ. конференции «Проблемы и перспективы развития вагоностроения». – Брянск: БГТУ, 2014. – С. 96–98.

7. ОСТ 24.050.16-85. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода вагона. – М.: ВНИИВ, 1985. – 15 с.

8. СП 2.5.2647-10. Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (Изменения и дополнения № 2 к СП 2.5.1198-03) / Постановление Главного государственного санитарного врача РФ, № 68 от 16.07.2010.

Координаты авторов: **Скачков А. Н.** – +7 (4822) 55–54–32, **Самошкин С. Л.** – +7 (4822) 79–40–33, **Зайцев А. В.** – labr7@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 14.12.2017, принята к публикации 20.03.2017.





## METHODS FOR CONTROLLING VIBRATION PARAMETERS OF PASSENGER COACHES

**Skachkov, Alexander N.**, CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia.  
**Samoshkin, Sergey L.**, CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia.  
**Zaytsev, Andrey V.**, CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia.

### ABSTRACT

When the car building plant in Tver began serial production of new generation passenger cars, its specialists had to face the facts of not always justified modification of, it would seem, already comfortable and safe designs. In particular, weakened vibration

parameters during the construction of lounge cars, bars, laboratories were found out. The feasibility of reducing the vibration indicators of the lounge car by increasing the bending stiffness of the body and selecting the most rational vertical damper of the central suspension is given.

**Keywords:** railway, car building, lounge car, vibration, smooth running, bending stiffness, design, testing, parameters' control.

**Background.** At the beginning of XX century, Tver Car-Building Plant developed designs and started serial production of a new generation of passenger cars with stainless steel body liner a service life of 40 years (old models have a service life of 28 years). All cars of the new generation are intended for transportation of passengers and maintenance personnel on electrified and non-electrified sections of railways of gauge 1520 mm with speeds of up to 160 km/h.

**Objective.** The objective of the authors is to consider methods for controlling vibration parameters of passenger cars.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, graph construction.

**Results.** The compartment car model 61-4440 is considered as a base car. It is manufactured in two versions – for 36 berths in a four-berth version and for 18 beds in two-berth version of a compartment.

The car model 61-4445 belongs to the compartment staff car. There is a specialized compartment and toilet for the disabled person with an accompanying person. The car is equipped with a lift for wheelchairs, as well as all the devices and systems necessary for the staff car. There are 26 berths for passengers here.

The car model 61-4447 is passenger non-compartment (car with reserved seat). The passenger section divided by transverse partitions into 9 six-berths sections, which gives 54 berths.

The car model 61-4458 is a passenger car with seats. Number of seats in a car with a standard interior (2 + 2) is 60 and for a car with an improved interior (2 + 1) it is 40.

The restaurant car of the model 61-4460 has 32 passenger seats in the cabin and four – in the bar.

The bodies of all the cars of the model range are an all-metal bearing structure of the closed enclosure type with regular cutouts in the side walls for windows and doors, as well as with apertures in the roof for installation of equipment (air conditioning, water tank and boiler).

The center sill of the frame on the consoles and in the pivot zones is made of two channels 30V, in the middle part of one I-beam 30B2. The buffer bars are made of a channel 30V. Pivotal beams of box section: vertical sheets with a thickness of 6 mm, upper and lower sheets – 8 mm. Cross beams in the transition zones from the channels to the I-beam represent curved profiles of variable cross-section with a thickness of 6 mm. The remaining transverse beams are bent channel bars 100 × 60 × 4 mm and 100 × 60 × 5 mm. In the design of the longitudinal beams (bottom rail) of the frame, a 100 × 100 × 8 mm angle section is used. The frame material is steel 09G2S.

The floor covering in the middle part consists of corrugated sheets with a thickness of 1,5 mm, on the consoles – from flat sheets of 2,5 mm.

Stainless steel is used for the side walls of the car. In the lower belt, a single-layer covering is a 2 mm thick corrugated profile with four broad corrugations having the following geometric dimensions: height – 14 mm, width at the base – 120 mm, width at the vertex – 95 mm. Covering is supported by a set of longitudinal and transverse elements (over- and under-wall stringers, binders, racks).

The roof of the body is made of stainless steel. The middle part of the roof is rolled corrugated sheets with a thickness of 1,5 mm, the roof slopes are flat sheets of 2 mm.

The structures fully meet the requirements of sanitary standards for illumination, ergonomics, microclimate, noise and vibrations, safety requirements, as well as for finishing and facing materials.

Cars of all models are equipped with bolsterless bogies with disc brakes of models 68-4095 for the non-brake end of the car and 68-4096 for the brake end. All intra-car and under-car equipment is almost of the same type (except the restaurant car). The cars of the model line passed the acceptance tests and were repeatedly certified for compliance with the requirements of TR CU001/2011 [1] and standard [4]. Tests were conducted using modern methods adopted for mandatory certification [2, 3].

Table 1

Variants of tests of a lounge car on the basis of the compartment car model 61-4440

№ variant	Speed range, km/h	Diesel generator	Reinforcement of the car frame	Note
1	40-120	Installed	No	–
2	40-120	Dismantled	No	–
3	40-120	Installed	Yes	The car frame is reinforced with longitudinal beams

Recently, on the basis of a compartment car model 61–4440, a number of organizations have developed and manufactured lounge cars. Their distinctive feature is the reduction in the number of transverse and longitudinal partitions, which leads to a reduction in the load on the floating floor and a decrease in the number of internal surfaces to be contacted. This redesign reduces the dispersion of vibration energy within the technical system (passenger car) and bending stiffness of the body. In addition, in the lounge cars, as a rule, additional metal-intensive equipment is installed (diesel generator sets, fuel tanks, satellite communication systems, etc.), which adversely affects the body vibration level and affects the comfort level of passengers [5].

In 2014–2016, Tver Car-Building Institute carried out research aimed at eliminating excessive vibration in the interior of lounge cars [6].

PCTB for cars of JSC Russian Railways (Moscow) on the basis of model 61-4440 designed a lounge car, the layout of which is shown in Pic. 1. This car has a significantly changed layout, two transverse partitions in the cabin and one in the guest compartment and the VIP-compartment were removed. Under the car in the central zone, a diesel generator weighing about 750 kg and a fuel tank with a capacity of 250 liters are suspended.

When testing the lounge car in its separate sections, an increased level of vibration was again observed. To eliminate it, the strengthening of the central part of the frame with additional longitudinal beams was developed and implemented. In addition, during running tests, the influence of a suspended diesel generator was evaluated. In total, the car was tested in three different variants, listed in Table 1.

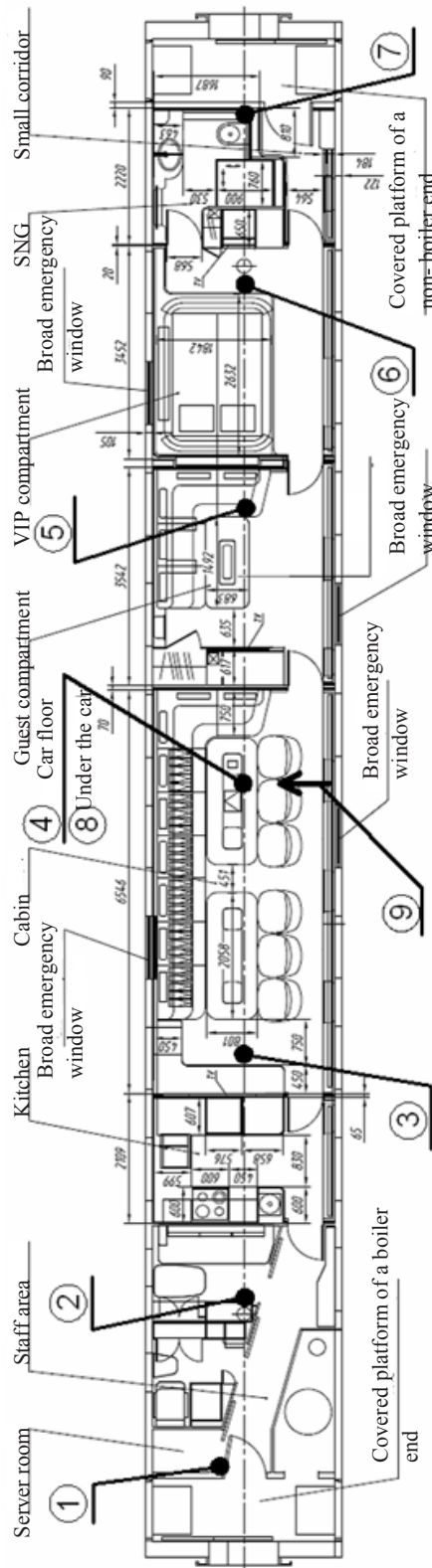
The reinforcement of the car frame is shown in Pic. 2.

In accordance with the purpose of the tests, an experimental train was formed to determine the values of maximum, rms values of vibration acceleration in the frequency range from 0,5 to 40 Hz and the indicators of the smooth run. The works were carried out on the section of the main tracks of the October Railway from station Tver to the station Moscow. The test car, mounted on bolsterless bogies of models 68–4095 and 68–4096, was in the middle of the train and was separated from the locomotive and the end of the train by the cover caps.

The tests were carried out using the noise-vibrometric complex «Ecophysics» with accelerometers of the AR-2082M type and the measuring amplifier MGCplus with accelerometers of the ARF-10A type. The equipment is checked in due course. The test procedure was chosen in accordance with [2].

The evaluation of the dynamic characteristics of the car was carried out in the speed range of 40–120 km / h by measuring vibration acceleration with accelerometers installed in seven zones inside the car along the floor, as shown in Pic. 1. The duration of the measurements in each zone and at each speed was at least 200 s. If necessary, the total measurement time was divided into intervals of shorter duration.

Table 2 shows the root-mean-square levels of vibration acceleration in the vertical direction in the problem zone – the location of the accelerometer 4 (middle–floor of the car) for the one-third octave frequency bands and the speeds at which the excesses were recorded. The table also indicates the permissible values of root-mean-square levels of



**Pic. 1. Layout and scheme of arrangement of accelerometers in the interior of the lounge car on the basis of the compartment car model 61–4440.**  
 • – accelerometers 1–7, fixing vibration acceleration in the vertical direction and mounted on the floor of the car; ↑ – accelerometer 9, fixing vibration acceleration in the transverse direction and mounted on the sidewall of the car; ① – numbering of accelerometer installation zones.



Table 2

**Root-mean-square levels of vertical vibration acceleration in the accelerometer installation zone 4 (middle – floor of the car)**

Speed, km/h	Frequency bands, Hz	Permissible values, m/s <sup>2</sup>	№ variant		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,31	0,22	0,08
100	8,0	0,11	0,26	0,25	0,11
	10,0	0,14	0,23	0,22	0,13
120	8,0	0,11	0,14	0,18	0,09
	10,0	0,14	0,18	0,19	0,12

Table 3

**Indicators of smooth run in the vertical direction at different speeds in the installation area of the accelerometer 4**

Speed, km/h	Permissible value	№ variant		
		1	2	3
80	3,25	2,67	2,51	2,49
100		2,69	2,61	2,52
120		2,66	2,59	2,47

vibration acceleration in accordance with [7]. Note that for other frequency bands and the speed the excess of the allowed values is not fixed.

Table 2 shows that the completion of the car according to the 3<sup>rd</sup> variant (the frame of the car is reinforced with longitudinal beams (Pic. 2)) ensures the reduction of maximum values of vertical vibration acceleration in the problem central part of the car (accelerometer installation zone 4) to a level below the permissible values at speeds of movements of the test train of 80, 100 and 120 km / h.

Thus, for the lounge car manufactured on the basis of the passenger compartment car of the model 61–4440, the task to reduce the level of vibration acceleration was solved by detuning from the resonance due to the increase in bending stiffness of the body.

In addition, during running tests of the car, a smooth run index was determined. Table 3 shows the obtained indicators of smooth run in the accelerometer installation zone 4.

Analyzing Table 3, we can note the following results, which can be used in further work on the

control of the vibration characteristics of passenger cars, namely:

– installation of a diesel generator on a non-reinforced car frame increases (worsens) the smooth run index to 7 % (it follows from the analysis of the results of the test variants № 1 and № 2);

– reinforcement of the car frame reduces (improves) the smooth run indicator to 8 % (follows from the analysis of the results of the test variants № 1 and № 3).

On the basis of the compartment car model 61–4440 lounge car model 61–4485 was developed and manufactured. During the tests, it shows an increased level of vibration in individual sections. Pic. 3 shows the layout of the lounge car. It can be seen that the transverse partitions in the cabin (2 pcs.) and the compartment-cabinet (1 pc.) were removed. In addition, the longitudinal partition of the large corridor was «torn». From the boiler end of the car to the cabin, the longitudinal partition is located along the boiler sidewall. From the cabin to the non-brake end of the car, the longitudinal partition is located along the non-boiler sidewall.

At the stage of preparation of recommendations on elimination of excessive vibration in individual sections of the lounge car of the model 61–4485 equipped with bolsterless bogies models 68–4095 and 68–4096 with disk brakes, the range of studies was expanded in comparison with the lounge car manufactured on the basis of serial compartment car model 61–4440.

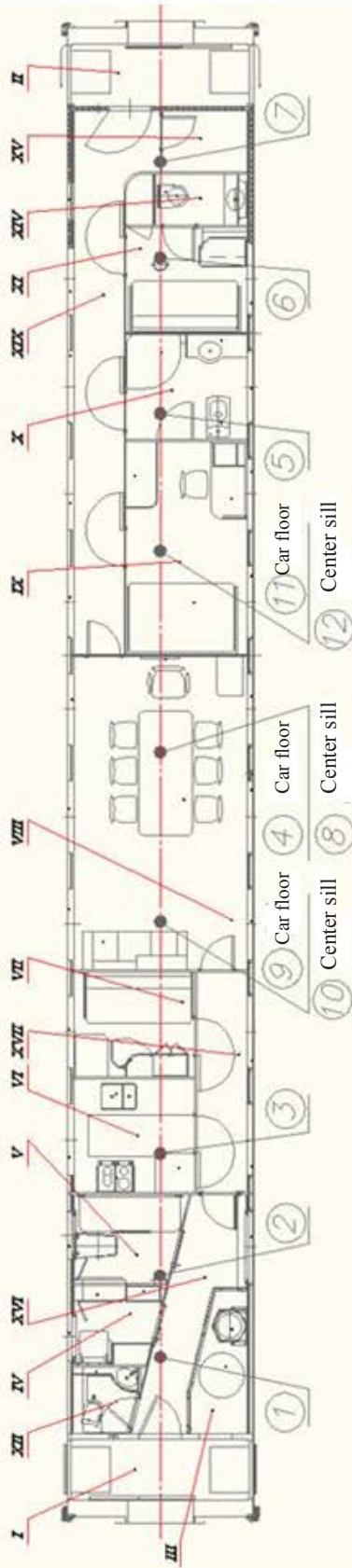
To solve the problems, a number of dynamic running tests were carried out in various directions, with subsequent refinement of the body and selection of the most rational vertical damper of the central suspension. Evaluation of the dynamic characteristics of the car was carried out in the speed range from 50 to 120 km / h in increments of 10 km / h. The scheme of installation of accelerometers is shown in Pic. 3, and Table 4 shows the routes and variants of modernization of the lounge car.

At first, the frame of the car was reinforced in the middle part with longitudinal elements. As the trips and vibration measurements were made, the number



**Pic. 2. Frame of the car, reinforced with longitudinal beams.**

Interior layout of the car model 61-4485



- |   |   |
|---|---|
| I – covered platform of the brake end of the car                              | X – toilet room of the main passenger                       |
| II – covered platform of the non-brake end of the car                         | XI – 2-seat passenger compartment                           |
| III – boiler room   | XII – toilet of the general use of the brake end of the car |
| IV – service room   | XIV – toilet room of the guest compartment                  |
| V – compartment for rest of conductors, communications and video surveillance | XV – wardrobe room (utility room)                           |
| VI – compartment- kitchen   | XVI – corridor of the brake end of the car                  |
| VII – 2-seat passenger compartment (referent)                                 | XVII – small corridor                                       |
| VIII – parlour  | XIX – corridor of the non-brake end of the car              |
| IX – compartment of the main passenger  |   |

**Pic. 3. Layout and diagram of arrangement of accelerometers during running tests.**  
 • – accelerometers 1–7, 9, 11, fixing vibration acceleration in the vertical direction and installed on the floor of the car (accelerometers 8, 10, 12 fixing vibration acceleration of the center sill); ① – numbering of accelerometer installation zones.



Test variants of the lounge car model 61-4485

№ variant	Speed range, km/h	Route	Reinforcement of the car frame	Note
1	50–120	Moscow–St.Petersburg	No	–
2			Yes	Car frame is reinforced with longitudinal beams
3			Yes	Car frame was reinforced with longitudinal beams. Vertical and horizontal hydraulic dampers of central suspension of Sachs company were substituted with the dampers of CJSC «Vagonkomplekt»

Table 5

Root-mean square levels of vertical vibration acceleration in the problem zones of the lounge car model 61-4485

Speed, km/h	Frequency bands, Hz	Permissible values, m/s <sup>2</sup>	№ variant		
			1	2	3
80	8,0	0,11	0,38	0,11	0,04
	10,0	0,14	0,06	0,09	0,03
90	8,0	0,11	0,66	0,16	0,10
	10,0	0,14	0,06	0,08	0,04
100	8,0	0,11	0,16	0,07	0,05
	10,0	0,14	0,28	0,13	0,09
110	8,0	0,11	0,17	0,10	0,06
	10,0	0,14	0,28	0,14	0,08
120	8,0	0,11	0,13	0,05	0,04
	10,0	0,14	0,25	0,14	0,09

of reinforcing longitudinal elements increased and eventually the overall reinforcement resulted in four composite longitudinal beams, two of which are located near the longitudinal binders, and the other two around the I-beam of the middle part of the composite center sill. Pic. 4 shows the element of the car frame, reinforced with longitudinal beams.

The results of tests at different speeds for determining the root-mean-square levels of vertical acceleration in problem zones are given in Table 5, and the indexes of smooth run in the vertical direction in Table 6.

Estimating the results of work on the lounge car model 61–4485, it can be noted that the task of reducing the levels of vibration acceleration is solved by detuning from resonance by changing the characteristics of the system (increasing bending stiffness of the body) and optimizing the spring suspension by installing the most optimal dampers for domestic railways. In Pic. 5 shows the average vibration levels obtained in the performance of a lounge car in accordance with variant № 3 of Table 4.

**Conclusions.** When manufacturing other types of cars (lounges, bars, laboratories) on the basis of serial compartment passenger cars, an increase in



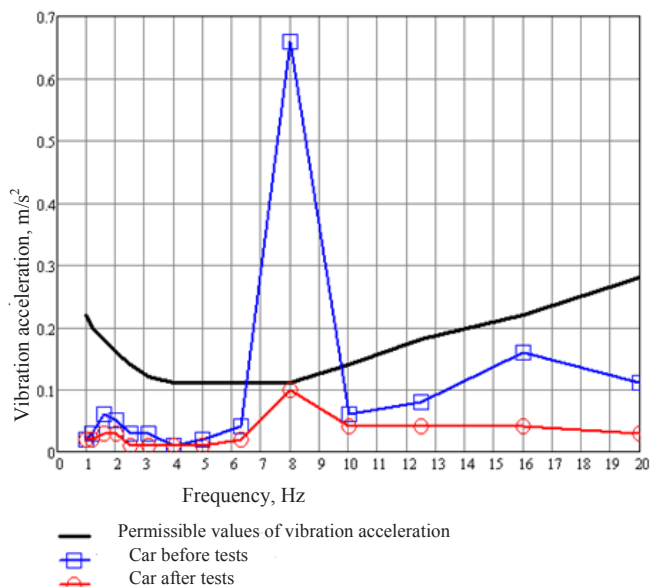
Pic. 4. Car frame reinforced with longitudinal beams.

Table 6

Indicators of smooth run in the vertical direction at various speeds of the lounge car model 61-4485

Speed, km/h	Permissible value	№ variant		
		1	2	3
50	3,25	2,33	2,23	2,10
60		2,34	2,25	2,11
70		2,49	2,29	2,12
80		2,68	2,34	2,13
90		2,82	2,40	2,19
100		2,63	2,35	2,18
110		2,68	2,41	2,21
120		2,63	2,42	2,23





**Pic. 5. Average vibration levels at the speed of the test car of 90 km / h (accelerometer installation zone 9 in Pic. 3).**

vibration acceleration is possible in comparison with the requirements of normative documents. The main reason is the radical redevelopment of the interior of the car (reducing bending stiffness of the body) and the installation of additional material-intensive intra-car and intensive intra- and under-car equipment.

As the tests showed, the elimination of high vibration in such cars is an expensive and time-consuming measure. In connection with this, the development of methods for controlling parameters of bending oscillations and vibration parameters of passenger car bodies becomes an urgent task. Moreover, the required method should cover all stages of the creation of cars, including the preparation of design documentation, the manufacture and testing of prototypes, their transfer to production.

For models of cars that are manufactured on the basis of the basic model 61–4440, when introducing vibration control methods, first of all, it is necessary to provide a procedure for calculating the natural frequencies and forms of vertical bending oscillations of the body, taking into account the deformation of the cross-sectional contour of the body and the location of the most material-intensive intra- and under-car equipment.

## REFERENCES

1. TR CU001/2011 Technical regulations of the Customs Union «On the safety of railway rolling stock» [TR TS001/2011 *Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza «O bezopasnosti zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava»*]. Minsk, Bel. GHS publ., 2012, 46 p.
2. Korshunov, S. D., Samoshkin, S. L. Modern methods of testing the railway rolling stock, which was repaired to various extent and newly built [Sovremennyye

metody ispytaniy zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava, proshedshego remonty razlichnykh ob'emov i vnov' postroennogo]. *Vagonnyj park*, 2012, Iss. 7, pp. 15–18.

3. Korshunov, S. D., Skachkov, A. N., Samoshkin, S. L., Goncharov, D. I., Zhukov, A. S. Technique of computational and experimental studies of the bodies of modern rolling stock [Metodika raschetno-eksperimental'nyh issledovaniy kuzovov sovremennogo podvizhnogo sostava]. *Izvestija PGUPS*, 2015, Iss. 4, pp. 38–47.

4. Passenger cars of locomotive traction. General technical requirements [GOST R55182–2012. *Vagony passazhirskie lokomotivnoj tjagi. Obshhie tehnicheckie trebovanija*]. Moscow, Standardinform publ., 2013, 24 p.

5. Meister, V. M. Study of vibration of passenger cars [Issledovanie vibracii passazhirskih vagonov]. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Leningrad, 1967, 20 p.

6. Skachkov, A. N., Zaitsev, A. V., Goncharov, D. I., Liferenko, V. Yu., Kazak, A. S. Investigation of vibration of passenger cars with an open salon [Issledovanie vibracii passazhirskih vagonov s otkrytym salonom]. Proceedings of the VI All-Russian scientific-practical conference «Problems and perspectives of development of car building». Bryansk, BSTU publ., 2014, pp. 96–98.

7. OST 24.050.16–85 Passenger cars. Method for determining the smooth run of the car [OST 24.050.16–85 *Vagony passazhirskie. Metodika opredelenija pлавnosti hoda vagona*]. Moscow, VNIIV publ., 1985, 15 p.

8. SP 2.5.2647–10 Sanitary rules for the organization of passenger transportations by rail (Amendments and addenda No. 2 to SP 2.5.1198–03) / Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation, № 68 of 16.07.2010 [SP 2.5.2647–10 *Sanitarnye pravila po organizacii passazhirskih perevozok na zheleznodorozhnom transporte (Izmeneniya i dopolneniya № 2 k SP 2.5.1198–03) / Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF, № 68 ot 16.07.2010*].

Information about the authors:

**Skachkov, Alexander N.** – Ph.D. (Eng.), director of CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia, +7 (4822) 55–54–32.

**Samoshkin, Sergey L.** – D.Sc. (Eng.), head of the department of CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia, +7 (4822) 79–40–33.

**Zaytsev, Andrey V.** – head of the laboratory of CJSC Scientific Organization Tver Car Building Institute, Tver, Russia, labr7@yandex.ru.

Article received 14.12.2017, accepted 20.03.2017.





# Подвижной состав на комбинированном ходу в России: развитие



Дмитрий ТАРАСОВ

Dmitry E. TARASOV

*Тарасов Дмитрий Эдуардович – ассистент кафедры «Логистика и управление транспортными системами» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

## The Developments of Hybrid Road-Rail Rolling Stock in Russia

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 78)

**В статье рассматриваются аспекты развития техники на комбинированном ходу – автотракторных средств различного назначения, оборудованных устройствами для движения по железнодорожному пути.**

**Приводится информация по особенностям конструкции, единичным и серийным образцам машин, построенных заводами СССР и современными отечественными предприятиями. В зависимости от специфики и типажа техники, автором обозначены актуальные проблемы и направления развития транспортных средств на комбинированном ходу, проектирование и производство которых призваны стать как минимум упорядоченными, технологичными и стандартизированными.**

*Ключевые слова:* техника на комбинированном ходу, подвижной состав, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, инновации.

**И**нновационное развитие в сфере транспорта обеспечивает обновление основных фондов, эффективную работу и взаимодействие различных видов техники, улучшает транспортную доступность населения и интеграцию с транспортными системами других государств. Внедрение новых наукоёмких технологий позволяет добиться комплексного сбалансированного прогресса транспорта, повысить уровень его безопасности и производительность перевозки грузов.

В качестве примера перспективных технических средств и новых технологий в области транспорта рассмотрим развивающийся в России особый тип подвижного состава – технику различного назначения на комбинированном ходу.

Техника на комбинированном ходу (ТКХ) – транспортные средства, способные осуществлять движение как по автомобильной дороге, так и по рельсовому пути за счёт установленного специального оборудования – дополнительных колёс/катков/роликов.

Основой для создания ТКХ являются: стандартные автотранспортные средства (общего назначения, специализированные, специальные), тракторы, а также под спе-

специальные цели спроектированные и построенные типы и виды машин.

Устройство ТКХ можно разделить на три части:

1. Базовое шасси – легковое/грузовое автотранспортное средство или трактор, специально доработанные для установки железнодорожного оборудования и работы на сети (оснащение системой связи, сигнализации, поездной тормозной системой, звуковой сигнализацией, сцепными устройствами и др.).

2. Ролики/катки/дополнительные тележки – рельсовые колёса [3], предназначенные для удержания ТКХ на рельсах и служащие в качестве направляющих при движении благодаря наличию реборд. Крепятся к доработанной раме транспортных средств, снизу, возле автотракторных колёс.

3. Надстройка – различные типы кузовов или специального оборудования, устанавливаемые на базе ТКХ в зависимости от сферы применения.

В настоящее время существует два варианта конструкции механизма комбинированного хода: направляющий и ведущий [2]:

- направляющий – для обеспечения устойчивости и направления: рельсовые колёса не взаимодействуют с автотракторными (двигателем являются основные автотракторные колёса, контактируя с рельсом);

- ведущий – для осуществления движения: рельсовые колёса взаимодействуют с автотракторными (автотракторные колёса, не взаимодействуя с рельсом, передают вращение каткам, тем самым приводя ТКХ в движение).

Процесс постановки техники на комбинированном ходу на железнодорожный путь различают двух типов:

1) традиционный: постановка осуществляется непосредственным заездом ТКХ с автомобильной дороги (переезда) на железнодорожное полотно. Для этого требуется расстояние длиной в среднем 5–10 м;

2) с использованием гидравлической опорно-поворотной площадки – специального устройства, находящегося под днищем транспортного средства. Тогда постановка происходит следующим образом:

- ТКХ заезжает на рельсы перпендикулярно им (например, на переезде);

- гидравлическое подъёмное устройство поднимает ТКХ на небольшую высоту;

- поворотный механизм поворачивает транспортное средство на 90°, размещая его точно над железнодорожной колеей;

- опускание, пока автотракторные колёса не встанут на рельсы.

После постановки с помощью гидравлического привода опускаются рельсовые колёса (катки, ролики, тележки) и ТКХ готово к работе.

Создание отечественных автомобилей на комбинированном ходу началось в первой половине XX века. За основу были взяты советские бронеавтомобили (например, БА-64), поэтому первым и единственным на тот момент заказчиком и потребителем такой техники являлась армия.

Практика создания ТКХ гражданского назначения началась в 1950 годы. Первыми подобными машинами стали автомобили, серийно выпускавшиеся на заводах министерства автомобильной промышленности СССР, а позже и других ведомств, укомплектованных соответствующим оборудованием комбинированного хода. В зависимости от выполняемых задач такая техника разделялась на пять групп:

1. Легковые автомобили и автобусы особо малого класса в качестве автодрезин и лёгких мотовозов для служебных перевозок. Наиболее распространённым базовым транспортным средством считались автомобили марки «УАЗ» (например, легковые УАЗ-469, УАЗ-3151 и др., санитарный микроавтобус УАЗ-452А).

2. Грузовые автомобили в качестве тягового агрегата (локомотива) для маневровой и вывозной работы. Известен пример использования бортового КраЗ-257, способного тянуть на задней сцепке состав массой до 1000 т [4].

3. Машины для выполнения погрузочно-разгрузочных работ: ТКХ на базе автомобильных кранов и погрузчиков. Применялись при ремонтах на железной дороге, а также в пунктах погрузки сыпучих и навалочных строительных материалов (благодаря применению грейфера вместо гака).

4. Техника для проведения ремонтно-путевых работ: специальные машины как гражданского, так и армейского применения, предназначенные для осуществления



**Рис. 1. Мобильный вагонотолкатель ТМВ-2.**



строительно-монтажных, ремонтно-восстановительных и диагностических работ на железной дороге. Пример такой техники – выправочно-подбивочно-рихтовочная машина ВПР-600, состоящая из гусеничного трактора-тягача с отвальным плугом и технологического прицепа на комбинированном ходу для ремонта пути; планировщик балласта ПБ-3М, включающий в себя гусеничный трактор-тягач с дополнительно установленными рельсовыми колёсами и прицепную гусеничную машину для распределения балласта.

5. ТКХ для военных целей, а также выполнения пожарных, спасательных и восстановительных работ в труднодоступных местах и тяжёлых условиях. Например, пожарная машина ГАЗ-59402 «Пурга», ремонтно-спасательная машина ГАЗ-59401, бронетранспортёр БТР-40ЖД, оснащённые комбинированным ходом [5].

В России сегодня изготавливаются ТКХ следующего назначения:

- машины для выполнения маневровой работы. Так, ООО «Миасский завод специализированных автомобилей» выпускает линейку автомобилей на комбинированном ходу – «МАРТ»: МАРТ-2 и МАРТ-3, позиционирующиеся как альтернатива маневровым тепловозам. Мотовозы ММТ-2 и КРТ-1 на базе колёсных тракторов производят соответственно ООО «Спецкран» и ООО «Ригель АВ». НПК «Уралвагонзавод» спроектировал и построил совершенно новый, не базирующийся на каком-либо серийно выпускающемся транспортном средстве,

вид ТКХ – мобильный вагонотолкатель ТМВ-2 (рис. 1);

- машины для содержания и ремонта пути. Например, мобильная дефектоскопная лаборатория ЛДМ-1 на базе УАЗ-3160 «Patriot» (рис. 2) и рельсосварочный комплекс на базе вахтового автобуса ВМ-3284-0000010-03 на шасси ГАЗ-3308 «Садко» производства ЗАО «Фирма Твема». ОАО «ПО ЕлаЗ» выпускает грузопассажирскую машину ГПМ-К на шасси КамАЗ-43118. ООО «Ригель АВ» предлагает универсальную путевую машину УПМ-1 на базе трактора ХТЗ-150К, которая оснащается различным навесным оборудованием.

Техника на комбинированном ходу имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным маневровым локомотивом, а именно:

1. Универсальность.
2. Маневренность.
3. Наибольшая эффективность.
4. Большая экономическая выгода.
5. Более простое обслуживание и ремонт.

Использование и дальнейшее развитие ТКХ целесообразны при эксплуатации на крупных промышленных предприятиях, в портах, пунктах ремонта подвижного состава, путевых хозяйствах, спасательных и аварийно-восстановительных службах. Это позволяет более оперативно с меньшими затратами средств и времени, по сравнению с традиционной железнодорожной техникой, проводить различные транспортные, погрузочно-разгрузочные и специальные операции, что с точки зрения

логистики является весьма выгодным решением.

Наконец, стоит отметить, что внедрение техники на комбинированном ходу закрепилось и на нормативно-правовом уровне. Так, распоряжением ОАО «РЖД» от 6 февраля 2014 г. № 289р «Об утверждении и введении в действие временной инструкции по эксплуатации съёмных подвижных единиц на комбинированном ходу по инфраструктуре ОАО «РЖД» создана инструкция, устанавливающая порядок эксплуатации подвижного состава на комбинированном ходу, а также порядок действий работников при их эксплуатации [1].

## ВЫВОДЫ

1. Необходимо дальнейшее планомерное и экономически обоснованное внедрение техники на комбинированном ходу различных типов и видов с учётом зарубежного и отечественного опыта.

2. Приоритетные направления применению ТКХ на «пространстве 1520» на начальном этапе: маневровая работа в качестве тягового модуля на крупных сортировочных станциях и узлах, промышленных объектах и терминально-складских комплексах; лабораторно-диагностические и измерительные, строительно-монтажные, ремонтно-восстановительные и поисково-спасательные работы в качестве активных единиц электромонтажных, восстановительных, пожарных и воинских поездов.

3. Разработка, проектирование и производство подвижного состава и оборудования должны осуществляться отечественными предприятиями, создавая конкуренцию зарубежным аналогам.

4. Следует определить четкую классификацию подвижного состава на комбинированном ходу по конструктивным особенностям и специализации с учётом специфики сферы применения; выработать и согласовать систему обозначений при сертификации и получении в соответствии с отраслевой нормалью ОН 025 270–66 (или другим стандартом, принятым изготовителем).

5. Нужен единый терминологический аппарат для точного и безальтернативного



Рис. 2. Дефектоскопная лаборатория ЛДМ-1.

определения названий подвижного состава на комбинированном ходу, его узлов, агрегатов и оборудования ввиду разнообразия понятий и терминов в своих источниках, что нередко вызывает путаницу («локомотив», «локомотив», «катки», «ролики», «дополнительные рельсовые колеса»).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Временная инструкция по эксплуатации съёмных подвижных единиц на комбинированном ходу в инфраструктуре ОАО «РЖД». Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 06.02.2014 № 289р [Электронный ресурс]: СЦБИСТ – железнодорожный форум [сайт]. [2000–2016]. Дата обновления: 29.03.2014. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://static.scbist.com/scb/uploaded/1\\_1396109891](http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1396109891). Доступ 12.10.2016.

2. Довгяло В. А., Бочкарев Д. И., Ташбаев В. А. Универсальный подвижной состав на комбинированном ходу // Новые материалы и технологии в технике: Материалы Международной научно-техн. конференции «Новые материалы и технологии в строительстве и дорожном комплексе-2008». [Электронный ресурс]: Интернет-сайт Брянской государственной инженерно-технологической академии (БГИТА), посвящённый проводимым международным научно-техническим конференциям [2000–2014]. URL: [http://science-bsea.narod.ru/2008/stroy\\_2008/dovgalo\\_univers.htm](http://science-bsea.narod.ru/2008/stroy_2008/dovgalo_univers.htm). Доступ 12.10.2016.

3. Платонов А. А. Унификация названий транспортных средств на комбинированном ходу // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. [Электронный ресурс]: Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/1/269.pdf>. Доступ 12.10.2016.

4. Пятницкий А. По рельсам, как по асфальту // Техника-молодежи. – 1985. – № 4. – С. 24–25.

5. Собин В. Машины на комбинированном ходу в военное и мирное время. [Электронный ресурс]: Военное обозрение [сайт]. [2010–2016]. Дата обновления: 11.03.2012. URL: <http://topwar.ru/12207-mashiny-na-kombinirovannom-hodu-v-voennoe-i-mirnoe-vremya.html>. Доступ 12.10.2016.

Координаты автора: **Тарасов Д. Э.** – [detarasov@mail.ru](mailto:detarasov@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 12.10.2016, принята к публикации 07.02.2017.



## THE DEVELOPMENTS OF HYBRID ROAD-RAIL ROLLING STOCK IN RUSSIA

*Tarasov, Dmitry E., Moscow State University of Railway Engineering (MIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

The article deals with the aspects of the development of hybrid road-rail rolling stock – automotive tractors of various purposes equipped with devices for movement along the railway track. Information is provided on the design features, single and serial models of machines built by the plants of

the USSR and modern domestic enterprises. Depending on the specificity and type of hybrid road-rail equipment, the author identifies the current problems and directions of development of hybrid road-rail vehicles, the design and production of which are designed to become at least ordered, technological and standardized.

*Keywords:* hybrid road-rail transport, rolling stock, road transport, rail transport, innovations.

**Background.** *The innovative development in the sphere of transport ensures the renewal of fixed assets, efficient work and interaction of various types of equipment, improves the transport accessibility of the population and integration with transport systems of other states. The introduction of new science-intensive technologies makes it possible to achieve an integrated balanced transport progress, to increase its safety level and the productivity of cargo transportation.*

*Let's consider as an example of advanced technical means and new technologies in the field of transport, a special type of rolling stock, developing in Russia, – hybrid road-rail machinery of various purposes.*

**Objective.** *The objective of the author is to consider hybrid road-rail vehicles in Russia and, in particular, its development.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, statistical data.*

**Results.** *Hybrid road-rail machinery (HRRM) – vehicles that can move both on the road and on the track by means of installed special equipment – additional wheels / rollers.*

*The basis for creating HRRM is: standard vehicles (general purpose, specialized, special), tractors, as well as types and kinds of machines designed and constructed for special purposes.*

*Arrangement of HRRM can be divided into three parts:*

1. **Basic chassis** – passenger car or truck or tractor, specially modified for the installation of railway equipment and work on the network (equipping with the communication system, alarm system, train braking system, sound alarm, coupling devices, etc.).

2. **Rollers / additional bogies – rail wheels** [3], designed to hold HRRM on rails and serving as guides for movement due to the presence of flanges. They are attached to the modified frame of vehicles, from below, near the tractor wheels.

3. **Superstructure** – various types of bodies or special equipment, installed on the basis of HRRM, depending on the scope of application.

*Currently, there are two versions of the hybrid road-rail mechanism: guiding and driving [2]:*

- *guiding – to ensure stability and direction: rail wheels do not interact with autotractor wheels (the propulsor is the main autotractor wheels, contacting the rail);*

- *driving – to carry out the movement: the rail wheels interact with the autotractor wheels (the autotractor wheels, without interacting with the rail, transfer the rotation to the rollers, thereby driving the HRRM).*

*The process of placing the hybrid road-rail machinery on a railway track is of two types:*

1) *traditional: the placing is carried out by direct HRRM arrival from the road (crossing) to the railway track. This requires an average distance of 5–10 m;*

2) *using a hydraulic bearing-turning platform – a special device located under the bottom of the vehicle. Then the placing is as follows:*

- *HRRM comes to rails perpendicular to them (for example, at the crossing);*

- *the hydraulic lifting device raises the HRRM to a small height;*

- *the turning mechanism turns the vehicle by 90°, placing it precisely above the railway track;*

- *lowering until the autotractor wheels are placed on the rails.*

*After placing by means of a hydraulic drive, the rail wheels (rollers, bogies) are lowered and HRRM is ready for operation.*

*The creation of domestic hybrid road-rail cars began in the first half of XX century. The basis was Soviet armored vehicles (for example, BA-64), so the first and only at that time, the customer and consumer of such equipment was the Red Army.*

*The creation of HRRM of civil purpose began in the 1950s. The first cars of this kind were cars that were mass-produced at the plants of the Ministry of Automotive Industry of the USSR, and later other departments equipped with the appropriate hybrid road-rail equipment. Depending on the tasks performed, this machinery was divided into five groups:*

1. *Cars and buses of especially small class as autotrains and light motorized locomotives for service transportations. The most widely used basic vehicle was the UAZ car (for example, passenger cars UAZ-469, UAZ-3151, etc., sanitary minibus UAZ-452A).*

2. *Trucks as a traction unit (locomotive) for shunting and export work. An example of the use of an onboard KrAZ-257 is known, capable of pulling on the rear coupling a composition weighing up to 1000 tons [4].*

3. *Machines for performing loading and unloading operations: HRRM based on automobile cranes and loaders. They were used for repairs on the railway, as well as at loading points for fine grade and bulk construction materials (due to the use of the feeding claw instead of the hook).*

4. *Machinery for carrying out repair and track works: special machines for both civil and military use, designed for construction, installation, repair and restoration and diagnostic work on the railway. An example of such a machinery is the VPR-600 flattener machine, consisting of a crawler hauling tractor with a turn plow and a hybrid road-rail technological trailer for repairing the track; the ballast leveling machine PB-3M, which includes a crawler hauling tractor with*



**Pic. 1. Mobile shunter TMV-2.**

an additionally installed rail wheels and a trailed track-type machine for ballast distribution.

5. HRRM for military purposes, as well as performing fire, rescue and recovery operations in hard-to-reach places and difficult conditions. For example, the fire truck GAZ-59402 «Purga», the rescue vehicle GAZ-59401, the armored personnel carrier BTR-40ZhZ, equipped with a hybrid road-rail mechanism [5].

In Russia today HRRM of the following purpose is made:

- machines for shunting operations. So, LLC Miass factory of specialized cars produces a line of hybrid road-rail cars – «MART»: «MART-2» and «MART-3», positioned as an alternative to shunting locomotives. The motor locomotives MMT-2 and KPT-1 on the basis of wheeled tractors are manufactured by LLC Spetskran and LLC Rigel AV, respectively. RPC Uralvagonzavod designed and built a completely new type of HRRM – mobile shunter TMV-2, not based on any commercially available vehicle (Pic. 1);

- machines for track maintenance and repair. For example, the mobile defectoscope laboratory LDM-1 on the basis of UAZ-3160 «Patriot» (Pic. 2) and the rail-welding complex based on the shift bus VM-3284-0000010-03 on the chassis GAZ-3308 «Sacko» produced by CJSC Firma Tvema. JSC PO EIAZ produces a cargo-passenger machine GPM-K on the chassis of KamAZ-43118. LLC Rigel AV offers a universal track machine UPM-1 on the basis of the tractor HTZ-150K, which is equipped with various attachments.

Hybrid road-rail machinery has a number of advantages in comparison with the usual shunting locomotive, namely:

1. Universality.
2. Maneuverability.
3. The greatest efficiency.
4. Great economic benefit.
5. Easier maintenance and repair.

The use and further development of HRRM are expedient for operation at large industrial enterprises, in ports, repair points for rolling stock, track facilities, rescue and emergency recovery services. This makes it possible to conduct various transport, handling and special operations more quickly, with less expenses and time than traditional railway equipment, which is a very advantageous solution from the point of view of logistics.

Finally, it is worth noting that the introduction of hybrid road-rail machinery was also fixed at the regulatory and legal level. Thus, by the order of Russian Railways of February 6, 2014, No. 289r, «On approval and implementation of the temporary instruction for the operation of removable mobile hybrid road-rail units on the infrastructure of JSC Russian Railways», an instruction has been issued that establishes the procedure for operating the hybrid road-rail rolling stock, as well as the procedure for actions of employees in their operation [1].

#### **Conclusions.**

1. Further systematic and economically justified introduction of hybrid road-rail machinery of various types and kinds is necessary, taking into account foreign and domestic experience.

2. Priority directions of HRRM application in the «1520 space» at the initial stage: shunting work as a traction module at large sorting stations and nodes,





**Pic. 2. Fault detection laboratory LDM-1.**

industrial facilities and terminal-warehouse complexes; laboratory diagnostic and measuring, construction and assembly, repair and recovery and search and rescue operations as active units of wiring, repair, fire and military trains.

3. The development, design and production of rolling stock and equipment should be carried out by domestic enterprises, creating competition to foreign peers.

4. It is necessary to define a clear classification of the hybrid road-rail rolling stock in terms of design features and specialization, taking into account the specifics of the scope of application; to develop and agree on a system of designations for certification and production in accordance with the industry standard OH 025 270–66 (or other standard adopted by the manufacturer).

5. A unified terminological apparatus is required for the precise and non-alternative definition of the names of the hybrid road-rail rolling stock, its nodes, units and equipment, in view of the diversity of concepts and terms in its sources, which often causes confusion («locomobile», «locotractor», «rollers», «additional rail wheels»).

## REFERENCES

1. Temporary instruction on the operation of removable mobile hybrid road-rail units on the infrastructure of JSC Russian Railway. Approved by the decree of JSC Russian Railways of February 6, 2014 № 289r [Vremennaja instrukcija po ekspluatácii s'jomnyh podvizhnyh edinic na kombinirovannom hodu na infrastrukture OAO «RZhD». Utverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD» ot

06.02.2014 № 289r]. [Electronic resource]: SCBIST – railway forum [website]. [2000–2016]. The date of update: 29.03.2014. System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: [http://static.scbist.com/scb/uploaded/1\\_1396109891](http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1396109891). Last accessed 12.10.2016.

2. Dovgalo, V. A., Bochkarev, D. I., Tashbaev, V. A. A universal hybrid road-rail rolling stock [Universal'nyj podvizhnoj sostav na kombinirovannom hodu]. *New materials and technologies in machinery: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «New materials and technologies in the construction and road complexes-2008»*. [Electronic resource]: The website of Bryansk State Engineering and Technology Academy (BSETA), dedicated to the ongoing international scientific and technical conferences [2000–2014]. URL: [http://science-bsea.narod.ru/2008/stroy\\_2008/dovgalo\\_univers.htm](http://science-bsea.narod.ru/2008/stroy_2008/dovgalo_univers.htm). Last accessed 12.10.2016.

3. Platonov, A. A. Unification of the names of hybrid road-rail vehicles [Unifikacija nazvanij transportnyh sredstv na kombinirovannom hodu]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2014, Iss. 1. [Electronic resource]: System requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/1/269.pdf>. Last accessed 12.10.2016.

4. Pyatnitsky, A. On the rails as on asphalt [Po rel'sam, kak po asfal'tu]. *Tehnika-molodezhi*, 1985, Iss. 4, pp. 24–25.

5. Sobin, V. Hybrid road-rail machines in military and peacetime [Mashiny na kombinirovannom hodu v voennoe i mirnoe vremja]. [Electronic resource]: *Voennoe obozrenie* [website]. [2010–2016]. Date of the update: 11.03.2012. URL: <http://topwar.ru/12207-mashiny-na-kombinirovannom-hodu-v-voennoe-i-mirnoe-vremja.html>. Last accessed 12.10.2016. ●

Information about the author:

**Tarasov, Dmitry E.** – assistant of the department of Logistics and Management of Transport Systems of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, detarasov@mail.ru.

Article received 12.10.2016, accepted 07.02.2017.





## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

15 марта в ОАО «РЖД» состоялось совещание с участниками рынка грузовых железнодорожных перевозок. В нем приняли участие топ-менеджеры компаний-грузовладельцев, операторов железнодорожного подвижного состава, вагоноремонтного комплекса, руководители отраслевых объединений, а также представители Министерства транспорта РФ и Федеральной антимонопольной службы.

Как отметил президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров, в третьем квартале 2017 года ОАО «РЖД» планирует полностью перейти к приему, обработке и согласованию заявок для внутрироссийских перевозок в автоматизированном режиме. Также Олег Белозёров проинформировал участников совещания о ходе работ по внедрению электронной торговой площадки «Грузовые перевозки».

«Она позволит заказать перевозку из любой точки, где есть доступ к Интернету, и оплатить её. Есть возможность оплаты перевозок третьими лицами, что важно для крупных холдингов. Все это — без длительных процедур согласования и с прозрачным ценообразованием», — отметил президент компании, подчеркнув, что это серьезный шаг к сбалансированности цен на железнодорожные перевозки.

13 апреля в Москве завершились переговоры между ОАО «Российские железные до-

роги» и корпорацией «Китайские железные дороги» (КЖД). Стороны отметили высокую динамику железнодорожных контейнерных перевозок в сообщении Китай—Россия—Европа и договорились усилить работу по внедрению технологий электронного обмена данными, а также сошлись в своих оценках перспектив контейнерных перевозок — порядка 1 млн контейнеров в год.

«Сегодня обмен бумажными документами не просто неэффективен, он наносит ущерб конкурентоспособности железнодорожного транспорта. Необходимо тиражировать практику оформления накладной ЦИМ/СМГС на разных маршрутах. В конечном итоге мы должны прийти к отправке контейнерных поездов «по расписанию», — сказал первый вице-президент ОАО «РЖД» Александр Мишарин.

«Грузовая база для транзита у нас есть, но для того чтобы привлечь ее на железнодорожный транспорт, необходимо отрегулировать вопросы, связанные с таможенным оформлением», — заявил заместитель генерального директора корпорации «Китайские железные дороги» Хуан Минь.

По материалам  
пресс-службы ОАО «РЖД» ●

## DIGITALISATION OF RAIL TRANSPORTATION

On 15 March 2017, Russian Railways conducted a meeting with participants in the freight rail transportation market attended by top managers from freight owners, rolling stock operators, the wagon-repair complex and heads of industry associations, as well as representatives from Russia's Ministry of Transport and Federal Antimonopoly Service.

President of Russian Railways Oleg Belozeroz declared that in the third quarter of 2017, the company plans to switch completely to accepting, processing and agreeing to orders for domestic transportation in automated mode.

Oleg Belozeroz also informed the participants of the meeting about the progress in implementing the Freight Transport electronic trading platform.

«It will allow clients to order and pay for transportation from anywhere which has access to the Internet. It is also possible for third parties to pay for the transportation, which is important to large holdings. All these processes can be done without lengthy approval procedures and with transparent pricing», said the Company President, who stressed that the Freight Transport electronic trading platform was a serious step towards balancing prices for rail transportation.

On April, 13, 2017 negotiations between JSC Russian Railways and Chinese Railways have been concluded in Moscow.

The sides noted the high number of China-Russia-Europe rail container shipments and agreed to consolidate their work on introducing electronic data exchange technologies. They also agreed in their assessments that the potential for container transportation is about 1 million containers per annum.

«Today, the exchange of paper documents is not just inefficient, it also damages the competitiveness of railway transport. It is necessary to replicate the practice of issuing the CIM/SMGS consignment note on different routes. And finally, we must arrive at the point where we can dispatch container trains 'by timetable'», said Alexander Misharin, First Vice-President of Russian Railways.

«We have a freight base for transit, but in order to attract it to rail transport, it is necessary to regulate issues related to customs clearance», said Huang Ming, Deputy Managing Director of Chinese Railways.

Based on releases of press service  
of JSC Russian Railways ●



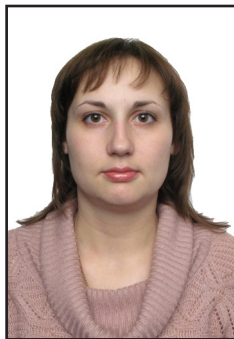


# Анализ контролепригодности тормозной системы грузового вагона



Александр ИВАНОВ  
Alexander A. IVANOV

Мария КОЗАРЕЗОВА  
Maria A. KOZAREZOVA



*Иванов Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения, (МИИТ), Москва, Россия.*

*Козарезова Мария Александровна – ведущий технолог управления вагонного хозяйства Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

**Analysis of Controllability of a Freight Car Brake System**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 91)

**В статье рассмотрены отказы тормозной системы вагона, приводящие к задержкам поездов, определены их причины, проведён анализ контроле- и ремонтпригодности элементов, которые подлежат регулярному техническому обслуживанию.**

**Сформулированы рекомендации, направленные на снижение задержек поездов на гарантийных участках, вызванных отказами тормозной системы грузового вагона. При этом акцент сделан на комплексный подход, подразумевающий широкий спектр задач, включая стадии проектирования, конструирования, эксплуатации и финансово-экономического сопровождения процесса.**

**Ключевые слова:** железная дорога, грузовой вагон, тормозная система, техническое обслуживание, отказ, контролепригодность, ремонтпригодность.

**В**ажной задачей при эксплуатации грузовых вагонов остается обеспечение безаварийного проследования поездов в пределах гарантийных участков, при реализации которой зачастую возникают следующие проблемы:

– ограниченная или даже нулевая контролепригодность некоторых ответственных элементов конструкции вагона в пункте технического обслуживания (ПТО);

– осмотрщики вагонов в своей работе вынуждены полагаться в основном не на технические средства, а на так называемые органолептические методы обнаружения повреждений и отказов конструкции вагона (зрение, слух);

– ограничение времени на контроль технического состояния вагона, установленное графиком движения поездов;

– необходимость выполнения технического обслуживания в ночное время и в сложных погодных условиях (дождь, снег и т.п.).

Этим нередко объясняются случаи невыявления и неустранения осмотрщиками вагонов на ПТО неисправностей, каждая из которых приводит как минимум к оста-

новке поезда на перегоне. Такие случаи считаются отказами технических средств на гарантийном участке соответствующего ПТО, и в настоящее время их учёт ведётся в комплексной автоматизированной системе учёта, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надёжности на железнодорожном транспорте (КАС АНТ).

## ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ

В зависимости от последствий отказов для ОАО «РЖД» введена следующая их классификация по категориям:

отказы 1-й категории – отказы, приведшие к задержке поезда на перегоне (станции) на 1 час и более, либо приведшие к транспортным происшествиям или событиям, связанным с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта;

отказы 2-й категории – отказы, приведшие к задержке поезда на перегоне (станции) продолжительностью от 6 минут до 1 часа;

отказы 3-й категории – отказы, не имеющие последствий, относящихся к отказам 1-й и 2-й категории [1].

Так, на железных дорогах Российской Федерации в системе КАС АНТ за 2015 год зафиксировано 1766 случаев отказов технических средств, наибольшее количество, или 61 % которых допущены по неисправности автотормозного оборудования вагонов [2].

Как показывает опыт эксплуатации грузовых вагонов, основными причинами отказов тормозной системы являются воздухораспределитель, тормозная магистраль, тормозная рычажная передача, тормозная арматура. Реже встречаются отказы: авторежима, тормозного цилиндра, запасного резервуара, стояночного тормоза.

Также имеются и случаи отказов тормозной системы вагона вследствие некачественного исполнения осмотрщиком функций по обслуживанию и ремонту тормозного оборудования на ПТО. К ним относятся:

– несоответствие расстояния от торца муфты защитной трубы авторегулятора тормозной рычажной передачи до начала присоединительной резьбы на его винте;

– завал вертикальных рычагов тормозной рычажной передачи тележки в мёртвой точке;

– несоответствие расстояния между корпусом авторегулятора и упорным рычагом (упором);

– неплотное прилегание магистральной или главной части воздухораспределителя к рабочей камере;

– неправильное включение режима торможения/отпуска воздухораспределителя.

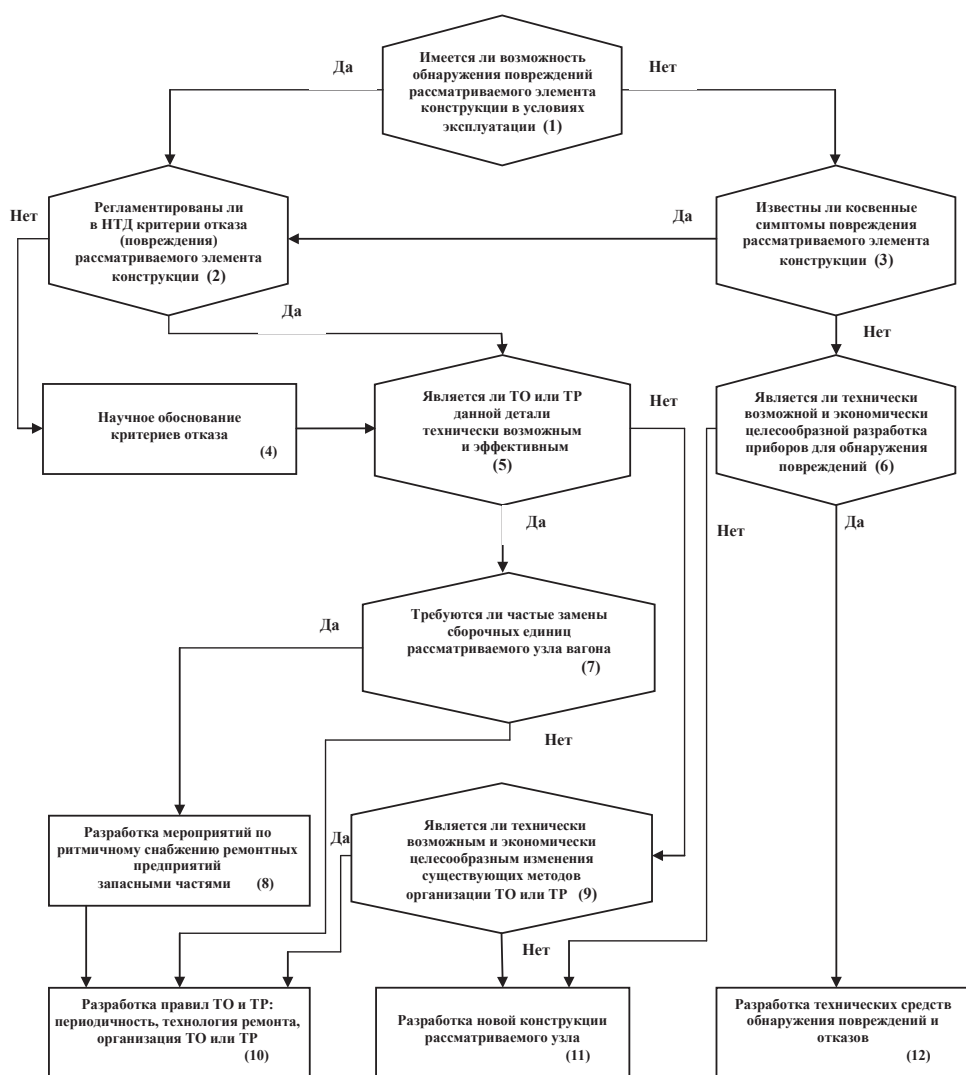
Ещё одной причиной, приводящей к неспособности тормозной системы обеспечить необходимую эффективность торможения поезда, является вмешательство посторонних лиц. К ним относятся разъединение соединительных рукавов, перекрытие концевых кранов, затяжка стояночного тормоза.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

Эксплуатируемые ныне автоматизированные средства диагностики подвижного состава (комплекс технических средств многофункциональный (КТСМ-02), пост акустического контроля, комплекс для измерения геометрических параметров колесных пар, система обнаружения вагонов с отрицательной динамикой (АСООД), устройство контроля схода подвижного состава (УКСПС), которыми повсеместно оснащены подходы к сортировочным станциям и перегоны), позволяют контролировать технические параметры отдельных узлов вагона, увеличивая вероятность выявления их неисправного состояния. Однако в настоящее время отсутствуют технические средства, определяющие приближение тормозной системы вагона к неработоспособному виду [3]. То есть её отказы можно отнести к внезапным, которые не контролируются с помощью автоматизированных диагностических комплексов, и потому с очевидностью встает задача, непосредственно связанная с определением величины гарантийного участка пункта технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов, а также периодичности контроля их тормозной системы.

Для решения этой задачи необходимо выполнить анализ уровня контроле- и ре-





**Рис. 1. Блок-схема анализа ремонтпригодности элемента конструкции применительно к техническому обслуживанию вагона.**

монтопригодности элементов тормозной системы в условиях эксплуатации, оценить саму возможность к обнаружению и устранению отказов автотормозного оборудования при использовании вагона по назначению.

Известно, что ремонтпригодность – это свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путём технического обслуживания и ремонта. А контролепригодность – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами.

Методика оценки ремонтпригодности в основном базируется на использовании экспертной оценки и анализе. В данном случае эта идея может быть реализована с помощью блок-схемы, представленной на рис. 1 [4].

Каждый элемент тормозной системы подвергается анализу, в процессе которого исследователь, полагаясь не только на свои знания, опыт и интуицию, но и на помощь экспертов в соответствующих областях науки и техники, а также на печатные источники, должен ответить в форме «да – нет» на ряд расположенных в определённой последовательности вопросов.

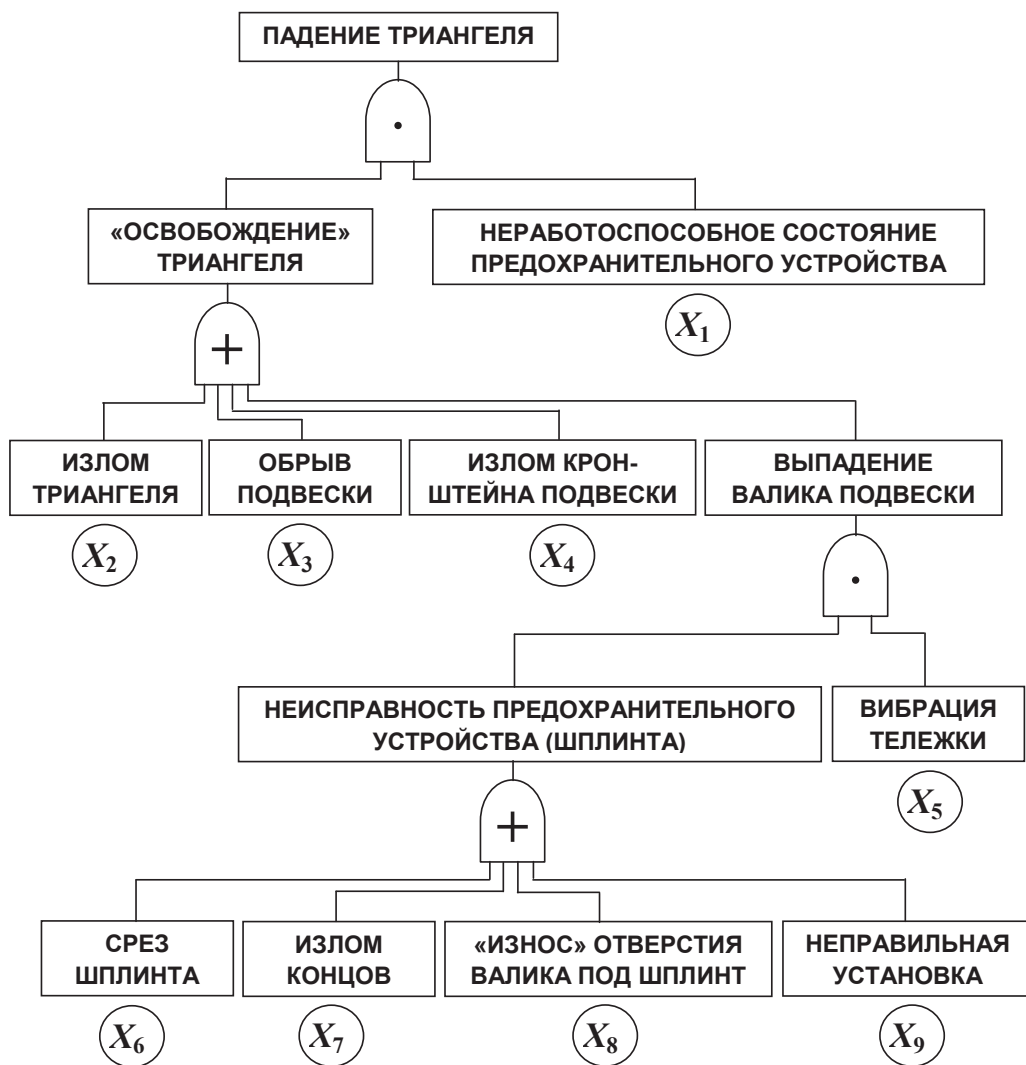


Рис. 2. Древо событий относительно падения триангеля на путь.

Последовательность номеров блоков составляет шифр, характеризующий ремонтпригодность рассматриваемого элемента тормозной системы вагона. При этом отказы для каждого элемента удобно будет разбить на три группы:

1. Имеющие нулевую контролепригодность и ремонтпригодность при непосредственном использовании вагона по назначению (в условиях ПТО станции).

2. Полностью контролепригодные и ремонтпригодные в эксплуатации.

3. Имеющие ограниченную контролепригодность и ремонтпригодность.

### ШИФР ОСНОВНЫХ УЗЛОВ

Как показано в [5], к сходу вагона с рельсов, который чреват крушениями и авариями, могут привести случаи падения деталей на путь, в частности триангеля тормозной рычажной передачи тележки, одной из наиболее частых причин чего считается выпадение валика подвески башмака.

Событие «Падение триангеля на путь» можно представить в виде древовидной схемы, показанной на рис. 2. Причем выпадение валика подвески башмака — это зависимый отказ, возникновение которого обусловлено повреждениями



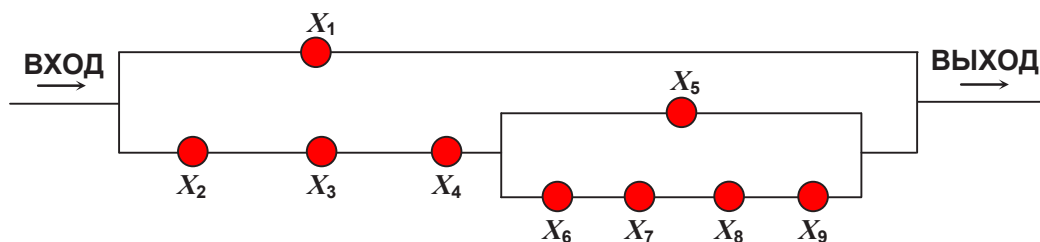


Рис. 3. Двухполюсное представление дерева событий.

Таблица 1

Анализ ремонтпригодности тормозной рычажной передачи тележки относительно выпадения валика подвески башмака

Исходная позиция	Принятое решение	Искомая позиция	Обоснование принятого решения
1	Да	2	В результате проведенного опроса специалистов по тормозному оборудованию служб вагонного хозяйства дирекций инфраструктуры выяснено, что данная неисправность выявляется при визуальном осмотре на ПТО.
1–2	Да	1–2–5	Согласно технической документации не допускается отсутствие валика подвески тормозного башмака.
1–2–5	Да	1–2–5–7	На ПТО имеется возможность постановки валика подвески башмака.
1–2–5–7	Да	1–2–5–7–8	Для повышения ремонтпригодности целесообразна разработка мероприятий по ритмичному снабжению ПТО запасными частями, а именно валиками подвески башмака, предохранительными скобами (для исключения потери валика), а также фиксирующими устройствами – шплинтами и шайбами. На основании норм расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание грузовых вагонов на путях станции № ПКТБ ЦУНР/ЦУНР-13.5.0192–15, составленным на основании статистических данных и утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 3 ноября 2015 года № 2622р, на пунктах технического обслуживания заменяется 0,28 валиков подвески башмака, 0,124 шплинтов, 30 предохранительных скоб на каждые 1000 вагонов.
1–2–5–7–8		1–2–5–7–8–10	Для повышения ремонтпригодности необходимо разработать правила технического обслуживания, обосновать периодичность его выполнения, технологию и организацию предусмотренных работ.

или отказами других элементов, даже не входящих в тормозную систему вагона. Например, повышенной вибрацией (неразлагаемое событие  $X_5$ ) как следствия неисправности колёсной пары (повреждения поверхности катания колеса или подшипника).

Двухполюсное представление этого дерева (рис. 3) показывает причины события – выпадения валика подвески тормозного башмака (триангеля) и его влияние на падение деталей тормозной передачи тележки на путь, приводящее к сходу вагона с рельсов.

Для примера рассмотрим применение технологии анализа ремонтпригодности выпадения валика подвески башмака тормозной рычажной передачи тележки, используя табличную форму представления результатов (см. таблицу 1).

Ещё одним событием, влияющим на безопасность движения, считается отсутствие или излом тормозной колодки, оценка ремонтпригодности которой приведена в таблице 2. Эта неисправность опасна тем, что может привести к серьезным повреждениям колёсной пары: кольцевым выработкам, ползунам и наварам на поверхности катания колеса, а также «привару» тормозного башмака к колесу и заклиниванию колесной пары во время движения поезда.

Как видно из таблицы, такой отказ, как отсутствие или излом колодки, является полностью контролепригодным в эксплуатации и может иметь два шифра ремонтпригодности в зависимости от сложившихся последствий: 1–2–5–9–10 или 1–2–5–7–8–10.

Нельзя не упомянуть также о других отказах тормозной рычажной передачи

**Анализ ремонтпригодности тормозной рычажной передачи тележки относительно  
отсутствия или излома тормозной колодки**

Отсутствие или излом тормозной колодки			
Исходная позиция	Принятое решение	Искомая позиция	Обоснование принятого решения
1	Да	2	Неисправность выявляется при визуальном осмотре тормозной передачи тележки на ПТО осматрищиком вагонов, но может быть обнаружена и при осмотре состава «с ходу», т.е. в процессе движения прибывающего на станцию поезда.
1–2	Да	1–2–5	В инструкции осматрищику вагонов указано, что отсутствие или излом тормозной колодки не допускается.
1–2–5	Да Нет	1–2–5–7 1–2–5–9	На ПТО имеется возможность установки или замены тормозной колодки. Но если этот отказ привел к «привару» тормозного башмака к колесу, наличию дефектов на поверхности катания колеса браковочных размеров, то придется отцеплять вагон в текущий ремонт.
1–2–5–7	Да	1–2–5–7–8	Для повышения ремонтпригодности целесообразна разработка мероприятий по ритмичному снабжению ПТО запасными частями, а именно тормозными колодками и чеками тормозных колодок. На основании норм расхода материалов и запасных частей на техническое обслуживание грузовых вагонов на путях станции № ПКТБ ЦУНР/ЦУНР-13.5.0192–15, составленным на основании статистических данных и утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» от 3 ноября 2015 года № 2622р, на пунктах технического обслуживания заменяется 15,2 тормозных колодок, две чеки колодки на каждые 1000 вагонов.
1–2–5–9	Да	1–2–5–9–10	Для повышения ремонтпригодности необходимо разработать технологию смены колесной пары в условиях ПТО за ограниченное время стоянки поезда под техническим обслуживанием.
1–2–5–7–8		1–2–5–7–8–10	Для повышения ремонтпригодности следует обосновать периодичность выполнения технического обслуживания.

тележки: таких, как выпадение валиков шарнирных соединений тяг и рычагов, которые возникают по причине неисправности или отсутствия шплинтов; обрыв подвески тормозного башмака, что является следствием развития трещин по причине усталости; опускание скобы для равномерного износа колодок, которое во время движения поезда чаще всего выявляется прибором УКСПС, но может быть обнаружено и на ПТО при осмотре вагона. Имеют место и изломы (обрывы) предохранительных устройств, предназначенных для предотвращения падения деталей тормозного оборудования на путь. Все они полностью контролепригодные.

По апробированной методике искомые коды данных повреждений:

- излом (обрыв) предохранительных устройств – 1–2–5–7–8–10;
- выпадение валиков шарнирных соединений тяг и рычагов – 1–2–5–7–8–10;
- обрыв подвески тормозного башмака – 1–2–5–7–10.

Таким образом, получен искомый шифр ремонтпригодности основных узлов тор-

мозной рычажной передачи тележки: 1–2–5–7–8–10.

### ОСТАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ

Используя приведенную технологию, можно получить показатели ремонтпригодности и остальных элементов тормозной системы вагона.

Отдельно выделим пневматическую часть тормозной системы, особенностью которой является наличие таких весьма сложных устройств, как воздухораспределитель и авторежим.

В первую очередь рассмотрим отказ из-за неисправности воздухораспределителя. К задержке поезда на гарантийном участке могут привести: засоренные отверстия плунжера или внутренней полости; утечки воздуха в большой диафрагме; большие отверстия плунжера и толкателя из-за некачественного изготовления или ремонта; загрязнение фильтра в рабочей камере; отверстие диаметром 1,3 мм в седле обратного клапана меньше нормы или засорено; отверстие диаметром 1,3 мм в седле обратного клапана больше нормы. Внешними признаками этих неисправностей стано-





вятся несрабатывание на торможение или замедленный отпуск.

Отметим, что подобные неисправности на ПТО имеют ограниченную контролепригодность и выявляются только при проведении опробования автотормозов поезда. Вероятность нахождения дефектов воздухо-распределителя возрастает при опробовании автотормозов от стационарных установок (УЗОТ, УЗОТ-РМ, АСДТ). Поэтому искомым шифром ремонтпригодности воздухо-распределителя будет два:

- при опробовании автотормозов от локомотива: 1–3–6–12;
- при опробовании от стационарной установки: 1–3–5–7–10.

У авторежима в эксплуатации могут возникнуть неисправности его внутренних составных частей, излом балочки авторежима. Зачастую они связаны с неправильной сборкой и монтажом при изготовлении или плановом ремонте. Внешними признаками неработоспособного состояния авторежима, согласно действующей нормативно-технической документации, являются: у порожнего вагона – зазор больше 3 мм, кольцевой проточки не видно; у груженого вагона – зазор между упорной гайкой и упорной плитой; тормоз у вагона не отпускает при открывании выпускного клапана.

Данный узел вагона считается контролепригодным в эксплуатации. Искомым шифром ремонтпригодности для авторежима будет: 1–2–5–9–11.

Причинами отказов тормозных цилиндров служат следующие неисправности:

- разрыв резиновых манжет на поршне – в этом случае при сработке тормозного цилиндра на торможение будет наблюдаться «дутье» воздуха через атмосферное окно;
- излом возвратной пружины поршня, который приводит к замедленному перемещению поршня со штоком в исходное положение при отпуске тормоза;
- засорение волосяного фильтра атмосферного окна – при этом работа тормозного цилиндра станет неэффективной, воздух не сможет циркулировать через атмосферное окно, что в свою очередь с созданием большого давления воздуха в цилиндре при максимальных нагрузках вагона может привести к выдавливанию наружу самого фильтра (или сальника в передней части крышки), попаданию грязи на зеркало цилиндра

(или трубу) и как следствие – заклиниванию поршня в крайних или промежуточных положениях.

Шифром ремонтпригодности для тормозного цилиндра будет: 1–2–5–9–11.

Далее рассмотрим рычажную передачу вагона, повреждениями которой, согласно анализу, являются: неисправность авторегулятора, косвенным признаком которой служит зазор колодки – колесо выше установленной нормы; обрыв тормозной тяги.

Тормозная рычажная передача полностью контролепригодна в эксплуатации. Все отказы возникают по причине некачественного изготовления или ремонта. Искомым шифром ремонтпригодности для рычажной передачи будет: 1–2–5–7–10.

Следует отметить неисправности и таких узлов, приводящих к отказу тормозной системы вагона, как стояночный тормоз и запасный резервуар.

Согласно опыту эксплуатации встречаются случаи падения деталей стояночного тормоза на путь. Это происходит из-за излома деталей крепежного механизма (шплинтов, пальца и т.п.) или поддерживающей скобы, что является следствием развития трещин или чрезмерного износа.

Как известно, трещины чаще всего возникают в невидимой для осмотра зоне. Но при своём развитии они могут и выйти в видимую зону. Поэтому принято считать, что трещины деталей стояночного тормоза не всегда можно выявить при осмотре на ПТО, и этот изъян отнесён к частично контролепригодным в эксплуатации.

Искомый шифр ремонтпригодности стояночного тормоза: 1–3–2–5–7–10.

Отказ запасного резервуара возникает в основном по причине неисправности спускного клапана из-за утечек, неоткрытия, механических повреждений, а также неплотности в соединениях. Его в определённой мере можно отнести к полностью контролепригодным. Искомый шифр ремонтпригодности запасного резервуара: 1–2–5–7–10.

В завершение рассмотрим воздушную и силовую части тормозной системы вагона, для которых характерны ослабление крепления воздухопровода, трещины, изломы, обрыв труб, нарушение плотности соединений труб, замерзание влаги в трубах и их засорение, пропуск воздуха в кранах.



Воздухопровод и тормозная арматура могут иметь неисправности, вызывающие утечки воздуха или создающие препятствие его движению. В тормозных рукавах появляется расслоение резины, препятствующее проходу воздуха, наблюдается пропуск воздуха в соединении головок при неисправности уплотнительного кольца, в соединениях резиновой трубки с головкой или наконечником, а также по трещинам, прорывам и протертостям в самой трубке.

Пропуск воздуха или ослабление крепления встречаются, кроме того у рабочих камер, разобщительных и концевых кранов.

Плотность тормозной сети проверяется при опробовании тормозов. Утечки обнаруживаются по шуму воздуха, выходящего через неплотности, по темным пятнам на трубах, скоплению пыли и грязи с характерной шероховатой поверхностью, в зимний период в местах образования утечек наблюдается валик в виде инея.

По отношению к рассматриваемым повреждениям тормозную магистраль и арматуру тормозного оборудования вагона можно отнести к частично контролепригодным в эксплуатации. Существующий уровень приспособленности к текущему техническому содержанию оценивается шифром: 1–2–4–5–7–10.

### **ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ**

Проведенный анализ показал, что причины возникновения отказов тормозной системы вагона при следовании поезда по гарантийному участку можно разделить на следующие группы:

- 1) конструктивные (связанные с несовершенством конструкции или некачественным изготовлением);
- 2) производственные (связанные с некачественным ремонтом);
- 3) эксплуатационные (связанные с нарушением правил эксплуатации);
- 4) деградиционные (связанные с естественными процессами разрушения, старения, износа и др.).

Необходимо отметить, что отказы первых трех групп не имеют отношения к надёжности тормозной системы, однако влияют на задержки поездов и могут приводить к нарушениям безопасности движения [6].

В основном не выявленные в процессе технического обслуживания на ПТО отказы связаны с усталостью металла, а также износом узлов трения. Для обоснования регулярности проведения технического обслуживания вагонов особый интерес представляет поэтому период от появления отказа до разрушения детали. Такого рода состояние принято называть живучестью, т.е. способностью выполнять требуемые функции, находясь в неработоспособном состоянии. Уменьшить сроки этого периода призваны технические средства диагностирования, которые могли бы заменить часть функций осмотрщиков вагонов по техническому контролю тормозного оборудования, в частности по выявлению трещин. Однако они еще далеки от требуемого уровня. Надёжных методов выявления дефектов по косвенным и прямым признакам явно не хватает.

Следует обратить внимание, разумеется, на отказы, связанные с несовершенством конструкции тормозной системы вагона. Как известно, наиболее актуально решать этот вопрос на стадии проектирования. Повышение качества проектов опирается на методы комплексного анализа и оценки показателей качества функционирования конструкции в широком спектре существующих и перспективных условий эксплуатации. Создание вагонов нового поколения обуславливает необходимость разработки более высоких технических требований на тормозные системы, в том числе с учетом особенностей зарубежного опыта и передовых технологий, обоснования самых продвинутых выходных характеристик и нормативов. Пока же используемые на стадии проектирования методы не позволяют, к примеру, оценить влияние эксплуатационных условий на показатели качества функционирования автотормозов [7] или предусмотреть гарантии безопасности тех или иных узлов на относительно длительный срок.

Установленные шифры ремонтпригодности тормозной системы вагона должны использоваться и на этапе проектирования узлов, обоснования параметров системы их технического обслуживания и ремонта. На практике полученные результаты можно применять для разделения ответственности за отказ тормозной системы между осмотрщиком вагона, который не обнаружил





имеющееся опасное повреждение на ПТО, и работниками вагоноремонтных депо, предприятий-изготовителей [8].

Еще одним немаловажным решением должна стать и модернизация тормозных систем уже эксплуатируемых грузовых вагонов, их оснащение специальными метками или индикаторами контроля отклонений от нормального состояния. Внедрение современных систем визуального осмотра деталей и узлов по меткам и индикаторам существенно сократит непроизводительные потери, возникающие при техническом обслуживании вагонов в составе поезда. Для обеспечения этих возможностей на узлы и детали при их изготовлении должны наноситься индикаторы или риски, позволяющие минимизировать объём работы осмотрщика вагонов, исключить применение специальных шаблонов. В частности:

– *тормозная колодка* должна иметь индикатор или риску, позволяющую определить минимально допустимую толщину, при которой колодка подлежит замене;

– *тормозной цилиндр*, на его штоке должен быть индикатор или риска, указывающая на предельно допустимые размеры выхода штока из цилиндра;

– *регулятор тормозной рычажной передачи* должен иметь:

а) в зависимости от типа регулятора индикатор или риску, определяющую размер «а» – расстояние от торца муфты защитной трубы регулятора до присоединительной резьбы на его винте;

б) в зависимости от типа вагона, тормозных колодок и привода регулятора индикатор или риску, определяющую размер «А» – установочный размер привода регулятора (зазор между корпусом регулятора и упорным рычагом (упором регулятора)).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ тормозной системы грузового вагона как объекта ремонта и технического обслуживания показал, что имеющие место отказы и неисправности обуславливают актуальность комплексного подхода при

решении задач, охватывающих сферу проектирования, конструирования, ремонта и эксплуатации. Реализация подхода требует определенных исследований и анализа причинно-следственных связей, помогающих выявить неблагоприятные факторы, ухудшающие техническое состояние конструкции. При этом свою роль выполняет шифр ремонтпригодности деталей и узлов тормозного оборудования.

В перспективе необходимо повышение надёжности элементов тормозной системы вагонов, в том числе улучшение контроле- и ремонтпригодности. Дополнительные затраты на изменение конструкции автотормозного оборудования и совершенствование системы его ремонта должны компенсироваться уменьшением затрат на техническое обслуживание и оплаты штрафов за задержку поездов на перегонах. При этом инвестиции, вложенные во внедрение современных средств технической диагностики вагонов в условиях ПТО, окупят последствия даже одного крушения или аварии поезда средних размеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Положение по учету, расследованию и проведению анализа случаев отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАС АНТ. Утверждено ОАО «РЖД» от 23 декабря 2013 г. № 2852р.

2. Сакеев А. И. Итоги работы вагонного хозяйства за 2015 год // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 2–6.

3. «How Soon?» // «Railway Age». – 2001. – № 1. – С. 56–58.

4. Методические основы разработки системы управления техническим состоянием вагонов: Учеб. пособие / Под ред П. А. Устича. – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. – 662 с.

5. Устич П. А., Иванов А. А., Аверин Г. В. и др. Некоторые аспекты проблемы нормирования уровня безопасности движения на примере железнодорожного транспорта // Надёжность. – 2011. – № 1. – С. 59–73.

6. Лапшин В. Ф., Орлов М. В. Основы технического обслуживания вагонов: Учеб. пособие. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – 375 с.

7. Карпычев В. А. Разработка метода системного анализа автотормоза грузового подвижного состава / Дис... док. техн. наук. – М., 2001. – 308 с.

8. Вагоно-линейное хозяйство: Учебник / П. А. Устич, А. А. Иванов, Н. Ф. Сирина, И. И. Хаба. – М.: Маршрут, 2012. – 689 с.

9. Надёжность рельсового нетягового подвижного состава: Учебник / Под ред. П. А. Устича. – М.: Маршрут, 2004. – 470 с. ●

Координаты авторов: **Иванов А. А.** – [www720@mail.ru](mailto:www720@mail.ru), **Козарезова М. А.** – [kozarezovama@center.rzd.ru](mailto:kozarezovama@center.rzd.ru).

Статья поступила в редакцию 16.12.2016, принята к публикации 02.02.2017.

## ANALYSIS OF CONTROLLABILITY OF A FREIGHT CAR BRAKE SYSTEM

*Ivanov, Alexander A., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

*Kozarezova, Maria A., Central Infrastructure Directorate, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

The article considers failures of a brake system of a car, leading to train delays, their causes are determined, and an analysis is made of the control- and maintainability of the elements that are subject to regular maintenance. Recommendations are

formulated aimed at reducing train delays on guarantee sections caused by a failure of a freight car brake system. At the same time, the emphasis is on an integrated approach that implies a wide range of tasks, including the stages of design, construction, operation and financial and economic support of the process.

*Keywords:* railway, freight car, brake system, maintenance, failure, controllability, maintainability.

**Background.** An important task in operation of freight cars remains provision of accident-free movement of trains on guarantee sections, implementation of which often causes the following problems:

- limited or even zero controllability of some responsible elements of the car's construction at the service station (SS);

- car inspectors are forced to rely in their work mainly not on technical means, but on so-called organoleptic methods of detecting damages and failures of car construction (vision, hearing);

- restriction of time for monitoring the technical condition of the car, set by the train traffic schedule;

- need to perform maintenance at night and in difficult weather conditions (rain, snow, etc.).

This often explains the cases of non-detection and non-elimination of faults by car inspectors at SS, each of which leads at least to train's stop on a haul. Such cases are considered to be technical equipment failures on the guarantee section of the relevant SS, and now they are registered in the integrated automated accounting system, control of elimination of equipment failures and analysis of their reliability in railway transport (CAS ANT).

**Objective.** The objective of the authors is to analyze controllability of a freight car brake system.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, experiments, scientific description.

### Results.

#### Failures and their causes

Depending on the consequences of failures, JSC Russian Railways introduced the following classification of them according to the categories:

*failures of the 1<sup>st</sup> category* – failures resulting in a train delay on a haul (station) for 1 hour or more, or leading to transport accidents or events related to violation of safety rules for movement and operation of the railway transport;

*failures of the 2<sup>nd</sup> category* – failures that led to a train delay on a haul (station) lasting from 6 minutes to 1 hour;

*failures of the 3<sup>rd</sup> category* – failures that do not have consequences related to the failures of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> categories [1].

So, on the railways of the Russian Federation in the CAS ANT system, in 2015, 1766 cases of technical equipment failures were recorded, the largest number, or 61 % of which were committed due to a malfunction of the car's auto-braking equipment [2].

As experience in operation of freight cars shows, the main causes of brake system failures are air distributor, brake line, brake rigging, brake fittings.

Failures of auto mode, brake cylinder, spare tank, parking brake are less common.

There are also cases of failures of the car brake system due to poor performance of the functions of servicing and repairing brake equipment by the inspector at SS. These include:

- discrepancy between the distance from the end of the clutch of the protective tube of brake rigging auto regulator before the beginning of the connecting thread on its screw;

- reverse camber of vertical levers of brake rigging of a bogie at a dead center;

- discrepancy between the distance between the body of the autoregulator and the thrust lever (stop);

- gapping of the main or principal part of the air distributor to the working chamber;

- incorrect activation of the braking / tempering mode of the air distributor.

Another reason that leads to inability of the brake system to provide necessary efficiency of train braking is interference by unauthorized persons. These include disconnection of connecting hoses, closing of end valves, tightening of a parking brake.

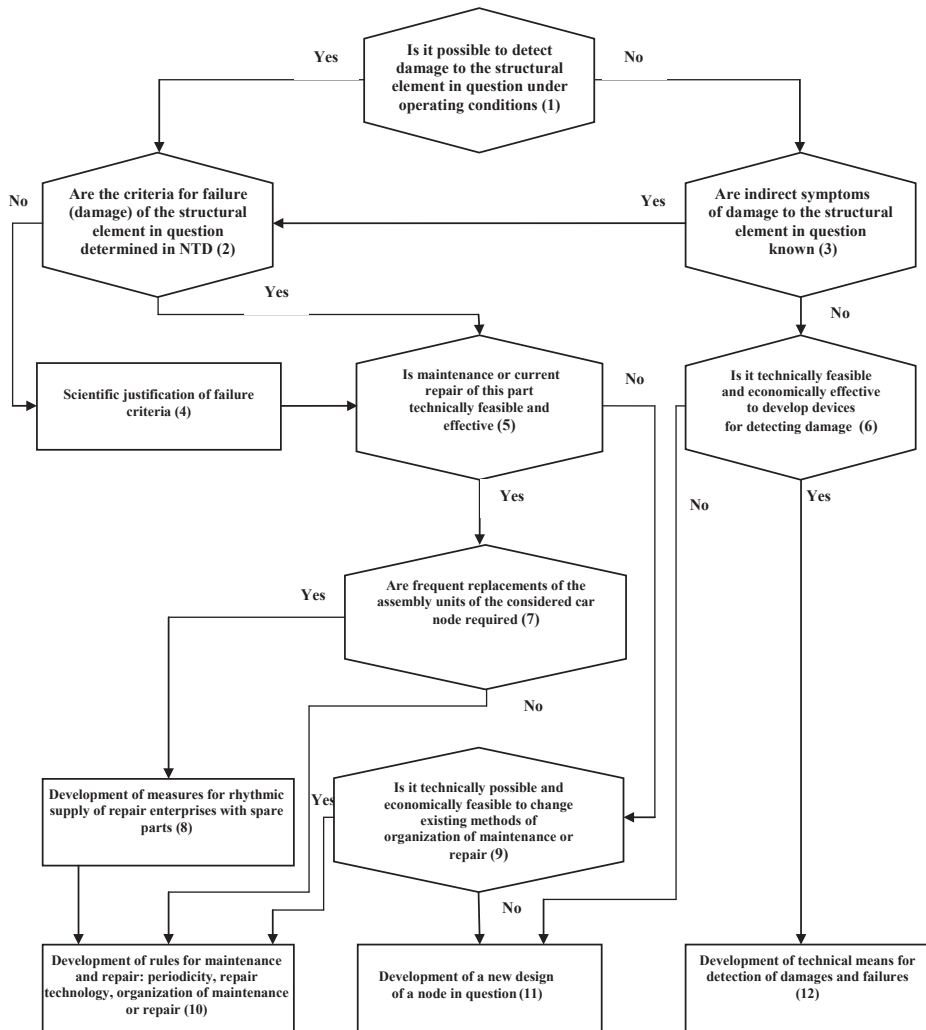
#### Technical means of control

Operated now automated means of diagnostics of rolling stock (complex of technical means multifunctional (KTSM-02), post of acoustic control, complex for measuring geometrical parameters of wheel sets, system for detecting cars with negative dynamics (ASOOD), rolling stock derailment control device (UKSPS) with which approaches to sorting stations and hauls are equipped everywhere), allow to monitor the technical parameters of individual nodes of the car, increasing the probability of identifying their fault condition. However, at the present time there are no technical means determining the approach of the brake system of the car to an inoperable type [3]. That is, the failures can be attributed to sudden failures, which are not controlled by automated diagnostic complexes, and therefore the task directly connected with determining the size of the guarantee section for maintenance and repair of freight cars, as well as frequency of control of their brake system, clearly arises.

To solve this problem, it is necessary to perform an analysis of the level of control- and maintainability of the elements of the brake system under operating conditions, to assess the very possibility of detecting and eliminating failures of auto-braking equipment when the car is used for the intended purpose.

It is known that maintainability is a property of the product, consisting in its fitness to maintain and restore the operable condition through maintenance and repair. A controllability is a property of the product, which characterizes its fitness to conduct control by specified means.





**Pic. 1. Block diagram of analysis of the structural element maintainability in relation to maintenance of the car.**

The technique for assessing maintainability is mainly based on the use of expert judgment and analysis. In this case, this idea can be implemented using the block diagram shown in Pic. 1 [4].

Each element of the brake system is analyzed, in the process of which the researcher, relying not only on his knowledge, experience and intuition, but also on the help of experts in the relevant fields of science and technology, as well as on printed sources, should answer in the form of «yes – no» on a series of questions located in a certain sequence.

The sequence of block numbers is a code characterizing the maintainability of the considered element of the brake system of the car. In this case, failures for each element will be conveniently divided into three groups:

1. Having zero controllability and maintainability with the direct use of the car for the intended purpose (in the conditions of SS station).

2. Fully controllable and maintainable in operation.

3. Having limited controllability and maintainability. Code of main nodes

As shown in [5], derailment of the car, which is fraught with crashes and accidents, can be caused by

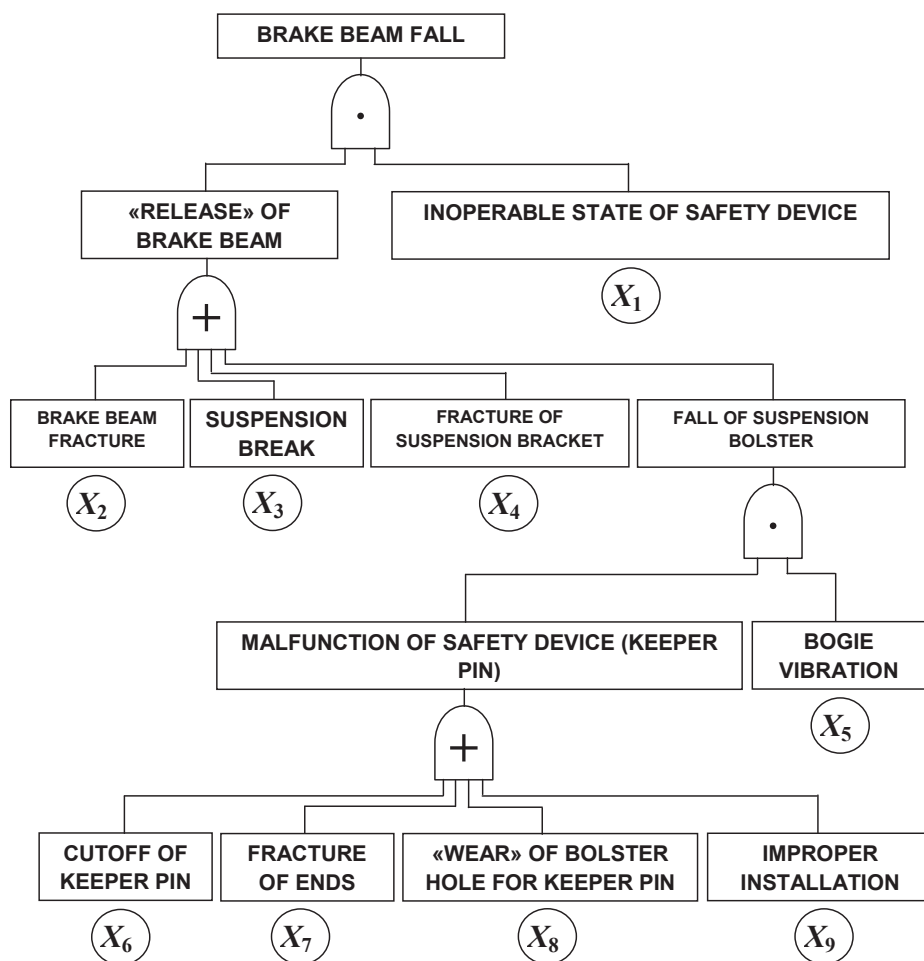
cases of falling parts on a track, in particular, a brake beam of bogie's brake rigging, one of the most common causes of which is fall of a bolster of the shoe suspension.

The event «Fall of a brake beam on a track» can be represented in the form of a tree-like diagram, shown in Pic. 2. Moreover, fall of the shoe suspension is a dependent failure, the occurrence of which is caused by damages or failures of other elements that are not even parts of the brake system of the car. For example, increased vibration (indivisible event  $X_9$ ) as a consequence of a faulty wheel set (damage to tread surface of a wheel or a bearing).

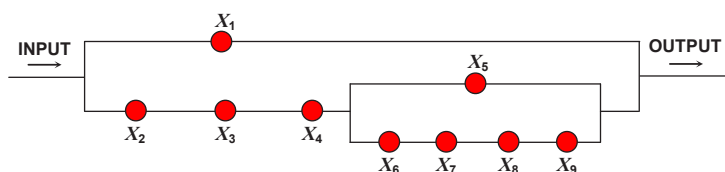
The bipolar representation of this tree (Pic. 3) shows the causes of the event – fall of the bolster of the brake shoe suspension (brake beam) and its influence on fall of the parts of the bogie's brake gear on the track leading to car derailment.

For example, we consider the application of the technology of maintainability analysis of fall of the bolster of the shoe suspension of bogie's brake rigging using a tabular form of the results presentation (see Table 1).

Another event affecting traffic safety is considered to be absence or fracture of a brake pad, maintainability



Pic. 2. Tree of events regarding the fall of the brake beam on the track.



Pic. 3. The bipolar representation of the event tree.

rating of which is shown in Table 2. This fault is dangerous in that it can lead to serious damage to a wheel set: cyclic running time, slid flat and weld-on deposit on the tread surface of a wheel, and also to «weld» of a brake shoe to a wheel and blocking of a wheel set while a train is moving.

As can be seen from the table, such a failure, as absence or fracture of a brake pad, is completely controllable in operation and can have two codes of maintainability, depending on the prevailing consequences: 1-2-5-9-10 or 1-2-5-7-8-10.

We cannot ignore other failures of bogie's brake rigging: such as fall of bolsters of connecting links of rods and levers that arise due to malfunction or absence of keeper pins; breakage of the suspension of the brake shoe, which is a consequence of development of cracks due to fatigue; lowering of a clamp for uniform wear of

pads, which is most often detected during movement of the train by the UKSPS device, but can also be found at SS when inspecting the car. There are also fractures (breaks) of safety devices designed to prevent the falling of brake equipment parts on a track. All of them are completely controllable.

According to the proven methodology, the required damage data codes:

- fracture (breakage) of safety devices - 1-2-5-7-8-10;
- fall of bolsters of connecting links of rods and levers - 1-2-5-7-8-10;
- breakage of the suspension of the brake shoe - 1-2-5-7-10.

Thus, the required code of maintainability of the main components of bogies' brake rigging is obtained: 1-2-5-7-8-10.



**Analysis of maintainability of bogie's brake rigging relative to fall of the bolster of the shoe suspension**

Initial position	Decision made	Desired position	Rationale for the decision made
1	Yes	2	As a result of a survey of specialists in brake equipment of the car economy services of infrastructure directorates, it was clarified that this malfunction is revealed by visual inspection at SS.
1-2	Yes	1-2-5	According to the technical documentation, the absence of the bolster of the brake shoe suspension is not allowed.
1-2-5	Yes	1-2-5-7	At SS it is possible to install a bolster of the shoe suspension.
1-2-5-7	Yes	1-2-5-7-8	In order to improve maintainability, it is advisable to develop measures for rhythmic supply of SS with spare parts, namely bolsters of the shoe suspension, safety clamps (to exclude loss of a bolster), and fixing devices – keeper pins and washer plates.  Based on the norms for the use of materials and spare parts for maintenance of freight cars on the tracks of the station № PKTB TsUNR/ TsUNR-13.5.0192–15, compiled on the basis of statistical data and approved by the order of Russian Railways of November 3, 2015 No. 2622r, at service stations 0,28 bolsters of the shoe suspension, 0,124 keeper pins, 30 safety clamps are replaced per each 1000 cars.
1-2-5-7-8		1-2-5-7-8-10	To increase maintainability, it is necessary to develop maintenance rules, justify the frequency of its implementation, technology and organization of the works envisaged.

**Other elements of the system**

Using the above technology, it is possible to obtain indicators of maintainability and other elements of the brake system of the car.

Let's highlight separately a pneumatic part of a brake system, the feature of which is presence of such highly complex devices as an air distributor and auto mode.

First of all, we consider the failure due to a malfunction of an air distributor. Train delay on the guarantee section can be caused by: clogged holes of a plunger or an internal cavity; air leakage in a large diaphragm; large holes of a plunger and a pusher, which is due to poor-quality manufacturing or repair; contamination of a filter in the working chamber; a 1,3 mm diameter hole in the seat of the check valve is less than normal or clogged; a 1,3 mm diameter hole in the seat of the check valve is more than normal. External signs of these faults are failure to brake or delayed tempering.

Note that such malfunctions at SS have limited controllability and are detected only when testing the train auto-brakes. The probability of finding the defects of the air distributor increases when testing auto-brakes from stationary installations (UZOT, UZOT-RM, ASDT). Therefore there will be two required codes of maintainability of the air distributor:

- when testing autobrakes from the locomotive: 1-3-6-12;

- when testing from the stationary installation: 1-3-5-7-10.

In the auto mode in operation, there may be a malfunction of its internal components, a break of the bar of the automatic mode. Often, they are associated with improper assembly and installation during manufacturing or routine maintenance. External signs of an inoperative state of auto mode, according to the current regulatory and technical documentation, are: for an empty car – a gap of more than 3 mm, a ring groove is not visible; for a laden car – a gap between a stop nut and a pressure plate; the car's brake is not released at the opening of an exhaust valve.

This node of the car is considered to be controllable in operation. The desired code of maintainability for auto mode will be: 1-2-5-9-11.

The following faults are the causes of the failure of brake cylinders:

- rupture of rubber cuffs on the piston – in this case, when the brake cylinder is activated for braking, there will be an «air blast» through an atmospheric window;

- breakage of a return spring of a piston, which leads to a slow movement of a piston with a rod to the initial position when the brake is released;

- clogging of an air filter of an atmospheric window – operation of a brake cylinder becomes ineffective, air cannot circulate through the atmospheric window, which in turn, with creation of a large air pressure in the cylinder at maximum loads of the car, can lead to extrusion of the filter itself (or a gland in the front parts of a cover), dirt on a cylinder mirror (or a pipe) and, as a consequence, jamming the piston in extreme or intermediate positions.

The code of maintainability for the brake cylinder will be: 1-2-5-9-11.

Next, consider the lever transmission of the car, the damages of which, according to the analysis, are: a malfunction of the auto regulator, the indirect feature of which is the clearance of the shoe-wheel above the established rate; break of the brake rod.

The brake rigging is completely controllable in operation. All failures arise because of poor-quality manufacturing or repair. The desired code of maintainability for the lever transmission will be: 1-2-5-7-10.

It should be noted faults of such nodes, leading to the failure of the brake system of the car, as a parking brake and a spare tank.

According to the operating experience, there are cases of falling parts of the parking brake on a track. This is due to a fracture of details of the fastening mechanism (keeper pin, finger, etc.) or support clamp, which is a consequence of development of cracks or excessive wear.

**Analysis of maintainability of bogie's brake rigging with respect  
to absence or fracture of a brake pad**

Absence or fracture of a brake pad			
Initial position	Decision made	Desired position	Rationale for the decision made
1	Yes	2	The fault is detected when visual inspection of the brake linkage of the bogie by the car inspector at SS, but it can be detected when inspecting the train «on the move», i.e. during movement of the train arriving at the station.
1–2	Yes	1–2–5	In the instruction to the car inspector it is specified, that absence or fracture of a brake pad is not allowed.
1–2–5	Yes	1–2–5–7	At SS it is possible to install or replace a brake pad. But if this failure led to a «weld» of a brake shoe to a wheel, presence of defects on tread surface of a wheel of faulty dimensions, then it is necessary to uncouple a car for routine repairs.
	No	1–2–5–9	
1–2–5–7	Yes	1–2–5–7–8	To improve maintainability, it is advisable to develop measures for rhythmic supply of SS with spare parts, namely brake pads and coupler keys of brake pads. Based on the norms for the use of materials and spare parts for maintenance of freight cars on the tracks of the station № PKTB TsUNR/TsUNR-13.5.0192–15, compiled on the basis of statistical data and approved by the order of Russian Railways of November 3, 2015 No. 2622r, 15,2 brake pads, two coupler keys of brake pads are replaced per each 1000 cars.
1–2–5–9	Yes	1–2–5–9–10	To increase maintainability, it is necessary to develop a technology for changing a wheel set at a SS for a limited time of stay of the train under maintenance.
1–2–5–7–8		1–2–5–7–8–10	To increase maintainability, the periodicity of maintenance operations should be justified.

As it is known, cracks often occur in a zone invisible for inspection. But with their development they can and go into the visible zone. Therefore, it is customary to assume that the cracks in the parking brake parts cannot always be detected during inspection at SS and this defect is attributed to partially controllable in operation.

The desired code of maintainability of the parking brake: 1–3–2–5–7–10.

The failure of the reserve tank is mainly due to failure of the drain valve due to leaks, non-opening, mechanical damage, and leakage in the connections. To a certain extent, it can be attributed to fully controllable. Desired code of maintainability for the reserve tank: 1–2–5–7–10.

In conclusion, consider air and power parts of the brake system of the car, which are characterized by weakening of an air pipe, cracks, breaks, broken pipes, broken pipe connections, freezing of moisture in the pipes and their clogging, and blow in the cranes.

The air line and brake fittings have malfunctions that cause air leakage or obstruct its movement. In the brake hoses, a stratification of the rubber occurs, which prevents passage of air, there is a flow of air in the connection of the heads in the event of a failure of the sealing ring, in the joints of the rubber tube with the head or the tip, as well as through cracks, breaks and fraying in the tube itself.

Air leakage or weakening of the fastening occur also in the working chambers, disconnection and end cranes.

The density of the brake network is checked when testing the brakes. Leaks are detected by the noise of air that emerges through leaks, through dark spots on pipes, accumulation of dust and dirt with a characteristic rough surface, during winter, a bolster in the form of frost is observed in the places of leakage.

In relation to the damages considered, the brake line and the fittings of the brake equipment of the car can be attributed to partially controllable in operation. The existing level of fitness for the current technical content is estimated by the code: 1–2–4–5–7–10.

#### **Causal relationships**

The analysis showed that the reasons for the failure of the brake system of the car when the train moves on the guarantee section can be divided into the following groups:

- 1) constructive (associated with imperfect design or poor-quality manufacturing);
- 2) production (associated with poor-quality repairs);
- 3) operational (associated with violation of the rules of operation);
- 4) degradation (associated with natural processes of destruction, aging, deterioration, etc.).

It should be noted that the failures of the first three groups are not relevant to reliability of the brake system, but they affect train delays and can lead to traffic safety violations [6].

In general, failures, not detected in the process of technical maintenance at SS, are related to metal fatigue, as well as wear of friction units. To justify regularity of maintenance of cars, the period from failure to destruction of the part is of particular interest. This kind of condition is called survivability, i.e. ability to perform the required functions, being in an inoperative state. To reduce the terms of this period, technical diagnostic tools are used, which could replace some of the functions of car inspectors for technical control of brake equipment, in particular to identify cracks. However, they are still far from the required level. Reliable methods of detecting defects by indirect and direct signs are clearly not enough.

It is necessary to pay attention, of course, to the failures associated with imperfection of the design





of the brake system of the car. As it is known, it is the most relevant to solve this issue at the design stage. Improving the quality of projects relies on methods of complex analysis and evaluation of performance indicators of the design in a wide range of existing and future operating conditions. The creation of new generation cars necessitates development of higher technical requirements for brake systems, including taking into account the peculiarities of foreign experience and advanced technologies, justifying the most advanced output characteristics and standards. For the time being, the methods used at the design stage do not allow, for example, to assess the effect of operating conditions on the performance indicators of autobrakes [7] or to provide safety guarantees for certain nodes for a relatively long period.

The established codes of maintainability of the brake system of the car should be used both at the stage of designing the nodes, justifying the parameters of their maintenance and repair system. In practice, the results obtained can be used to split the responsibility for the failure of the brake system between the car inspector who did not detect the existing dangerous damage at SS, and the employees of car repair depots, manufacturers [8].

Another important solution should be modernization of the brake systems of the already operated freight cars, their equipping with special marks or indicators of control of deviations from the normal state. The introduction of modern systems of visual inspection of parts and components by tags and indicators will significantly reduce the unproductive losses that arise during maintenance of cars in the train. To ensure these capabilities, nodes and parts in their manufacture should be marked with indicators or matchmarks that allow minimizing the scope of work of the car inspector, eliminating the use of special templates. In particular:

- the brake shoe must have an indicator or a matchmark to determine the minimum permissible thickness at which the shoe is to be replaced;
- the brake cylinder on its rod should be an indicator or a matchmark indicating the maximum allowable size of the rod exit from the cylinder;
- the regulator of brake rigging must have:
  - a) depending on the type of the regulator, an indicator or a matchmark determining the size of «a» – the distance from the end of the clutch of the protective tube of the regulator to the connecting thread on its screw;
  - b) depending on the type of the car, brake pads and drive of the regulator, an indicator or a matchmark that determines the size of «A» is the adjusting size of the regulator drive (clearance between the regulator body and the thrust lever (the regulator's lever)).

**Conclusion.** Analysis of the brake system of the freight car as a repair and maintenance object has shown that failures and faults that occur are responsible for relevance of the integrated approach in solving problems covering design, construction, repair and operation. The implementation of the

approach requires certain studies and analysis of cause-effect relationships that help to identify the unfavorable factors that worsen the technical condition of the structure. At the same time, the code of maintainability of parts and components of the brake equipment plays its role.

In the future, it is necessary to increase reliability of the elements of the brake system of cars, including improvement of control- and maintainability. Additional costs for changing the design of auto-brake equipment and improving its repair system should be compensated for by reducing maintenance costs and paying fines for delaying trains on the hauls. At the same time, investments in the introduction of modern means of technical diagnostics of cars in the context of SS, will pay for the consequences of even one crash or accident of a medium-sized train.

## REFERENCES

1. Regulations on accounting, investigation and analysis of failures in the operation of technical facilities on the infrastructure of JSC Russian Railways using the automated system KAS ANT. Approved by JSC Russian Railways on December 23, 2013, No. 2852r [*Polozhenie po uchetu, rassledovaniyu i provedeniyu analiza sluchaev otkazov v rabote tehnikeskikh sredstv na infrastrukture OAO «RZhD» s ispol'zovaniem avtomatizirovannoy sistemy KAS ANT. Uverzhdeno OAO «RZhD» ot 23 dekabrya 2013 g. № 2852r*].
2. Sakeev, A. I. Results of the car economy work for 2015 [*Itogi raboty vagonnogo hozjajstva za 2015 god*]. Vagony i vagonnoe hozjajstvo, 2016, Iss. 1, pp. 2–6.
3. How Soon? Railway Age, 2001, Iss. 1, pp. 56–58.
4. Methodological basis for development of a control system for technical condition of cars: study guide [*Metodicheskie osnovy razrabotki sistemy upravleniya tehnikeskimi sostojanijem vagonov: Ucheb. posobie*]. Ed. by P. A. Ustich. Moscow, TMC on education on railway transport, 2015, 662 p.
5. Ustich, P. A., Ivanov, A. A., Averin, G. V. [*et al*]. Some aspects of the problem of normalizing the level of traffic safety using the example of railway transport [*Nekotorye aspekty problemy normirovaniya urovnja bezopasnosti dvizhenija na primere zheleznodorozhnogo transporta*]. Nadjozhnost', 2011, Iss. 1, pp. 59–73.
6. Lapshin, V. F., Orlov, M. V. Basics of maintenance of cars: study guide [*Osnovy tehnikeskogo obsluzhivaniya vagonov: Ucheb. posobie*]. Yekaterinburg, UrGUPS publ., 2006, 375 p.
7. Karpychev, V. A. Development of the method of system analysis of auto brake of freight rolling stock. D.Sc. (Eng.) thesis [*Razrabotka metoda sistemnogo analiza avtotormoza gruzovogo podvizhnogo sostava. Dis... dok. tehn. nauk*]. Moscow, 2001, 308 p.
8. Car-Linear economy: textbook [*Vagono-linejnoe hozjajstvo: Uchebnik*]. P. A. Ustich, A. A. Ivanov, N. F. Sirina, I. I. Khaba. Moscow, Marshrut publ., 2012, 689 p.
9. Reliability of rail non-traction rolling stock: Textbook [*Nadjozhnost' rel'sovogo netjagovogo podvizhnogo sostava: Uchebnik*]. Ed. by P. A. Ustich. Moscow, Marshrut publ., 2004, 470 p.

Information about the authors:

**Ivanov, Alexander A.** – Ph.D. (Eng.), associate professor of the department of Cars and car economy of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, wwx720@mail.ru.

**Kozarezova, Maria A.** – leading technologist of the car economy department of the Central Infrastructure Directorate, a branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, kozarezovama@center.rzd.ru.

Article received 16.12.2016, accepted 02.02.2017.



# T

## СТРАТЕГИЯ 98

*Транспортное обеспечение Севера: синдром «Большой земли».*



## БАМ 108

*Путь к океану на 500 км короче.*

## ТРАНСЛОГИСТИКА 116

*Новое экономическое пространство кооперации.*

## АЛЬТЕРНАТИВА 124

*Выгоды безбалластного варианта.*

## STRATEGY 98

*Transport availability and connectivity in the Northern regions: syndrome of isolation from «Big land».*

## BAIKAL-AMUR MAINLINE 108

*The route towards the Ocean which is by 500 km shorter.*

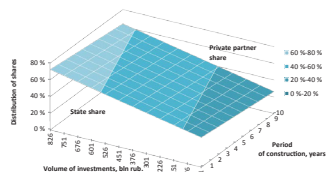
## TRANSPORTATION & LOGISTICS 116

*New economic environment of cooperation.*

## ALTERNATIVE 124

*Advantages of ballastless track.*

### ЭКОНОМИКА • ECONOMICS





# Проблемы транспортного обеспечения северных регионов

## Часть II: как избежать синдрома оторванности от «Большой земли»



Дмитрий МАЧЕРЕТ  
Dmitry A. MACHERET

Юрий МАЧЕРЕТ  
Yuri Ya. MACHERET



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

*Мачерет Юрий Яковлевич — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН, Москва, Россия.*

### СТРАТЕГИЯ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Россия располагает, пожалуй, наибольшим в мире опытом по строительству и эксплуатации железных дорог в условиях Крайнего Севера. Достаточно сказать, что суммарная эксплуатационная длина железных дорог общего пользования в двенадцати подвергнутых анализу северных регионах страны около 9,5 тыс. км, и это примерно вдвое превышает железнодорожные сети таких северных стран, как Норвегия и Финляндия (впрочем, значительная часть их территорий к районам Крайнего Севера не относится), и составляет свыше 11 % от общей протяженности российских железных дорог.

При этом Россия — одна из трех стран мира, наряду с Норвегией и Швецией, располагающих железными дорогами в Заполярье. (Железные дороги Финляндии и Канады, а также Аляскинская железная дорога в США находятся южнее Северного полярного круга). Примечательно, что строительство первой отечественной железной дороги, уходящей за полярный круг, Мурманск—Петрозаводск было завершено

**Problems of Transport Accessibility and Connectivity in the Northern Regions. Part II How to Avoid the Syndrome of Isolation from «Big Land»**

(текст статьи на англ. яз. — English text of the article — p. 104)

*В статье, публикуемой в двух номерах журнала, рассмотрены проблемы развития транспортной инфраструктуры в северных регионах России (часть I: приоритет дорог, наземных сообщений; часть II: как избежать синдрома «Большой земли»). Обоснован вывод о том, что для обеспечения их привлекательности, комфортности проживания, повышения плотности населения, создания условий для долговременного устойчивого социально-экономического развития территорий необходимо больше заниматься инфраструктурой сухопутного транспорта и прежде всего железнодорожной, которая носила бы опорный характер и способствовала укреплению позиций транспортного комплекса на Севере. Требуется стратегическое планирование развития каждого из видов транспорта с учётом перспектив промышленного освоения малообжитых арктических районов и долгосрочных потребностей людей в создании комфортной среды и благоприятных условий для активной и полноценной жизнедеятельности, в увязке с природно-климатическими особенностями края и их прогнозируемыми изменениями.*

*Ключевые слова:* транспорт, северные регионы, социально-экономическое развитие, инфраструктура сухопутного транспорта, природно-климатические условия.

столетие назад, в ноябре 1916 года. Магистраль протяженностью 1045,5 км построили в условиях военного времени, в тяжелых природных условиях в рекордно короткий срок – за 1 год и 8 месяцев [13, с. 548].

Изначально Мурманская железная дорога строилась исходя из военно-стратегических соображений – чтобы обеспечить транспортную связь России с союзниками через незамерзающий Кольский залив. В 1923 году, в период восстановления хозяйства нашей страны от разрухи, вызванной мировой войной, революцией и последовавшей за ней гражданской войной, северная железная дорога стала основой «Транспортно-промышленно-колониционного комбината», в задачу которого входила «колонизация Карело-Мурманского края», то есть его заселение и активное хозяйственное развитие. Тогда, в период НЭПа, использовались именно экономические, рыночные по сути, инструменты стимулирования интереса к производству и торговли. Так, «Управление Мурманской железной дороги получило в своё распоряжение сроком на 10 лет 3 миллиона десятин лесной территории со всеми её богатствами в пределах Карелии и Мурманского округа...», а также «право вложения в специальный колониционный фонд дороги всех платежей за промышленную эксплуатацию предоставленной земли» [13, с. 549]. Для целого ряда импортных товаров, ввозимых через Мурманский торговый порт для нужд колониционного комбината, были установлены пониженные пошлины. Это – весьма примечательный пример стимулирования экономического роста северных регионов, да и не только их.

Комбинат занимался развитием горнодобывающей и других отраслей экономики, достроил местный торговый порт, ведал его работой и деятельностью прочих близлежащих портов, строил жилые дома и привлекал переселенцев из соседних регионов, предоставляя им материальную помощь и льготы. Таким образом, «Мурманская железная дорога вызвала к жизни экономику гигантского края» [13, с. 550]. При этом средства, выручаемые «Транспортно-промышленно-колониционным комбинатом» от хозяйственной деятельности на отведенной ему территории,

вкладывались в развитие железной дороги [13, с. 549]. Налицо – синергия транспортного и социально-экономического развития одного из важнейших регионов Севера, достигнутая не за счёт финансируемых из бюджета «мегапроектов», а благодаря стимулируемой в рамках государственной политики хозяйственной инициативе.

Колонизационный комбинат Мурманской железной дороги просуществовал шесть лет. Затем началась новая эпоха форсированного развития на основе централизованного планирования и преимущественно административных методов управления, которая своеобразно отразилась в деятельности отечественных железных дорог, показав крайнюю затратность, неэффективность таких методов [14]. Опыт эффективной «колонизации» в 1920-е годы Карело-Мурманского края на основе экономических стимулов и приоритетности транспорта, причем охватывавшего в комплексе разные его виды, весьма ценен для формирования политики, направленной на перспективное развитие экономики и транспорта северных регионов.

То есть в деле долгосрочного развития железнодорожной инфраструктуры, стимулирующей освоение Севера, наша страна может опереться не только на богатый технический и технологический, но и экономический опыт решения этой задачи.

Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (Стратегия-2030) был предусмотрен целый ряд значимых проектов строительства новых железнодорожных линий в северных регионах. Среди них линии в основном трех категорий.

Во-первых, «стратегические линии, предназначенные для укрепления транспортной целостности Российской Федерации» [15, с. 15], прежде всего такие, как Томмот–Кердем–Якутск (Нижний Бестях), целью строительства которой определено обеспечение стабильного завоза грузов в Республику Саха (Якутия) и создание там опорной транспортной сети, а также, по максимальному варианту стратегии, линия Нижний Бестях–Мома–Магадан. Цели последней – железнодорожное сообщение с дальними регионами страны – Северо-Востоком Якутии и Магаданской областью, освоение минеральных и энер-





гетических ресурсов этих мест. Следует заметить, что при формировании Стратегии-2030 была обоснована целесообразность (за пределами 2030 года) сооружения стратегических железнодорожных линий, продолжающих эту магистраль в направлении Камчатки и Чукотки с выходом к Берингову проливу (Мома–Дачный–Уэлен, Дачный–Петропавловск-Камчатский) и созданием перспективы для железнодорожного сообщения с Северной Америкой [16].

Вторая категория – «технологические линии, предназначенные для оптимизации железнодорожной сети в целях развития хозяйственных и межрегиональных связей» [15, с. 15]. К ним относятся, например, Правая Лена–Якутск, нацеленная на обеспечение устойчивого северного завоза, связи с Якутском и создание опорной транспортной сети; линии Карпогоры–Вендинга и Сыктывкар–Пермь (Соликамск), предполагающей альтернативный транспортный выход с Урала в порты Белого и Баренцева морей, а также помощь в освоении лесных ресурсов севера европейской части России.

В-третьих, это «грузообразующие линии, предназначенные для транспортного обеспечения развития новых месторождений полезных ископаемых и промышленных зон» [15, с. 15]. Среди них можно выделить линию Полуночное–Обская–

Салехард, имеющую целью создание прямого железнодорожного выхода с промышленно развитого Урала на месторождения полуострова Ямал и освоение полезных ископаемых восточного склона Урала (в рамках проекта «Урал промышленный – Урал полярный»), а также линию Кызыл–Курагино в Республике Тыва, планируемую для освоения Элегестского месторождения коксующегося угля. Стратегией-2030 был предусмотрен и целый ряд других грузообразующих линий в северных регионах.

Как видно даже из приведенных примеров, каждая линия решает различные задачи, в том числе – и социальные, и отнесение ее к той или иной категории носит несколько условный характер. Тем не менее непосредственно к числу социально значимых линий, нацеленных в первую очередь на улучшение транспортного обслуживания населения северных регионов, в стратегии отнесены три линии:

- Ханты-Мансийск–Салым, предназначенная для выхода на сеть железных дорог, чтобы обеспечить перевозки грузов и пассажиров в г. Ханты-Мансийск – административный центр автономного округа;

- Тыгда–Зея, предназначенная для обеспечения устойчивого транспортного сообщения с городом Зея и создания инфраструктурных условий в интересах соци-

ально-экономического развития прилегающих районов;

- Селихин–Ныш, с сооружением мостового или тоннельного перехода между материком и островом Сахалин – для налаживания здесь бесперебойного железнодорожного сообщения.

Все три социально значимые линии расположены в южных частях северных регионов, где природно-климатические условия не являются крайне неблагоприятными для жизни людей и уже существует относительно (по северным меркам) плотное население. Представляется, что такой подход нуждается в еще более системном развитии.

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТА**

Следует отказаться от взгляда на северные регионы как исключительно источник природных ресурсов, который доминировал в течение многих десятилетий и проявляется до сих пор, когда, например, ускорение реализации проектов по развитию Арктической зоны обосновывается боязнью не успеть «к разделу пирога» в виде запасов нефти и газа [1]. Безусловно, добычу полезных ископаемых в северных районах форсировать надо, но в рамках реализации принципа устойчивого развития, принятого Генеральной ассамблеей ООН, согласно которому «устойчивое развитие подразумевает удовлетворение потребностей современного поколения, не угрожая возможности будущих поколений удовлетворять собственные потребности» [17, с. 15]. Это, в частности, означает, что добыча полезных ископаемых должна вестись без негативных последствий для экосистемы, особенно «хрупкой» в Арктике, а северные территории не должны рассматриваться исключительно как зоны добычи ресурсов, а гармонично развиваться (в том числе и в транспортном отношении).

На Севере необходимо формировать условия, максимально комфортные для жизни людей и разнообразных видов человеческой деятельности, условия не для временного пребывания ресурсодобытчиков, а дающие возможность новым поколениям полноценно жить и развиваться, не разрушая природную среду и гармонично преобразуя ее в более пригодную для людей.

Что это означает для транспортной системы Севера?

Во-первых, повышенные требования к экологичности транспорта. В этом плане несомненные преимущества имеют железные дороги, особенно в сравнении с автомобильным транспортом. Недаром в Западной Европе реализуется долгосрочная программа стимулирования переключения перевозок с автомобильных на железные дороги («Shift2Rail») [18]. А в регионах Севера, где строительство и содержание автомобильных дорог затруднено рядом специфических факторов [19], тем более логичным выглядит приоритет строительства железных дорог.

Во-вторых, Север может стать полигоном для внедрения инновационных видов транспорта, которые сейчас активно разрабатываются в мире и зачастую имеют перспективы развития во взаимодействии с железными дорогами [20, 21]. Не вдаваясь в их описание и технические аспекты, следует сформулировать социально-экономические требования к инновационным транспортным системам, учитывающие специфику северных регионов:

- высокая экологичность;
- высокая скорость, что особенно важно для преодоления огромных «северных» расстояний в приемлемое время;
- регулярность и надежность сообщения, что позволит избежать синдрома оторванности от «Большой земли»;
- относительная дешевизна сооружения и эксплуатации.

В-третьих, представляется целесообразным выделить на Севере зоны с различной степенью благоприятности для жизни людей и в первую очередь с точки зрения природно-климатических условий (например, с относительно благоприятными, неблагоприятными и крайне неблагоприятными условиями) и спрогнозировать изменения их границ с учетом наблюдаемых учеными тенденций – по крайней мере, до 2050 года и конца нынешнего столетия. Ведь освоение территории и сооружение в малоосвоенных районах новых транспортных (пионерных) магистралей и терминалов должно осуществляться исходя из перспективы как минимум нескольких десятилетий, а то и векового периода. При таком зонировании обязатель-



но нужно учитывать и такие местные факторы, как наличие, например, горячих источников на Камчатке.

В районах, относящихся к зоне с относительно благоприятными природно-климатическими условиями (с учётом прогнозируемых изменений этих условий) целесообразно комплексное социально ориентированное развитие всех видов транспорта при обеспечении опорной роли железных дорог. Каждый транспортный проект, естественно, должен быть увязан с экономическими перспективами прилегающих районов и подтвержден оценкой экономической окупаемости инвестиций. При этом желательно максимально возможное участие частных инвесторов, которых следует заинтересовать более полной свободой (ограниченной в основном экологическими параметрами) экономической деятельности на прилегающих к транспортной магистрали территориях по аналогии с примером по Мурманской железной дороге. Подобный подход использовался и для стимулирования строительства железных дорог в США в XIX веке. А перспективность его применения в современных российских условиях обоснована в статье [22].

Что касается государственных инвестиций для строительства пионерных транспортных магистралей, они весьма уместны, но должны осуществляться с учетом упущенных эффектов от возможных альтернативных вложений этих средств [23].

В зонах с неблагоприятными и крайне неблагоприятными природно-климатическими условиями железные дороги целесообразно сооружать под перспективные грузопотоки, связанные с промышленным освоением территорий или транзитными перевозками. Здесь должен быть хорошо развит воздушный, а где можно — морской и речной транспорт. Но и районы, относящиеся к этим зонам, не следует осваивать по принципу «выкачивания» природных ресурсов. В точках перспективного экономического роста, пусть и немногочисленных, необходимо надежное регулярное транспортное сообщение, а освоение территорий, в том числе и транспортная деятельность, должны вестись с обязательным соблюдением экологических стандартов.

В любом случае транспортное освоение северных регионов должно получить со-

циальный вектор, то есть быть направлено на создание благоприятной среды для жизни и деятельности людей, стимулирование роста плотности населения. И это ничуть не противоречит экономическим критериям, ведь «без людей не будет экономической жизни» [19].

## ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ

Решая задачу создания более благоприятной среды для жизни и деятельности людей в северных регионах, безусловно, нельзя абстрагироваться от природно-климатических условий и их изменений. Более того, долгосрочное планирование освоения северных зон следует осуществлять с учетом не только существующих природно-климатических условий, но и тенденций, которые фиксирует и о которых с беспокойством напоминает наука!

Известно, что уже долгое время в мире существует тенденция глобального потепления. Как свидетельствуют материалы Международной программы исследований изменений климата [24], повышение средней глобальной температуры на поверхности Земли по данным наблюдений за период 1880—2012 годов составило 0,65—1,06°C, при этом в 2003—2013 годы — 0,78—0,85°C. Другими словами, тенденция потепления усилилась, и это отражается в прогнозах на перспективу. По данным моделирования для различных сценариев изменения климата рост температуры в 2046—2065 годах может составить 1,4—1,8°C, а в 2081—2100-х — 1,0—3,7°C.

Мировое сообщество предпринимает активные меры по минимизации дальнейшего потепления, которое может привести к существенному учащению таких аномальных природных явлений, как ураганы и наводнения, и другим негативным последствиям. На международной конференции по климату, состоявшейся в Париже в декабре 2015 года, были названы определенные меры в этом отношении, ядром которых является декарбонизация мировой экономики [25]. Результатом коллективных усилий должно стать уменьшение масштабов потепления, однако даже при относительном их успехе сама тенденция некоторого роста температуры, по-видимому, будет сохраняться.

Следует отметить, что наиболее сильное потепление происходило и ожидается

в северных районах Евразии, к которым относится и Север нашей страны. Основной причиной этого считается повышение содержания парниковых газов (углекислого, метана и аэрозолей) в атмосфере, а следствием — сокращение площади морского льда в Арктике, усиление таяния ледников и повышение уровня моря, скорость которого увеличивается. В результате потепления уменьшается площадь распространения снежного покрова и мерзлоты, могут улучшиться условия судоходства в Арктике, в том числе — по Северному морскому пути.

Можно сказать, что под влиянием тепла северные регионы с точки зрения климата как бы перемещаются к югу. На это еще в 1930-х годах обратил внимание один из крупнейших исследователей Арктики В. Ю. Визе [5, с. 30]. По его наблюдениям, в период 20–30-х годов XX века средняя температура на Шпицбергене повысилась на 2°C, а на Земле Франца-Иосифа — на 3,5°C, как если бы эти территории переместились на 300 км к югу [26]. В условиях нарастания потепления в дальнейшем эта тенденция прогрессировала, что несколько улучшило условия жизни людей во многих северных регионах.

Получается, что глобальное потепление, создавая серьезные проблемы для мира в целом, открыло и некоторые новые возможности для освоения северных регионов, и эти возможности должны быть использованы.

Тенденции изменения климата необходимо учитывать при планировании хозяйственной и вообще человеческой деятельности в северных регионах, развитии там транспортных путей и строительстве инфраструктуры. Безусловно, очень нужно углубленное изучение этих тенденций и уточнение долгосрочных прогнозов.

## ВЫВОДЫ

Учитывая территориальное преобладание северных регионов России, их неизбежное и устойчивое развитие, создание там комфортной среды для жизни и деятельности людей имеет стратегическое значение для страны. Ключевую роль в формировании

такой среды играет транспортное обеспечение. Особо значимо железнодорожное сообщение — круглогодичное, регулярное, надежное, экологичное и обеспечивающее относительно низкую себестоимость перевозок. Необходимо стратегическое планирование развития железнодорожного и иных видов транспорта в северных регионах исходя прежде всего из долгосрочных потребностей людей в создании благоприятных условий для своей жизнедеятельности. И делать это надо с учетом природно-климатических тенденций и прогнозируемых изменений в окружающей среде.

## ЛИТЕРАТУРА (ОКОНЧАНИЕ)

13. Вульфова А. Б. История железных дорог Российской империи. — М.: РИПОЛ классик, 2016. — 744 с.

14. Мачерет Д. А. Экономика первых пятилеток в «зеркале» железнодорожного транспорта // Экономическая политика. — 2015. — № 4. — С. 87–112.

15. Стратегическое развитие железнодорожного транспорта России / Под ред. Б. М. Лапидуса — М.: МЦФЭР, 2008. — 304 с.

16. Мачерет Д. А. Строительство железных дорог: восточный вектор // Мир транспорта. — 2013. — № 2. — С. 86–89.

17. Устойчивое экономическое развитие в условиях глобализации и экономики знаний: концептуальные основы теории и практики управления / Под ред. В. В. Попкова. — М.: Экономика, 2007. — 295 с.

18. Программа Shift2Rail набирает силу // Железные дороги мира. — 2016. — № 8. — С. 32–37.

19. Ефимова Л. В. Точки опоры для дальневосточных преобразований // Мир транспорта. — 2014. — № 6. — С. 100–106.

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

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

22. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Современные проблемы развития и реформирования железнодорожного транспорта // Вестник ВНИИЖТ. — 2015. — № 6. — С. 3–8.

23. Мачерет Д. А. Инвестиции государства в инфраструктуру: методология оценки // Мир транспорта. — 2013. — № 4. — С. 14–19.

24. Climate Change 2014. Synthesis Report. [Электронный ресурс]: [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_All\\_Topics.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf). Доступ 30.08.2016.

25. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Влияние экологической парадигмы на долгосрочное развитие железнодорожного транспорта // Экономика железных дорог. — 2016. — № 9. — С. 12–24.

26. Визе В. Ю. Потепление Арктики // Наука и жизнь. — 1939. — № 9. — С. 1–6.

Координаты авторов: Мачерет Д. А. — [macheretda@rambler.ru](mailto:macheretda@rambler.ru), Мачерет Ю. Я. — [macheret@igras.ru](mailto:macheret@igras.ru).

Статья поступила в редакцию 06.09.2016, принята к публикации 02.12.2016.



## PROBLEMS OF TRANSPORT ACCESSIBILITY AND CONNECTIVITY IN THE NORTHERN REGIONS

### Part II. How to Avoid the Syndrome of Isolation from «Big Land»

*Macheret, Dmitry A., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
Macheret, Yuri Ya., Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.*

#### ABSTRACT

The article, published in two issues of the journal, addresses the problems of development of transport infrastructure in the northern regions of Russia (Part I: Priority of roads, land communications, Part II: How to avoid the syndrome of isolation from «metropolis»). The conclusion is substantiated that in order to ensure their attractiveness, comfort of living, increasing the population density, creating conditions for long-term sustainable social and economic development of the territories, it is necessary to deal more with the

infrastructure of land transport and, above all, the railway, which would be of a supporting nature and would strengthen the position of the transport complex in the north. It requires strategic planning for development of each type of transport, taking into account the prospects for industrial development of low-income arctic regions and long-term needs of people in creating a comfortable environment and favorable conditions for active and full-fledged life, in conjunction with the natural and climatic features of the region and their projected changes.

*Keywords:* transport, northern regions, social and economic development, land transport infrastructure, natural and climatic conditions.

**Objective.** *The objective of the authors is to consider transport problems, which arise in the northern regions of Russia.*

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

#### **Strategy for railway infrastructure**

*Russia has, perhaps, the world's largest experience in construction and operation of railways in the Far North. Suffice it to say that the total operating length of public railways in twelve analyzed northern regions of the country is about 9,5 thousand km, and this is approximately twice the size of the railway networks of such northern countries as Norway and Finland (however, a considerable part of their territories does not belong to the regions of the Far North), and is more than 11 % of the total length of Russian railways.*

*At the same time, Russia is one of three countries in the world, along with Norway and Sweden, which have railways in the Arctic. (The railways of Finland and Canada, as well as the Alaska railway in the USA, lie to the south of the Arctic Circle). It is noteworthy that the construction of the first domestic railway that goes beyond the Arctic Circle, Murmansk – Petrozavodsk, was completed a century ago, in November 1916. The mainline with a length of 1045,5 km was built in the conditions of wartime, in harsh natural conditions in a record short time – during 1 year and 8 months [13, p. 548].*

*Initially, Murmansk railway was built on the basis of military and strategic considerations – to ensure Russia's transport links with its allies through the ice-free Kola Bay. In 1923, during the restoration of our country's economy from the devastation caused by the world war, the revolution and the civil war that followed, the northern railway became the basis of the «Transport-Industrial-Colonization Combine», which task was to «colonize the Karelian-Murmansk Territory», i.e. its settlement and active economic development. At that time, during the NEP period, it was economic, market-based instruments that stimulated interest in production and trade. Thus, «Administration of Murmansk Railway received at its disposal for a period of 10 years 3 million «dessiatines» (measure of land = 2.7 acres. Editorial note) of forest territory with all its wealth within Karelia and Murmansk District ...», and «the right to invest in*

*the special colonization fund of the road all payments for the industrial exploitation of the given land» [13, p. 549]. For a number of imported goods imported through the Murmansk commercial port for the needs of the colonization combine, lower duties were imposed. This is a very remarkable example of stimulating the economic growth of the northern regions, and not only them.*

*The combine was engaged in the development of mining and other industries, completed the local commercial port, was in charge of its work and activities of other nearby ports, built residential houses and attracted migrants from neighboring regions, providing them with material assistance and benefits. Thus, «Murmansk Railway has brought to life the economy of the giant land» [13, p. 550]. At the same time, the funds raised by «Transport-Industrial-Colonization Combine» from economic activities in the allotted territory were invested in the development of the railway [13, p. 549]. There is a synergy of transport and socio-economic development of one of the most important regions of the North, achieved not at the expense of «megaprojects» financed from the budget, but due to the economic initiative stimulated within the framework of the state policy.*

*The colonization combine of Murmansk railway operated during six years. Then a new era of accelerated development began on the basis of centralized planning and mainly administrative methods of management, which had a peculiar effect on the activities of domestic railways, showing the extreme cost and ineffectiveness of such methods [14]. The experience of effective «colonization» in the 1920s of Karelian-Murmansk region on the basis of economic incentives and the priority of transport, encompassing its various types in the complex, is very valuable for formation of policies aimed at the promising development of the economy and transport of the northern regions.*

*That is, in the long-term development of the railway infrastructure, which stimulates the development of the North, our country can rely not only on the rich technical and technological, but also the economic experience of solving this task.*

*The strategy for development of railway transport in the Russian Federation until 2030 (Strategy-2030)*





provided for a number of significant projects for construction of new railway lines in the northern regions. Among them, lines are mainly of three categories.

Firstly, «strategic lines designed to strengthen the transport integrity of the Russian Federation» [15, p. 15], primarily such as Tommot–Kerem–Yakutsk (Nizhny Bestyakh), which goal is to ensure the stable supply of goods to the Republic of Sakha (Yakutia) and establishment there of a supporting transport network, and, according to the maximum strategy variant, the line Nizhny Bestyakh–Moma–Magadan. The goals of the latter are railway communication with distant regions of the country – the North-East of Yakutia and Magadan region, development of mineral and energy resources of these places. It should be noted that during the formation of the Strategy-2030, the expediency (beyond the year 2030) of construction of strategic railway lines extending this line in the direction of Kamchatka and Chukotka with access to the Bering Strait (Moma–Dachny–Uelen, Dachny–Petropavlovsk–Kamchatsky) was justified also by creating a perspective for railway communication with North America [16].

The second category is «technological lines designed to optimize the railway network for development of economic and interregional relations» [15, p. 15]. They include, for example, Right Lena–Yakutsk, aimed at ensuring a sustainable northern importation, communication with Yakutsk and creation of a supporting transport network; line Karpogory–Vendinga and Syktyvkar–Perm (Solikamsk), which assumes an alternative transport route from the Urals to the ports of the White and Barents seas, as well as assistance in developing forest resources in the north of the European part of Russia.

Thirdly, the «cargo-generating lines intended for transport support for development of new

deposits of minerals and industrial zones» [15, p. 15]. Among them is the line Polunochnoe–Obskaya–Salekhard, which aims to create a direct railway exit from the industrialized Urals to the Yamal Peninsula fields and the development of minerals from the eastern slope of the Urals (within the framework of the project «Urals Industrial – Ural Polar»), as well as the line Kyzyl–Kuragino in the Republic of Tyva, planned for development of the Egelest coking coal deposit. Strategy-2030 also provided for a number of other cargo-forming lines in the northern regions.

As can be seen even from the examples given, each line solves various problems, including social, and referring it to one or another category is somewhat arbitrary. Nevertheless, in the strategy directly related to the number of socially significant lines aimed primarily at improving transport services for the population of the northern regions, three lines are assigned:

- Khanty–Mansiysk–Salym, designed to enter the railway network to ensure transportation of goods and passengers to the city of Khanty–Mansiysk – the administrative center of the autonomous district;
- Tygda–Zeya, designed to ensure a sustainable transport connection with the city of Zeya and the creation of infrastructure conditions for socio-economic development of the surrounding areas;
- Selikhin–Nysh, with construction of a bridge or tunnel passage between the mainland and the island of Sakhalin – to establish an uninterrupted rail communication here.

All three socially important lines are located in the southern parts of the northern regions, where the natural and climatic conditions are not extremely unfavorable for people's lives and already relatively (by northern standards) dense population exists. It seems that this approach requires even more systematic development.



## Perspective approaches to transport development

It is necessary to abandon the view of the northern regions as a sole source of natural resources, which has dominated for many decades and is still manifested when, for example, the acceleration of implementation of projects for the development of the Arctic zone is justified by the fear of not having time to «divide the cake» in the form of oil reserves and gas [1]. Of course, it is necessary to force the extraction of minerals in the northern regions, but within the framework of the sustainable development principle adopted by the UN General Assembly, according to which «sustainable development means meeting the needs of the modern generation without threatening the ability of future generations to meet their own needs» [17, p. 15]. This, in particular, means that mining operations should be conducted without negative consequences for the ecosystem, especially «fragile» in the Arctic, and the northern territories should not be considered solely as a resource extraction zone, but harmoniously developed (including transport).

In the North, it is necessary to create conditions that are as comfortable as possible for people's lives and various types of human activity, conditions not for the temporary stay of resource producers, but enabling new generations to fully live and develop without destroying the natural environment and harmoniously transforming it into more suitable for people.

What does this mean for the transport system of the North?

Firstly, increased requirements for the environmental friendliness of transport. In this respect, railways have undoubted advantages, especially in comparison with road transport. It is not without reason that a long-term program is being implemented in Western Europe to encourage the shift of transportation from road to rail (Shift2Rail) [18]. And in the regions of the North, where construction and maintenance of roads is hampered by a number of specific factors [19], the more logical is the priority of the construction of railways.

Secondly, the North can become a testing ground for introduction of innovative modes of transport, which are being actively developed in the world and often have development prospects in cooperation with railways [20, 21]. Without going into their description and technical aspects, it is necessary to formulate socio-economic requirements for innovative transport systems that take into account the specifics of the northern regions:

- high environmental friendliness;
- high speed, which is especially important for overcoming huge «northern» distances at an acceptable time;
- regularity and reliability of communication, which will avoid the syndrome of isolation from the «Big Land», e.g. «metropolis» or a sort of mainland, of geographical «loneliness»;
- relative cheapness of construction and operation.

Thirdly, it seems expedient to single out zones with different degrees of favorableness for people's lives in the North, and primarily from the point of view of natural and climatic conditions (for example, with relatively favorable, unfavorable and extremely unfavorable conditions) and to predict changes in their boundaries, taking into account the trends

observed by the scientists – at least until 2050 and the end of this century. After all, development of the territory and construction of new transport (pioneer) mainlines and terminals in poorly developed areas should be carried out proceeding from the perspective of at least several decades, and even a century-long period. With such zoning, local factors, such as the presence of hot springs in Kamchatka, must also be taken into account.

In areas belonging to a zone with relatively favorable climatic conditions (taking into account the predicted changes in these conditions), it is advisable to provide comprehensive socio-oriented development of all modes of transport, while ensuring the supporting role of railways. Each transport project, of course, should be linked to the economic prospects of the surrounding areas and is confirmed by an assessment of the economic return on investment. At the same time it is desirable to maximize the participation of private investors, who should be interested in possible freedom (limited only by environmental parameters) of economic activity on the territories adjacent to the transport mainline, by analogy with the example of Murmansk Railway. This approach was also used to stimulate the construction of railways in the United States in the 19<sup>th</sup> century, and the prospects for its use in modern Russian conditions are substantiated in the article [22].

As for state investments for construction of pioneer transport mainlines, they are very appropriate, but should be implemented taking into account the missed effects from possible alternative investments of these funds [23].

In areas with unfavorable and extremely unfavorable climatic conditions, it is advisable to build railways for perspective cargo flows related to industrial development of territories or transit traffic. There must be a well developed air, and where possible – sea and river transport. But the areas related to these zones should not be developed on the principle of «pumping out» natural resources. In points of perspective economic growth, albeit not numerous, reliable regular transport communication is necessary, and development of territories, including transport activity, should be conducted with obligatory observance of ecological standards.

In any case, the transport development of the northern regions should receive a social vector, that is, be aimed at creating an enabling environment for live and activity of people, stimulating the growth of population density. And this does not contradict economic criteria, because «without people there will be no economic life» [19].

### Natural and climatic trends

Solving the problem of creating a more favorable environment for the lives and activities of people in the northern regions, of course, it is impossible to abstract from the natural and climatic conditions and their changes. Moreover, long-term planning of development of the northern zones should be carried out taking into account not only the existing natural and climatic conditions, but also trends that are fixed and recalled with concern by science!

It is known that for a long time in the world there is a trend of global warming. According to the International Climate Change Research Program [24], an increase in the average global temperature at the surface of the Earth according to observations for the period 1880–2012 was 0,65–1,06°C, while in 2003–2013 it was 0,78–0,85°C. In other words, the trend of warming has intensified, and this is reflected in the

outlook for the future. According to modeling data for various scenarios of climate change, the temperature increase in 2046–2065 can be 1,4–1,8°C, and in 2081–2100 1,0–3,7°C.

The world community is taking active measures to minimize further warming, which can lead to a significant increase in such abnormal natural phenomena as hurricanes and floods, and other negative consequences. At an international conference on climate held in Paris in December 2015, certain measures were identified in this regard, the core of which is decarbonization of the world economy [25]. The result of collective efforts should be the reduction of the scale of warming, but even with their relative success, the very tendency of a certain temperature increase is likely to persist.

It should be noted that the most severe warming occurred and is expected in the northern regions of Eurasia, to which the North of our country belongs. The main reason for this is an increase in the content of greenhouse gases (carbon dioxide, methane and aerosols) in the atmosphere, and the consequence is a reduction in the area of sea ice in the Arctic, increasing melting of glaciers and rising sea levels, the speed of which increases. As a result of warming, the area of snow cover and permafrost decreases, and conditions for navigation in the Arctic, including along the Northern Sea Route, can improve.

We can say that under the influence of heat, the northern regions from a climate point of view are moving to the south. One of the largest researchers of the Arctic V. Yu. Vize drew attention to it already in 1930s [5, p.30]. According to his observations, during the 20–30s of the 20<sup>th</sup> century, the average temperature on Spitsbergen increased by 2°C, and on Franz Josef Land – by 3,5°C, as if these territories moved 300 km to the south [26]. In conditions of increasing warming in the future this trend has progressed, which has somewhat improved the living conditions of people in many northern regions.

It turns out that global warming, creating serious problems for the world as a whole, has opened up some new opportunities for development of the northern regions, and these opportunities should be used.

Tendencies of climate change should be taken into account when planning economic and general human activities in the northern regions, the development of transport routes and the construction of infrastructure there. Undoubtedly, there is a need for an in-depth study of these trends and clarification of long-term forecasts.

**Conclusions.** Taking into account the territorial predominance of the northern regions of Russia, their inevitable and sustainable development, the creation there of a comfortable environment for life and work of people is of strategic importance for the country. A key role in formation of such an environment is played by transport support. Of particular importance is the railway communication – all-the-year-round, regular, reliable, environmentally friendly and providing a relatively low cost of transportation. It is necessary to strategically plan the development of rail and other

modes of transport in the northern regions, primarily based on the long-term needs of people in creating favorable conditions for their livelihoods. And it should be done taking into account natural and climatic trends and predictable changes in the environment.

## REFERENCES (CONTINUANCE)

13. Vulfov, A. B. History of the railways of the Russian Empire [Istorija zheleznyh dorog Rossijskoj imperii]. Moscow, RIPOL classic publ., 2016, 744 p.

14. Macheret, D. A. Economics of the First Five-Year Plans in the «mirror» of rail transport [Ekonomika pervyh pjatiletok v «zerkale» zheleznodorozhnogo transporta]. Ekonomicheskaja politika, 2015, Vol.10, Iss. 4, pp. 87–112.

15. Strategic development of rail transport in Russia [Strategicheskoe razvitie zheleznodorozhnogo transporta Rossii]. Ed. by B. M. Lapidus. Moscow, MCFER, 2008, 304 p.

16. Macheret, D. A. Construction of Railways: Eastern Vector. World of Transport and Transportation, Vol. 11, 2013, Iss. 2, pp. 86–89.

17. Sustainable economic development in the context of globalization and the knowledge economy: the conceptual basis of management theory and practice [Ustojchivoje ekonomicheskoe razvitie v uslovijah globalizacii i ekonomiki znanij: konceptual'nye osnovy teorii i praktiki upravlenija]. Ed. by V. V. Popkov. Moscow, Ekonomika publ., 2007, 295 p.

18. The Shift2Rail program is gaining strength [Programma Shift2Rail nabiraet silu]. Zheleznyye dorogi mira, 2016, Iss. 8, pp. 32–37.

19. Efimova, L. V. Support Points for the Far Eastern Transformation. World of Transport and Transportation, Vol. 12, 2014, Iss. 6, pp. 100–106.

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

21. Izmaikova, A. V. Waves of Railway Innovative Development. World of Transport and Transportation, Vol. 13, 2015, Iss. 5, pp. 26–38.

22. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Modern problems of development and reforming of railway transport [Sovremennye problemy razvitiya i reformirovaniya zheleznodorozhnogo transporta]. Vestnik VNIIZhT, 2015, Iss. 6, pp. 3–8.

23. Macheret, D. A. Public Investment in Infrastructure: Methodology Assessment. World of Transport and Transportation, Vol. 11, 2013, Iss. 4, pp. 14–19.

24. Climate Change 2014. Synthesis Report. [Electronic resource]: www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\_SYR-FINAL\_All\_Topics.pdf. Last accessed 30.08.2016.

25. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Influence of the ecological paradigm on long-term development of rail transport [Vlijanie ekologicheskoj paradigmy na dolgosrochnoe razvitie zheleznodorozhnogo transporta]. Ekonomika zheleznyh dorog, 2016, Iss. 9, pp. 12–24.

26. Vize, V. Yu. Warming of the Arctic [Poteplenie Arktiki]. Nauka i zhizn', 1939, Iss. 9, pp. 1–6. ●

Information about the authors:

**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.

**Macheret, Yuri Ya.** – D.Sc. (Geography), leading researcher, Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, macheret@igras.ru.

Article received 06.09.2016, accepted 02.12.2016.





# БАМ и развитие туризма в Восточной Сибири



Андрей РАППОРТ

Andrey V. RAPPOPORT

*Ряппорт Андрей Валерьевич – кандидат исторических наук, доцент кафедры «Сервис и туризм» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

## Baikal-Amur Mainline and Development of Tourism in Eastern Siberia

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 113)

**Богатейшие природные запасы, которыми располагают сибирские и дальневосточные районы вдоль Байкало-Амурской магистрали, делают эту зону всё более привлекательной для туристов и людей, готовых ехать сюда на бальнеологические курорты, минеральные воды, а также виды горных, водных и любых других путешествий и экскурсий. Возможности региона оцениваются в статье, исходя из реально существующих предпосылок развития и намечаемых перспектив для отдельных территорий, проектов и сфер деятельности.**

*Ключевые слова:* БАМ, Восточная Сибирь, Дальний Восток, туризм, экономика, освоение новых территорий, транспортный комплекс, потенциал развития.

**Ж**елезные дороги для гигантских сухопутных просторов нашей Родины, с разными климатическими и природными условиями, неравномерным размещением ресурсов и населения – массовый, универсальный вид транспорта, обладающий большими преимуществами. Всепогодное и круглогодичное функционирование в соединении с высокими скоростями движения создает огромную суточную и годовую провозную способность, что в сочетании с почти неограниченными резервами быстрого и сравнительно несложного ее поэтапного наращивания при небольших затратах средств, труда и времени сулит эффективность и в будущем. При низкой себестоимости железнодорожных перевозок и наименьших удельных затратах энергоресурсов это самый безопасный и экологически чистый вид транспорта. Все это предопределило приоритет железной дороги для транспортных коммуникаций Сибири и Дальнего Востока. Она стала кратчайшим путем через Сибирь к Тихому океану: в начале прошлого столетия это был Транссиб, а в последней четверти века – плюс и Байкало-Амурская магистраль, еще более сокращающая путь к Океану (в среднем на 500 км).

## I.

В течение века менялись акценты, но доминанты оставались неизменными: важность сооружения Байкало-Амурской железнодорожной магистрали для хозяйственного развития Сибири и Дальнего Востока не отрицалась, экономическая целесообразность ее подразумевалась, а военно-стратегическая необходимость подчеркивалась. Изменение геополитической ситуации в России, возрастание значимости восточных районов как источников богатейших природных ресурсов и их географическая близость к динамичному рынку Азиатско-Тихоокеанского региона определили необходимость активного хозяйственного освоения новых территорий и в первую очередь имеющих железнодорожную инфраструктуру.

Это приоритет, который диктуется геополитическими и экономическими интересами страны. Дальнейшему экономическому продвижению на Восток призвана способствовать модернизация Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей. Модернизация требует и развития фирменного обслуживания в поездах, идущих на Дальний Восток. Фирменный поезд — это современное оснащение вагонов и оригинальный дизайн, высококлассный сервис и широкий перечень услуг.

1 июня 2009 года шесть фирменных поездов ОАО «РЖД» были переведены в класс «Премиум». Их отличает максимальный уровень комфорта и надежности. Все требования к фирменным поездам СНГ и стран Балтии изложены в положении «О фирменном пассажирском поезде». Все они периодически проходят переаттестацию в ФПД. Особенно это касается поездов, идущих на Дальний Восток. Каждый из них оформлен в особом стиле, который отражен как во внешнем, так и внутреннем дизайне, и имеет индивидуальное название (как правило, связанное с регионом, который обслуживает дорога, его историей и традициями).

Фирменные поезда формируются из пассажирских вагонов, находящихся в эксплуатации не более 12 лет после постройки или капитально-восстановительного ремонта. В составе обязательно есть вагоны повышенной комфортности со специальным сервисным обслуживанием, стоимость которого включена в стоимость проезда. В зависимости от комплекса предоставляе-

мых услуг вагоны повышенной комфортности подразделяются на экономический, бизнес-класс и люкс. В нескольких фирменных составах курсируют вагоны повышенной комфортности класса люкс (в вагоне — четыре купе, полы с подогревом, отдельные душевые и туалетные комнаты). Однако установленные стандарты плохо соблюдаются во внутрисибирских поездах дальнего следования, а также идущих на Дальний Восток из городов Сибири.

Пока основная масса поездов в зоне БАМ отстает не только от мировых стандартов, но и от общероссийских. Таким ориентиром может служить поезд Москва—Пекин. Каждый, кто хоть раз путешествовал на дальние расстояния по железной дороге, знает, что порой приобрести билеты на Дальний Восток не так-то легко. Именно поэтому был введен в эксплуатацию поезд «Восток». Он соответствует всем общепринятым требованиям международных железнодорожных перевозок. Первое, что обращает на себя внимание, — это великолепный внешний вид поезда: составы имеют яркую бордово-белую раскраску. На каждом вагоне надписи на двух языках (русском и китайском) о маршруте. Проводники следят за поддержанием идеального порядка в вагонах. К положительным моментам стоит отнести также наличие телевизоров в купе, индикатора занятости туалета, электронного табло, показывающего время, и индикатора температуры. Вот такие стандарты необходимо внедрять в ускоренном порядке во всех поездах, курсирующих через Сибирь на Дальний Восток.

## II.

Одним из направлений подъема экономики зоны БАМ может стать туризм. Огромный интерес для международного и российского туризма представляют Байкальское кольцо, включающее ангарские ГЭС, верхняя Лена, Царская Котловина, Сихотэ-Алинь и другие места, обладающие замечательными рекреационными условиями. Уже несколько лет туристские фирмы предлагают экскурсионные маршруты в порт Ванино, по сталинским лагерям, экзотические туры по рекам и озерам Приамурья, рафтинг. Одной из самых привлекательных областей является Забайкальский край. Здесь огромный потенциал по развитию внутреннего туризма, причем



буквально всех видов. Но еще очень слаба инфраструктура: все держится благодаря запасу прочности еще советского периода. То, что было построено тогда, к сожалению, уже износилось как физически, так и морально, и давно не отвечает современным международным стандартам. Кроме того, в Забайкалье пока еще мало гостиниц, в первую очередь, туристического класса. Одной из проблем является цена на билет, например, от Москвы до Читы, которая отбивает у людей всякое желание приехать сюда и увидеть своими глазами местные красоты.

Перспективен экстремальный туризм, поскольку в Восточной Сибири есть и бурные реки, и озера интересные — это для водников. Мекка альпинистов — Каларский район, горы, хребты. С ними в связке идут спортивный туризм, а также рыбалка — очень многообещающие направления. Важно обратить внимание и на экологический туризм, а вместе с ним на сельский и этнический, поскольку тут есть эвенкийские, бурятские и старообрядческие поселения, сохранившие свои традиции, культура семейских. Можно развивать научный туризм, в Забайкалье находят останки древнейших животных, флоры. Существуют уникальные места, где обитает впечатляющее видовое разнообразие птиц, причем многие из них занесены в Красную книгу — это уже сфера интересов орнитологов.

Территория, по которой проходит западный участок БАМ, входит в состав Станового нагорья, являющегося южной частью Байкало-Становой физико-географической области. Нагорье состоит из системы горных цепей, вытянутых с запада-юго-запада на восток-северо-восток и разделенных узкими межгорными понижениями. В западной его половине поднимаются Верхне-Ангарский, Делюн-Уранский, Северо- и Южно-Муйские хребты, вершины которых достигают 2700 метров. Здесь преобладают дикие живописные безлесные вершины — гольцы, увенчивающие крутые скалистые хребты. У многих хребтов — пилообразные крутые гребни с остроконечными пиками и зубчатыми вершинами, склоны которых изъедены глубокими карами. Встречаются кары до 2–3 км в поперечнике, высота их задней стенки, часто отвесной, достигает 500 м. На дне лежат озера диаметром до 1 км. Гребни и вершины поднимаются над днищем каров

и долин на 500–1000 м и более. Нередко они увенчаны многочисленными останцами выветривания, принимающими форму причудливых столбов и фигур. Хребты изрезаны глубокими труднопроходимыми ущельями и ледниковыми троговыми долинами. Склоны хребтов представляют собой круглые (местами свыше 60°) скаты, сменяющиеся многосотметровыми скальными стенками. Скаты рассечены прямолинейными желобами, отстоящими друг от друга на десятки и сотни метров. По ним сходят снежные лавины, камнепады, водные потоки.

В целях сохранения уникальной природы Северного Прибайкалья созданы Баргузинский государственный заповедник и Фролихинский государственный заказник. Туристов давно привлекал Баргузинский хребет. Этому способствовали достаточно удобные подъезды с трёх сторон: Баргузинский тракт, озеро Байкал и долина Верхней Ангары, по которой проложена трасса БАМ.

Освоение района началось в конце 1950-х годов, но маршруты в основном проходили по долинам крупных рек — Аллы, Томпуды, Улюна, Фролихи, Намамы с преодолением несложных перевалов. Наиболее интересная центральная часть хребта долгое время оставалась малоосвоенной. Лишь с 70-х годов приступили к более детальному ее изучению. При этом был пройден целый ряд перевалов в верховьях рек Кабанья, Алла, Талинга, Долсы, Большие Карпусы, а также совершено восхождение на некоторые господствующие вершины. Примечательно восхождение на гору 2714 м с перевала из верховьев реки Талинга на Долсы, расположенного северо-западнее вершины (на ней стоит триангуляционный знак и сложен тур).

Вот пример лыжного маршрута, который может быть спроектирован и летом как пешеходный до озера Байкал и поселка Нижнеангарск. Поход начинается из села Ченча, центральной усадьбы колхоза «Ангарский» недалеко от трассы БАМ. Маршрут знакомит с северной частью Баргузинского хребта и озером Байкал. Путь лежит через село Кумора на озеро Иркана, где находится одноименный курорт. Озеро окружено поросшими густым хвойным лесом горами: с юго-востока — Северо-Муйского хребта, с запада и юго-запада — Баргузинского.

Отсюда возможен трехдневный радиальный выход по рекам Укуолкит и Няндони к высшей точке западной части Северо-Муйского хребта — пику 2561 м в верховьях реки Кумора. Другой путь знакомит с гольцовой зоной северного Баргузина. От устья ручья Улюг спускаются 2,5 км по реке Светлой до впадения в нее левого притока — Богодикты. Крутые залесенные, местами скальные склоны вплотную подступают к реке. Это уникальные по своей красоте места, которые привлекают тысячи туристов со всей страны.

### III.

Конечно, БАМ задумали, разведали, спроектировали и, наконец, почти построили не для удовольствия туристов и рекреантов. Но для дальнейшего развития Восточной Сибири и Дальнего Востока огромное значение имеет рекреационная значимость регионов, расположенных в непосредственной близости от магистрали. Интересной для российских и иностранных туристов является неповторимая красота природы Сибири, а также термальные лечебные источники, которые очень полезны для здоровья. Рекреационные зоны БАМ надо рассматривать как реальный путь развития экономики благодаря созданию малых рекреационных предприятий. Причем здесь возможна как стационарная рекреация (близ термальных источников и богатых рыбой рек), так и транзитная в нескольких пунктах, и мобильная.

Уже к 1977 году в зоне западного участка БАМ минеральные источники и лечебные грязи использовались как дикие курортные, некоторые — с XVII века. Только в Северном Забайкалье и Прибайкалье установлено 17 типов минеральных вод пяти курортно-рекреационных районов. На западе к северу от водосбора оз. Байкал находится Лено-Киренгский район с прекрасными горно-таежными пейзажами Иркутской области и по крайней мере шестью типами минеральных вод. Применяются только радиоактивные хлоридные натриевые рассолы Усть-Кута, на которых еще в 1639 году Ерофеем Хабаровым был построен солеваренный завод. Бальнеологический и грязевой курорт в этом месте излечивает артриты, болезни периферической нервной системы, гинекологические.

Туристские базы в Усть-Куте могут использоваться для пешеходных, водных, конных маршрутов, лыжных, авто-, вело-, мототранспортных. Можно «эксплуатировать» р. Лену и ее притоки. В долине р. Киренга есть точно такие же воды, как в Усолье Сибирском, например, на правом берегу, напротив с. Ключи. Хлоридные соленые воды выходят по правому берегу р. Улькан в 12 км от устья. Воды Ключей и Улькана рекомендуются и для лечения опорно-двигательной системы, и для органов пищеварения. В бассейне р. Киренга найдены сульфатные солоноватые воды краинского и учумского типов и пресные лечебные воды, например, хлоридные радоновые липовского типа, оказывающие рассасывающее действие, повышающие иммунитет, лечащие болезни органов движения, пищеварения, сердце. Выше пос. Тарасово и недалеко от ст. Улькан есть Мунокский источник минеральной воды редкого в бывшем СССР трускавецкого типа.

Северо-Байкальский курортно-рекреационный район расположен на северном побережье Байкала и в долине р. Верхняя Ангара по северный склон Баргузинского хребта. Таежный пояс с кедровыми и кедрово-пихтовыми лесами переходит в сосново-лиственничную прибрежную полосу с остепненными лесами. Оптимальных и удовлетворительных погод в теплое время — 130, в холодное — 140 дней. Вода в июле—августе на мелководьях прогревается до 18–23°C. Туристов здесь ждут рыбная ловля, фотоохота на птиц, пеший, конный, водный туризм — по побережью Байкала, хребтам с выходом в пос. Баргузин, а также в противоположном направлении, в долину р. Киренга.

Итак, западный участок зоны БАМ — в перспективе богатейшая бальнеологическая провинция, годная уже сейчас как для спортивно-оздоровительной рекреации, так и отдыха на реках, малых и средних озерах. Разумеется, огромное значение имеет и само грандиозное озеро Байкал. Там развиваются спортивная рыбалка, охота, фотоохота, собирательство, горный туризм.

А ведь это даже не половина четырехтысячекилометровой БАМ. Туризм может еще быстрее развиваться на основе договоров с заинтересованными предприятиями, организациями, иностранными фирмами



и частными лицами. Это даст возможность привлечь дополнительные средства на реализацию программы дальнейшего хозяйственного освоения зоны Байкало-Амурской магистрали.

В конце всей трассы туристов ждет важнейший дальневосточный порт Советская Гавань. Хотя район пока еще глубоко дотационный, он закладывает собственные средства на развитие туристской инфраструктуры. У соседей пользуется интересом уже давно, о нем есть информация даже в каталогах Японии для рыбаков, охотников, любителей экстремального отдыха, в том числе о базах на реке Коппи, а также о людях, которые могут быть проводниками и показать уникальные уголки края.

У района есть большой бальнеологический потенциал, на его территории находятся уникальные термальные источники в верховьях реки Тутто, которые по своему составу приравняются к кавказским минеральным водам. В соседнем Ванинском районе на базе похожих термальных источников действует санаторий «Горячий ключ» в поселке Тумнин, добраться туда можно только поездом. Центром бальнеологического отдыха планируется сделать Советскую Гавань. Поэтому перспективы развития региона не могут не впечатлять. Программой развития туризма предусматривается создание центра рекреационно-оздоровительного туризма на базе лечебных источников. Мягкий климат, достаточно устойчивая мягкая зима и большое количество снега — отличные природные условия для развития горнолыжного направления, зимних видов спорта. И есть компания, которая занимается продвижением этого вида туризма и имеет опыт получения краевых грантов.

Еще одно направление, которое активно прорабатывается — это заход в морской порт больших круизных судов, в том числе международных. В Корсаково, например, более 20 таких заходов запланировано уже в 2017 году. Чтобы развивать это направление, необходимо создать туристическую схему маршрута по территории района, комфортные условия для туристов, удобную инфраструктуру, открыть новые мага-

зины, разработать свою сувенирную продукцию. Местная администрация сейчас над этим работает. Масштабное развитие туризма в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке возможно только при непрерывном совершенствовании всей инфраструктуры Байкало-Амурской магистрали в сочетании с развитием остальных видов транспорта.

Два года назад исполнилось 110 лет Кругобайкальской железной дороге. Достояние отрасли, региона и всей России — «Золотая пряжка Транссиба». На КБЖД находится более 800 объектов культурного наследия. Безусловно, эта дорога имеет большие перспективы для развития туризма. РЖД регулярно поступают предложения от коллег из Китая и Монголии об организации туристических маршрутов в Иркутск с посещением КБЖД. Интерес к этому уникальному месту высок и внутри России. Только в 2015 году КБЖД посетили более 10 тысяч человек. Для доставки иностранных туристов из Монголии и Китая РЖД планирует организовать следование дополнительных вагонов до Иркутска в составах международных пассажирских поездов «Москва—Пекин» и «Москва—Улан-Батор».

Популяризация железнодорожного туризма, в частности по КБЖД, принесет не только новый импульс в развитии ВСЖД, но и создаст благоприятные условия для экономики региона и укрепления культурных связей между Россией и иностранными государствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов А. А. История железнодорожного транспорта (краткий курс): Учеб. пособие. — М.: РГОТУПС, 2003. — 309 с.
2. Аксененко Н. Е., Лapidус Б. М., Мишарин А. С. Железные дороги России: от реформы к реформе. — М.: Транспорт, 2001. — 335 с.
3. Крейнис З. Л. Очерки истории железных дорог. Два столетия. — М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2007. — 279 с.
4. Соколова М. В. История туризма. — М.: Академия, 2010. — 352 с.
5. Освоение новых земель в районе строительства БАМ. — Хабаровск, 1976. — 64 с.
6. Гидроминеральные ресурсы территории БАМ и перспективы их освоения. — Иркутск, 1980. — 54 с.
7. Освоение природных ресурсов и качество окружающей среды зоны БАМ. — Иркутск, 1980. — 56 с. ●

Координаты автора: **Раппопорт А. В.** — raptik@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 16.12.2016, принята к публикации 24.03.2017.



## BAIKAL-AMUR MAINLINE AND DEVELOPMENT OF TOURISM IN EASTERN SIBERIA

*Rappoport, Andrey V., Moscow State University of Railway Engineering (MIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

The richest natural reserves that the Siberian and Far Eastern regions have along the Baikal-Amur Mainline (called in short in conformity with Russian practices as BAM) make this zone more attractive for tourists and people ready to go here for balneological

resorts, mineral waters, all kinds of mountain, water and any other trips and excursions. Opportunities of the region are assessed in the article, proceeding from the really existing prerequisites for development and outlined prospects for individual territories, projects and spheres of activity.

*Keywords:* Baikal-Amur Mainline, Eastern Siberia, Far East, tourism, economy, development of new territories, transport complex, development potential.

**Background.** Railways for the giant land areas of our country, with different climatic and natural conditions, uneven distribution of resources and population are a mass, universal mode of transport, which has great advantages. All-weather and year-round operation in conjunction with high speeds creates a huge daily and annual carrying capacity, which, in combination with the almost unlimited reserves of a fast and relatively simple step-by-step increase at a small expense of assets, labor and time promises efficiency in the future. With a low cost of rail transportation and the lowest unit cost of energy, this is the safest and most environmentally friendly mode of transport. All this predetermined the priority of the railway for transport communications in Siberia and the Far East. It became the shortest route through Siberia to the Pacific Ocean: at the beginning of the last century it was the Trans-Siberian Railway, and in the last quarter of the century –the Baikal-Amur Mainline, which further reduces the way to the Ocean (500 km on average).

**Objective.** The objective of the author is to consider ways for development of tourism in Eastern Siberia with the help of the Baikal-Amur Mainline.

**Methods.** The author uses general scientific methods, comparative analysis, scientific description.

### Results.

#### I.

The accents changed over the course of the century, but the dominants remained unchanged: the importance of building the Baikal-Amur railway for the economic development of Siberia and the Far East was not denied, its economic feasibility was implied, and military-strategic necessity was emphasized. The change in the geopolitical situation in Russia, the growing importance of the eastern regions as sources of the richest natural resources and their geographical proximity to the dynamic market of the Asia-Pacific region have determined the need for active economic development of new territories and, first of all, having a railway infrastructure.

This is a priority that is dictated by the geopolitical and economic interests of the country. The modernization of the Trans-Siberian and Baikal-Amur Mainlines is called upon to contribute to the further economic progress to the East. Modernization also requires the development of firm service in trains going to the Far East. The named train is a modern equipment of cars and original design, high-quality service and a wide range of services.

On June 1, 2009, six named trains of JSC Russian Railways were transferred to the «Premium» class. They are distinguished by the maximum level of comfort and reliability. All the requirements for

named trains of the CIS and the Baltic States are set out in the Regulation «On the Named Passenger Train». All of them periodically pass the re-attestation in the FPD. Especially it concerns the trains going to the Far East. Each of them is decorated in a special style, which is reflected in both external and internal design, and has an individual name (usually associated with the region that the railway serves, its history and traditions).

Named trains are formed from passenger cars that are in operation no more than 12 years after the construction or major repair. The train has necessarily luxury cars with special service, the cost of which is included in the fare. Depending on the range of services provided, luxury cars are divided into economic, business class and luxury. In several named trains luxury cars of increased comfort (in the car – four compartments, heated floors, separate showers and toilet rooms) operate. However, the established standards are poorly observed in long distance trains in Siberia, as well as going to the Far East from the cities of Siberia.

Currently the bulk of trains in the BAM zone lag behind not only from world standards, but also from all-Russian ones. As such a guide a train Moscow–Beijing can serve. Everyone who has ever traveled long distances by rail knows that sometimes it is not so easy to buy tickets to the Far East. That is why the «Vostok» train was commissioned. It complies with all generally accepted requirements of international rail transportation. The first thing that attracts attention is the magnificent exterior of the train: the trains have a bright burgundy-white coloring. On each car there are inscriptions in two languages (Russian and Chinese) about the route. Conductors monitor the maintenance of the ideal order in the cars. To the positive moments is also attributed the presence of TV in the compartment, a toilet busy indicator, an electronic display showing time, and a temperature indicator. Such standards are to be met in an accelerated order in all trains that run through Siberia to the Far East.

#### II.

Tourism can become one of the directions of the economic growth of the BAM zone. The Baikal ring, which includes the Angara hydropower stations, the upper Lena, Tsarskaya Kotlovina, Sikhote-Alin and other places that have remarkable recreational conditions, is of great interest to international and Russian tourism. For several years, tourist companies offer sightseeing routes to the port of Vanino, in the Stalin camps, exotic tours along the rivers and lakes of the Amur River, rafting. One of the most attractive areas is the Trans-Baikal Territory. There is a huge potential for the development of domestic tourism, and literally of all kinds. But the infrastructure is still



very weak: everything is held up by the margin of strength of the Soviet period. What was built then, unfortunately, already worn out both physically and morally, and for a long time does not meet modern international standards. In addition, in Transbaikalia there are still few hotels, first of all, of tourist class. One of the problems is the ticket price, for example, from Moscow to Chita, which discourages people from any desire to come here and see the local beauties with their own eyes.

Extreme tourism is promising, because there are stormy rivers in Eastern Siberia, and interesting lakes are for watermen. Mecca of mountaineers is Kalarsky region, mountains, ridges. Sport tourism, as well as fishing – very promising directions, go with them in a team. It is important to pay attention to ecological tourism, and with it to rural and ethnic, because here there are Evenki settlements, Old Believers, and culture of descendants of Old Believers, Buryats who have preserved their traditions. It is possible to develop scientific tourism, in Transbaikalia area the remains of ancient animals, flora are found. There are unique places where an impressive species diversity of birds lives, and many of them are listed in the Red Book – this is already the sphere of interest of ornithologists.

The territory along which the western part of the BAM passes belongs to the Stanovoe Plateau, which is the southern part of the Baikal-Stanovoy physico-geographical region. Highlands consist of a system of mountain chains stretched from the west-southwest to the east-north-east and separated by narrow intermountain depressions. In the western part of it, the Upper Angara, Delun-Uranian, the North and South Muya Ranges rise, the peaks of which reach 2700 meters. Here, wild, picturesque treeless peaks dominate – loaches, crowning steep rocky ridges. Many ridges have sawtooth steep ridges with peaked vertices and crenellated peaks, the slopes of which are corroded by deep crusts. There are carats up to 2–3 km in diameter, the height of their back wall, often steep, reaches 500 m. At the bottom lakes with a diameter of up to 1 km are located. The crests and peaks rise above the bottom of the car and the valleys by 500–1000 m and more. Often they are crowned with numerous weathering remains, taking the form of quaint pillars and figures. Ridges are cut by deep hard-to-pass gorges and glacial trough valleys. The slopes of the ridges are steep (in some places over 60°) slopes, which are replaced by many hundred-meter rock walls. The hillsides are dissected by rectilinear trenches, spaced from each other by tens and hundreds of meters. Snow avalanches, rockfalls, water streams descend on them.

In order to preserve the unique nature of the Northern Baikal region, the Barguzinsky state reserve and the Frolikhinsky state reserve have been established. Tourists have long been attracted to the Barguzinsky Range. This was facilitated by quite convenient entrances from three sides: Barguzinsky tract, Lake Baikal and the valley of the Upper Angara, along which the BAM route was laid.

The development of the area began in the late 1950s, but the routes mostly passed along the valleys of the major rivers – Alla, Tompuda, Ulyun, Frolikha, Namama with the passage of uncomplicated passes. The most interesting central part of the ridge remained for a long time underdeveloped. Only from the 70's more detailed study of it started. At the same time, a number of passes were passed in the upper

reaches of the Kabanya, Alla, Talinga, Dolsa, Bolshaya Karpus rivers, as well as hill climbing to some dominant peaks was performed. It is interesting to climb the mountain 2714 m from the pass from the headwaters of the Talinga River to Dolsa, located northwest of the summit (there is a triangulation sign and a complex tour).

Here is an example of a ski route that can be designed in summer as a pedestrian route to Lake Baikal and the village of Nizhneangarsk. The trek begins from the village of Chenchka, the central farmstead of the Angarsk collective farm near the BAM. The route introduces the northern part of the Barguzin Range and Lake Baikal. The path lies through the village of Kumora to Lake Irkan, where the eponymous resort is located. The lake is surrounded by mountains overgrown with dense coniferous forest: from the south-east – the North-Muysky ridge, from the west and south-west – Barguzinsky. From here, a three-day radial exit along the rivers Ukuolkit and Nyandoni to the highest point of the western part of the North Muisky ridge is possible – a peak of 2561 m in the upper reaches of the Kumora River. Another route introduces the bald mountains zone of northern Barguzin. From the mouth of the creek Ulyug descend 2,5 km along the Svetly River to the confluence of the left tributary – Bogodokta. Steep forested, sometimes rocky slopes are close to the river. This is a unique in its beauty places that attract thousands of tourists from all over the country.

### III.

Of course, BAM was conceived, explored, designed and, at last, almost built, not for the pleasure of tourists and recreators. But for the further development of Eastern Siberia and the Far East, the recreational significance of the regions located in the immediate vicinity of the mainline is of great importance. The unique beauty of the nature of Siberia, as well as thermal medicinal springs, which are very useful for health, are interesting for Russian and foreign tourists. Recreational zones of BAM should be considered as a real way of economic development through the creation of small recreational enterprises. And here it is possible to create as a stationary recreation (near thermal springs and fish-rich rivers), transit at several points, and mobile.

Already by 1977, in the zone of the western section of the BAM, mineral springs and therapeutic muds were used as wild resorts, some from the 17<sup>th</sup> century. Only in the Northern Transbaikalia and the Baikal region 17 types of mineral waters of five resort and recreational areas have been established. In the west to the north of the catchment of Lake Baikal Leno-Kirengsky area is located with beautiful mountain-taiga landscapes of the Irkutsk region and at least six types of mineral waters. Only radioactive sodium chloride brines of Ust-Kut are used, on which, in 1639, Yerofei Khabarov built a salt plant. The balneological and mud resort at this place cures arthritis, diseases of the peripheral nervous system, gynecological diseases.

Tourist camps in Ust-Kut can be used for pedestrian, water, horse routes, skiing, auto-bicycles and motorcycles. It is possible to «exploit» river Lena and its tributaries. In the valley of the river Kirenga there is exactly the same water as in Usolye Sibirskoye, for example, on the right bank, opposite to the village Klyuchi. Chloride salty waters overlook the right bank of the river Ulkan 12 km from the mouth. The waters of Klyuchi and Ulkan are recommended both for the treatment of the musculoskeletal system, and for the

digestive organs. In the basin of the river Kirenga there are sulfate brackish waters of the Krainian and Uchum types and fresh medicinal waters, for example, chloride radon-type Lipov type, which have a resolving effect, increase immunity, treat diseases of the organs of motion, digestion, and heart. Above the village Tarasovo and not far from the station Ulkan there is the Munok spring of mineral water of Truskavets type, rare in the former USSR.

The North Baikal resort and recreational area is located on the northern coast of Lake Baikal and in the valley of the river Upper Angara along the northern slope of the Barguzinsky Range. The taiga belt with cedar and cedar-fir forests turns into a pine-larch coastal strip with steppe forests. Optimum and satisfactory weather in warm weather is 130, in cold weather – 140 days. Water in July–August in shallow waters warms up to 18–23°C. Fishing, photo hunting for birds, foot, horse, water tourism – along the coast of Lake Baikal, ridges with access to the village Barguzin, as well as in the opposite direction, to the valley of the river Kirenga are for tourists here.

So, the western part of the BAM zone is in the future, the richest balneological province, which is now suitable both for sports and recreational activity, and recreation on rivers, small and medium lakes. Of course, the great Lake Baikal itself is of great importance. There, sport fishing, hunting, photo hunting, gathering, mountaineering are developing.

But this is not even half a four-thousand-kilometer BAM. Tourism can develop even faster on the basis of contracts with interested enterprises, organizations, foreign firms and individuals. This will provide an opportunity to raise additional funds for the implementation of the program for further economic development of the Baikal-Amur Mainline.

At the end of the entire route the most important Far Eastern port of Sovetskaya Gavan awaits tourists. Although the district is still deeply subsidized, it lays its own funds for the development of tourist infrastructure. The neighbors have been interested in this area for a long time already, there is information about it even in the catalogs of Japan for fishermen, hunters, extreme rest lovers, including the camps on the Koppi River, as well as about people who can guide and show the unique places of the region.

The region has a great balneological potential, on its territory there are unique thermal springs in the headwaters of the Tutto River, which in their composition are equated with the Caucasian mineral waters. In the neighboring area of Vanino, based on similar thermal springs, the «Hot Spring» sanatorium operates in the village of Tumnin, you can get there only by train. It is planned to make Sovetskaya Gavan the center of balneological rest. Therefore, the prospects for the development of the region are impressive. The tourism development program provides for the creation of a center for recreational and health tourism on the basis of medical sources. A mild climate, a fairly stable mild winter and a large amount of snow are excellent natural conditions for the development of the skiing area, winter sports. And there is a company that promotes this type of tourism and has an experience in obtaining regional grants.

Another area that is being actively developed is the call to the seaport of large cruise ships, including international ones. In Korsakovo, for example, more than 20 such calls are planned as early as 2017. To develop this direction, it is necessary to create a tourist scheme of the route through the territory of the district, comfortable conditions for tourists, convenient infrastructure, open new shops, develop own souvenir products. The local administration is now working on this. The large-scale development of tourism in Eastern Siberia and the Far East is possible only with the continuous improvement of the entire infrastructure of the Baikal-Amur Mainline combined with the development of other modes of transport.

Two years ago, the Circum-Baikal Railway (CBR) was 110 years old. The achievement of the industry, the region and the whole of Russia is the «Golden Buckle of Transsib». There are more than 800 cultural heritage sites on CBR. Of course, this railway has great prospects for the development of tourism. Russian Railways regularly receive proposals from colleagues from China and Mongolia on the organization of tourist routes to Irkutsk with a visit to the CBR. Interest in this unique place is also high in Russia. Only in 2015 the CBR was visited by more than 10 thousand people. To transport foreign tourists from Mongolia and China, Russian Railways plan to organize the movement of additional cars to Irkutsk in the international passenger trains Moscow–Beijing and Moscow–Ulan Bator.

**Conclusion.** The popularization of railway tourism, in particular on the CBR, will not only bring a new impetus to the development of the East-Siberian Railway, but also create favorable conditions for the regional economy and strengthen cultural ties between Russia and foreign countries.

## REFERENCES

1. Abramov, A. A. History of Railway Transport (short course): educational guide [*Istorija zheleznodorozhnogo transporta (kratkij kurs): Ucheb. posobie*]. Moscow, PGOTUPS publ., 2003, 309 p.
2. Aksenenko, N. E., Lapidus, B. M., Misharin, A. S. The railways of Russia: from reform to reform [*Zheleznye dorogi Rossii: ot reformy k reforme*]. Moscow, Transport publ., 2001, 335 p.
3. Kreines, Z. L. Essays on the history of railways. Two centuries [*Ocherki istorii zheleznyh dorog. Dva stoletija*]. Moscow, TMS on education on railway transport, 2007, 279 p.
4. Sokolova, M. V. History of tourism [*Istorija turizma*]. Moscow, Academia publ., 2010, 352 p.
5. Development of new lands in the BAM construction area [*Osvoenie novyh zemel' v rajone stroitel'stva BAM*]. Khabarovsk, 1976, 64 p.
6. Hydromineral resources of the BAM territory and prospects for their development [*Gidromineral'nye resursy territorii BAM i perspektivy ih osvoenija*]. Irkutsk, 1980, 54 p.
7. Development of natural resources and environmental quality of the BAM zone [*Osvoenie prirodnih resursov i kachestvo okruzhajushhej sredy zony BAM*]. Irkutsk, 1980, 56 p.

Information about the author:

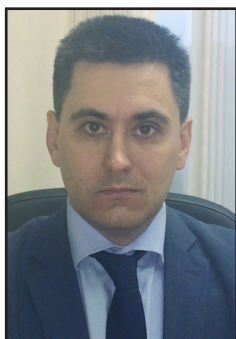
**Rappoport, Andrey V.** – Ph.D. (History), associate professor of the department of Service and Tourism of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, raptik@inbox.ru.

Article received 16.12.2016, accepted 24.03.2017.





## Сибирская транслогистическая платформа: инструмент инвестиционной привлекательности



Алексей ГУЦ

Aleksey V. GUTS

### Siberian Transport & Logistic Platform: a Tool to Attract Investment

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 121)

**Проблема трудовой и социальной мобильности людей в условиях экономической неопределённости и поиска стратегий экономического роста приобретает все большую актуальность. Причём на языке транспортника речь в данном случае должна идти о точках «притяжения пассажиропотока». В статье рассмотрены вопросы расширения и укрепления коммуникационных связей людей за счёт улучшения сервиса и предоставления клиентам комбинированных транспортно-логистических услуг. Инструментом решения столь комплексной задачи предлагается организация региональной транслогистической платформы – сетевого экономического пространства взаимодействия и кооперации транспортных компаний на основе интегрированного подхода к обслуживанию населения и современных информационных технологий.**

**Ключевые слова:** мобильность, транспортно-логистические услуги, цепи создания стоимости, технологическая интеграция, модель интегрированного подхода, сетевая кооперация, транслогистическая платформа.

*Гуц Алексей Васильевич – заместитель начальника по экономике и финансам Западно-Сибирского филиала АО «Федеральная пассажирская компания», Новосибирск, Россия.*

**З**адача трансформации мобильности людей в устойчивый экономический рост российских регионов упирается в нетривиальный процесс формирования бесшовного сетевого пространства между различными регулярными видами транспорта и обеспечения коммуникаций центров массового проживания людей с центрами производства оздоровительно-туристических, научных, культурно-досуговых услуг (точками притяжения пассажиропотока). Представление пассажирской транспортной услуги в комплексных транспортных схемах регионов Российской Федерации как составляющей в цепочках формирования добавленной стоимости и её оптимизации за счёт перераспределения части стоимости на сопутствующие, комплементарные сервисные услуги, а также услуги, которые имеют более высокую добавленную ценность для потребителя в цепи единого (общего) предложения.

В этом процессе важную роль выполняет логистика – в современных условиях не просто инструмент поиска оптимального решения транспортной задачи, а технология управления цепями создания стоимости. То есть выполняемую ею задачу можно пред-

ставить как ключевую. Логистика, управляя сетевым взаимодействием участников в цепи формирования потребительской ценности, вовлекая новые ресурсы, предлагая новые продукты, охватывая новые рынки, сама становится эффективным инструментом для стимулирования производства и потребления [1, с. 5].

В рамках предполагаемой комплексной задачи необходимо выделить следующие направления:

1. Формирование единого или общего стандарта качества обслуживания пассажиров.

2. Технологическую интеграцию участников транспортного бизнеса и участников цепи формирования добавленной стоимости.

3. Формирование оптимальной маршрутной сети на основе региональной и международной кооперации бизнеса и комплексности услуг.

*Первое направление: формирование единого или общего стандарта качества обслуживания пассажиров.*

В соответствии со структурной реформой федерального железнодорожного транспорта, утвержденной постановлением правительства от 15 мая 1998 года, целевая функция реорганизации пассажирского хозяйства была определена как создание условий для демонаполизации отдельных сфер деятельности железнодорожного транспорта, развития рыночной конкуренции и сокращение затрат, финансируемых за счёт тарифа на перевозки, путем устранения перекрестного субсидирования различных видов перевозок, а также введения бюджетного финансирования затрат на удовлетворение общественных потребностей [2]. Преобразования коснулись всех подразделений ОАО «РЖД», связанных с организацией процесса оказания транспортных пассажирских услуг населению: образованы пригородные пассажирские железнодорожные компании, дирекции железнодорожных вокзалов и пассажирских обустройств и т.д. В рамках третьего этапа реформирования пассажирского бизнеса ОАО «РЖД» в 2010 году было образовано ОАО «ФПК».

Несмотря на то, что в рамках холдинга «РЖД» пассажирам оказывают услуги дочерние и зависимые компании, клиенты

зачастую сталкиваются с противоречиями и несоответствием стандартов разных структурных подразделений, что мешает целостному восприятию корпоративных норм и положений. В качестве примера таких противоречий и нестыковок можно привести следующее:

1. Отсутствие единой платформы по продаже проездных документов. Продажа билетов на поезда дальнего следования осуществляется через собственное мобильное приложение и официальный сайт ОАО «РЖД», пригородные компании, как правило, продают проездные документы через кассовые окна.

2. Распределенная инфраструктура для пригородного и дальнего пассажира. Допустим, в Новокузнецке, чтобы пассажиру пригородного поезда перейти на соседний путь и продолжить поездку на поезде дальнего следования, нужно преодолеть расстояние более 500 метров, пройти через два вокзала и несколько раз подняться и спуститься по лестницам.

3. Отсутствие единой программы лояльности. Пассажиры поездов Федеральной пассажирской компании, а также некоторых составов, принадлежащих дирекции скоростных сообщений, имеют возможность накапливать баллы за приобретённые билеты. При этом такой возможности нет у пассажиров пригородных поездов, а также составов пассажирской компании на острове Сахалин.

4. Отсутствие единых информационных сервисов. Так, сервис по бронированию гостиниц и отелей, работающий на сайте ОАО «РЖД», не позволяет забронировать номер в комнатах отдыха, расположенных на вокзалах.

5. Отсутствие единых стандартов электронных документов для проездных и иных услуг, оказываемых компаниями холдинга «РЖД».

Как следствие, между пассажирской инфраструктурой холдинга и прочими участниками рынка недостаточно развиты сервисно-логистические услуги, отсутствует экономическая мотивация к интеграции пассажирской транспортной инфраструктуры. Потребитель не имеет возможности получить сквозной сервис при организации собственного путешествия, которое предполагает использование всех возможных



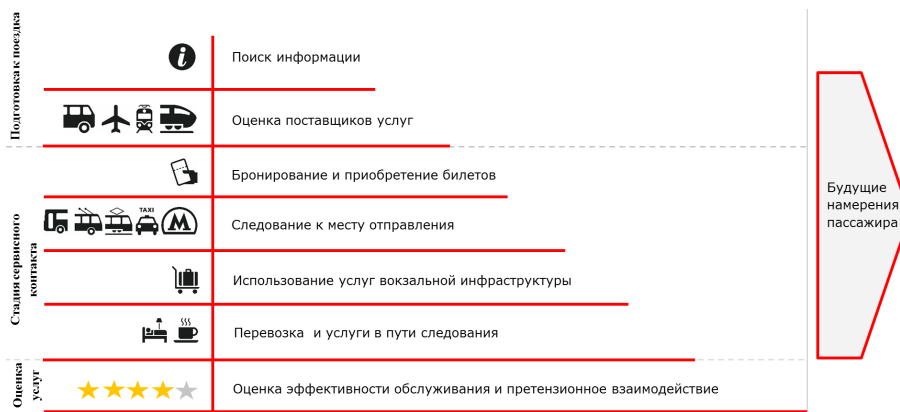


Рис. 1. Модель интегрированного подхода к менеджменту услуг.

регулярных видов транспорта, преемственную (по логике, природе своей!) пересадочную и справочно-информационную инфраструктуру.

Для выработки единых стандартов обслуживания пассажиров и определения их обязательных и обязывающих составляющих следует перейти от представления транспортной услуги как перевозки к услуге, которая включает все действия, которые должен совершить человек от этапа осознания необходимости поездки и выбора вида транспорта до прибытия не только на станцию рельсового маршрута, но и до места назначения.

Подобная схема транспортного бизнес-процесса представляется как экономическое пространство сетевого взаимодействия компаний и предопределяет включение в интегрированную модель пассажирской транспортной услуги различные организации: перевозчиков, непосредственно осуществляющих транспортное обслуживание, предприятия инфраструктуры и сервисного сопровождения потребителя – интернет-сайты, поисковые системы, туристические агентства, агентства по продаже проездных документов, доставке пассажиров к месту отправления, упаковке и транспортировке багажа и т.д.

Один из способов стандартизации цепочки транспортной услуги и ее условной ценности заключается в составлении последовательного описания всех этапов, которые потребители проходят при получении той или иной заданной услуги. Эти этапы визуально отображаются в виде блок-схемы (рис. 1). Такой подход извест-

тен как модель интегрированного подхода к менеджменту услуг – 8Ps [3, с. 34].

Каждый этап цепи создания потребительской ценности необходимо определить как стандарт, который должен стать целевым ориентиром для железнодорожных пассажирских перевозчиков и включать технологические и нормативные требования к интегрированной системе поиска, сбора платы за проезд, транспортно-пересадочной, справочно-информационной, претензионной инфраструктуре и всем сопутствующим процессам, а также включать оценку удовлетворенности пассажиров.

Сетевая кооперация компаний – участников цепи создания стоимости транспортной услуги актуализирует потребности в универсализации личных бизнес-процессов и формировании новых открытых сетевых правил. Как минимум, интегрированная система дистрибуции должна обладать набором следующих характеристик: предлагать данные о наличии мест всем заинтересованным сторонам по указанию перевозчика (населению, агентам, иным перевозчикам); все операции проводить в режиме реального времени; бронирование мест осуществляется на основе условий, выставляемых перевозчиком; постоянно действует сервер персонализированного учета пассажиров и юридически значимый электронный документооборот с участниками перевозочного процесса; система обязана иметь межплатформенный, открытый и расширяемый протокол обмена информацией между всеми участниками рынка транспортных и иных услуг [4, с. 79].

В такой сетевой кооперации самостоятельное значение приобретает использова-

ние общих технологических стандартов и регламентов, и следовательно, неизбежно формирование общей операционной платформы, которая позволяет консолидировать активы, получать эффект масштаба, обеспечивать качество сервисов при конкурентных издержках.

*Второе направление: операционная платформа участников транспортного бизнеса цепи формирования добавленной стоимости.*

На современном этапе развития общества подобные интеграционные возможности открываются при использовании сетевых информационных технологий, а также таких факторов, как всеобщая мобилизация населения и интернет. Люди все больше хотят иметь возможность облегчить свою жизнь с помощью мобильных приложений и электронных технологий. Они обеспечивают упрощение коммуникативных связей и поиск нужных решений. Мобильные сервисы, облегчающие процессы бронирования и приобретения проездных документов, являются в этом случае минимальным требованием для сохранения конкурентоспособности перевозчиков в XXI веке.

Использование общих технологических стандартов и регламентов, открывая дополнительные возможности в построении новых комбинаций услуг, в то же время накладывает и свои требования и ограничения — предполагает на каждом этапе создания добавленной стоимости необходимость согласования интересов между участниками сетевой кооперации. Роль подобного согласования обеспечивают компании-интеграторы, представляющие интернет-порталы, системы поиска информации, глобальные системы дистрибуции (GDS и EDS), интеграторы такси и т.д.

С точки зрения человека, который становится пользователем интегрированной системы, помимо упрощения операционных издержек появляется возможность индивидуального транспортного решения и выбора сервисных услуг.

В основе работы железнодорожного транспорта, как известно, лежат технологии организации массовых перевозок, в научной теории объединенные понятием «стандартизации при больших объемах производства». Потребителю предлагается ограниченный набор базовых решений, они опирают-

ся на систему взаимодополняемости сервисов: по типам используемого подвижного состава, включению или отсутствию питания, постельных принадлежностей и т.д. Стандарт современных технологических и сервисных решений, используемых при организации перевозочного процесса (типа Wi-Fi, систем кондиционирования воздуха, экологически чистых туалетных комплексов), в данном варианте присутствуют в форме ограниченного пакета типовых продуктов, которые или выделяются в стоимости для потребителя, или «растворяются» в общем предложении.

Мировая тенденция, которую породили глобальная организация систем передачи информации (Интернет) и повсеместное использование мобильных технологий, формируют новый подход к организации производства — массовая персонализация услуг при большом объеме производства. Как предсказывал Питер Друкер: «Бремя многообразия удаляется из процесса производства и переносится на процесс сборки» [5, с. 92]. При таком подходе потребитель получает широкие возможности самостоятельно формировать собственное уникальное сервисно-логистическое решение требуемого качества.

*Третье направление: формирование оптимальной маршрутной сети на основе региональной и международной кооперации бизнеса и комплементарности услуг.*

Перед пассажирским железнодорожным транспортом дальнего следования в условиях снижения государственной поддержки, невосполняемого выбытия парка пассажирских вагонов [6, с. 52] стоит задача построения оптимальной маршрутной сети, которая должна обеспечивать транспортное единство территории Российской Федерации и одновременно потребности регионов в ускоренном росте мобильности как факторе повышения качества жизни населения и инвестиционной привлекательности зон стабильной транспортной доступности.

Инструментом, который может способствовать определению наиболее сбалансированной модели транспортного обслуживания региона, финансово устойчивой для пассажирского комплекса в долгосрочном периоде, является формирование транслогистической пассажирской платформы на территории Сибирского федерального



округа. Сибирская пассажирская транслогистическая платформа — это экономическое пространство сетевого взаимодействия компаний, направленное на обеспечение мобильности людей, проживающих в Новосибирской агломерации и сопряженных регионах России.

В процессе формирования маршрута потребителя транспорт обычно выступает как средство достижения цели: место отдыха, командировка, оздоровление и т.д. Используя данную смысловую парадигму, можно создать условия, при которых вагонная составляющая будет постепенно минимизироваться за счёт финансирования сопутствующими услугами, рекламными, оздоровительными и т.д. как в течение путешествия, так и гостиницами и другими средствами размещения.

В современной действительности подобные идеи используются ведущими транспортными компаниями для повышения собственной эффективности. Крупнейший немецкий железнодорожный перевозчик — компания AG DB в качестве партнеров активно привлекает гостиницы, базы отдыха, музеи, театры и т.д., которые на основе комплементарности услуг обеспечивают повышение конкурентоспособности и эффективности их общего взаимодействия.

Сибирская транслогистическая платформа позволит перевозчикам в большей мере следовать потребностям людей при организации транспортного обслуживания. На основе общих стандартов и информационных технологий расширять экономическое пространство и сетевое взаимодействие субъектов бизнеса, предлагать новые продукты и возможности. От появления платформы выиграют все: население получит рост качества жизни в условиях Сибири, участники сетевого взаимодействия дополнительный доход, а также снижение совокупных издержек и повышение конкурентоспособности, сибирские регионы — рост внутреннего регионального продукта, налоговых поступлений и повышение инвестиционной привлекательности. В данном смысле пассажирская транслогистическая

платформа выступает и как инструмент консолидации интересов региональных экономик, их участия в национальном и международном разделении труда.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Создать Сибирскую пассажирскую транслогистическую платформу как инструмент сетевой кооперации субъектов транспортного бизнеса с целью повышения мобильности населения и инвестиционной привлекательности Сибири.

2. Рассмотреть Западную Сибирь как полигон отработки механизмов по устойчивому развитию пассажирского комплекса на основе комбинированных перевозок, предоставления пассажиру разнообразных, но комплексных, преемственных транспортно-логистических услуг.

3. Сформировать единые стандарты (цепочки создания стоимости) качества обслуживания пассажиров.

4. Поддержать развитие информационных технологий по обеспечению мобильности населения Западной и Восточной Сибири.

5. Организовать реинжиниринг бизнес-процессов на единой логистической платформе для повышения мобильности населения Сибири на основе кооперации регулярных видов транспорта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Транс-Евразийская логистическая платформа: практика, продукты, рынки / О. Н. Дунаев, В. А. Демин, Д. В. Ежов, Т. В. Кулакова, Д. В. Нестерова. — М., 2016. — 64 с.

2. Концепция структурной реформы федерального железнодорожного транспорта. Утверждена постановлением правительства Российской Федерации от 15 мая 1998 г. № 448.

3. Лавлок К. Маркетинг услуг: персонал, технология, стратегия. — 4-е изд.: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2005. — 1008 с.

4. Гуц А. В., Владимирова Т. А. Сетевая кооперация пассажирских перевозчиков новосибирской агломерации на основе современных информационных технологий // Сибирская Финансовая школа. — 2016. — № 2. — С. 79.

5. Марш П. Новая промышленная революция. Потребители, глобализация и конец массового производства: Пер. с англ. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2015. — 420 с.

6. Мусловец А. А. Новые подходы к обеспечению финансовой устойчивости // Экономика железных дорог. — 2014. — № 8. — С. 52. ●

Координаты автора: **Гуц А. В.** — gutsav-zsib@fpc.ru.

Статья поступила в редакцию 27.09.2016, принята к публикации 15.12.2016.



## SIBERIAN TRANSPORT & LOGISTIC PLATFORM: A TOOL TO ATTRACT INVESTMENT

*Guts, Aleksey V., West Siberian Branch of JSC Federal Passenger Company, Novosibirsk, Russia.*

### ABSTRACT

The problem of labor and social mobility of people in conditions of economic uncertainty and search for strategies for economic growth is becoming increasingly important. And in the language of the transport worker, in this case, we should talk about the points of «attraction of passenger flow». The article deals with the issues of expanding and strengthening communication links between people by improving

the service and providing customers with combined transport and logistics services. The organization of a regional trans-logistic (further on understood by the authors as integration of transportation and logistics) platform – the network economic space of interaction and cooperation of transport companies on the basis of an integrated approach to servicing the population and modern information technologies – is proposed as a tool for solving such a complex task.

*Keywords:* mobility, transport and logistics services, value chains, technological integration, integrated approach model, network cooperation, trans-logistic platform.

**Background.** *The task of transforming the mobility of people into sustainable economic growth in the Russian regions rests on a non-trivial process of formation of a seamless network space between different regular modes of transport and providing communications of people's centers of accommodation with recreational, tourist, scientific, cultural and leisure services (points of passenger flow attraction). Representation of passenger transport services in integrated transport schemes of the regions of the Russian Federation as a component in chains of formation of added value and its optimization through the redistribution of part of the cost for related, complementary services, as well as services that have a higher value added for the consumer in the chain of general (single) offer.*

*In this process, an important role is played by logistics – in modern conditions, not just a tool for finding the optimal solution to a transport problem, but technology for managing value chains. That is, the task that it performs can be presented as a key one. Logistics, managing the network interaction of participants in the chain of formation of consumer value, involving new resources, offering new products, covering new markets, itself becomes an effective tool for stimulating production and consumption [1, p. 5].*

*Within the framework of the proposed complex task, it is necessary to identify the following areas:*

- 1. Formation of a single or general standard of passenger service quality.*
- 2. Technological integration of transport business participants and participants of the value added chain.*
- 3. Formation of an optimal route network on the basis of regional and international business cooperation and complementarity of services.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider Siberian trans-logistic platform as an investment appeal tool.*

**Methods.** *The authors use general scientific methods, comparative analysis, economic assessment.*

### Results.

*The first direction: formation of a unified or general standard of quality of passenger service.*

*In accordance with the structural reform of the federal railway transport approved by the government decree of May 15, 1998, the target function of reorganization of the passenger economy was defined as creation of conditions for demonopolization of certain areas of railway transport activity, development of market competition and reduction of costs financed from the tariff for transportation, by eliminating cross-*

*subsidization of various types of transportation, as well as introducing budgetary financing of costs for satisfaction of social needs [2]. Transformation has affected all the divisions of JSC Russian Railways, connected with the organization of the process of rendering passenger transportation services to the population: suburban passenger railway companies, railway station and passenger facilities directorates, etc. have been formed. In the third stage of reforming the passenger business of JSC Russian Railways in 2010, JSC Federal Passenger Company was established.*

*Despite the fact that within the framework of the Russian Railways holding affiliated and dependent companies render services for passengers, clients often face contradictions and inconsistencies among the standards of various structural divisions, which impedes the overall perception of corporate norms and regulations. As an example of such contradictions and inconsistencies, the following can be cited.*

*1. The lack of a single platform for the sale of travel documents. Tickets for long-distance trains are sold through its own mobile application and the official website of JSC Russian Railways, suburban companies, as a rule, sell travel documents through cash windows.*

*2. Distributed infrastructure for suburban and long-distance passengers. Let's say that in Novokuznetsk, in order for the suburban train's passenger to come to the next track and continue the journey by long-distance train, he needs to cover a distance of more than 500 meters, go through two train stations and go up and down the stairs several times.*

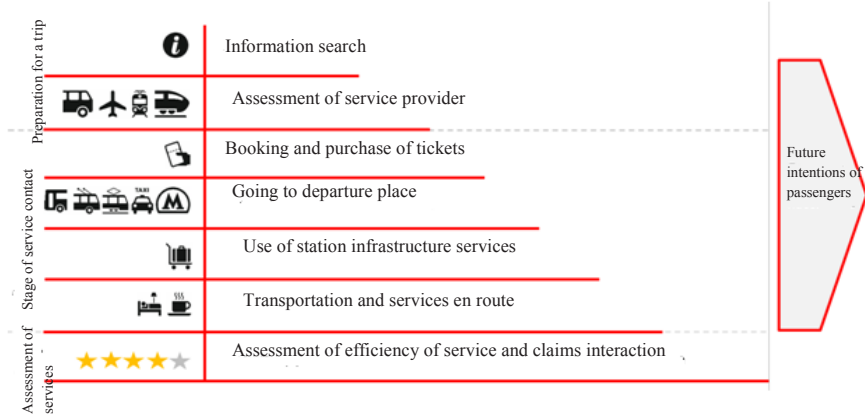
*3. Lack of a unified loyalty program. Passengers of trains of Federal Passenger Company, as well as some trains belonging to Directorate of High-Speed Traffic, have the opportunity to accumulate points for purchased tickets. At the same time, there is no such possibility for the passengers of suburban trains, as well as for the passenger of the passenger company on the island of Sakhalin.*

*4. Lack of unified information services. So, the service for booking hotels, working on the website of JSC Russian Railways, does not allow to book a room in recreation rooms located at railway stations.*

*5. Lack of unified standards for electronic documents for travel and other services provided by the companies of Russian Railways holding company.*

*As a consequence, between the passenger infrastructure of the holding company and other market participants, service-logistic services are insufficiently developed, and there is no economic motivation to*





**Pic. 1. Model of an integrated approach to service management.**

integrate the passenger transport infrastructure. The consumer does not have an opportunity to receive end-to-end service in organizing his own trip, which involves the use of all possible regular modes of transport, a successive (logically, natural!) interchange and reference information infrastructure.

In order to develop unified standards for servicing passengers and determining their mandatory and obligatory components, it is necessary to move from the presentation of the transport service as transportation to a service that includes all the actions a person must take from the stage of comprehending the need for a trip and choosing a mode of transport before arriving not only at the railway track station, but also at the destination place.

Such a scheme of the transport business process is represented as an economic space of network interaction between companies and predetermines the inclusion of various organizations in the integrated model of passenger transport services: carriers directly carrying out transport services, enterprises of infrastructure and customer service support – Internet sites, search systems, travel agencies, agencies on the sale of travel documents, delivery of passengers to the place of departure, packaging and transportation of luggage, etc.

One way to standardize the chain of transport services and its conditional value is to compile a consistent description of all the stages that consumers go through when they receive a given service. These stages are visually displayed in the form of a block diagram (Pic. 1). This approach is known as a model of an integrated approach to service management – 8Ps [3, p. 34].

Each stage of the chain of consumer value creation should be defined as a standard that should become a target for railway passenger carriers and include technological and regulatory requirements for an integrated search system, collection of fare, transport and transfer, reference and information infrastructure, claim infrastructure and all related processes, and also include an assessment of passenger satisfaction.

The network cooperation of the companies participating in the chain of cost creation of the transport service actualizes the requirements for universalization of personal business processes and formation of new open network rules. At a minimum, an integrated distribution system should have a set of the following characteristics: to offer data on the availability of seats to all interested parties at the direction of the carrier (population, agents, other carriers); all operations are carried out in real time;

reservation of seats is carried out on the basis of conditions set by the carrier; the server of the personified account of passengers and legally significant electronic document circulation with participants of the transportation process is constantly operating; the system must have a cross-platform, open and extensible protocol of information exchange between all participants of the transport and other services market [4, p. 79].

In such network cooperation, the use of common technological standards and regulations acquires an independent value, and consequently, the formation of a common operating platform is inevitable, which allows to consolidate assets, gain economies of scale, and ensure the quality of services at competitive costs.

**The second direction: operating platform of participants in the transport business of the value-added chain.**

At the present stage of development of society, such integration opportunities open up with the use of network information technologies, as well as such factors as general mobilization of the population and the Internet. People increasingly want to be able to make their lives easier with mobile applications and electronic technologies. They ensure the simplification of communication links and the search for necessary solutions. Mobile services that facilitate the process of booking and the purchase of travel documents are, in this case, the minimum requirement for maintaining the competitiveness of carriers in the 21<sup>st</sup> century.

The use of common technological standards and regulations, opening up additional opportunities in building new combinations of services, at the same time imposes its own requirements and constraints – requires at each stage of creating added value the need for harmonization of interests among the participants in network cooperation. The role of such an agreement is provided by integrating companies that represent Internet portals, information retrieval systems, global distribution systems (GDS and EDS), taxi integrators, etc.

From the point of view of a person who becomes a user of the integrated system, in addition to simplifying the operating costs, the possibility of an individual transport solution and the choice of service services appears.

The work of railway transport, as is known, is based on the technologies of organization of mass transportation, in scientific theory united by the notion of «standardization with large volumes of production». The consumer is offered a limited set of basic solutions,

they rely on the system of complementarities of services: by types of rolling stock used, inclusion or lack of food, bedding, etc. The standard of modern technological and service solutions used in the organization of the transportation process (such as Wi-Fi, air conditioning systems, environmentally friendly toilet complexes), in this version is present in the form of a limited package of typical products that either stand out in value for the consumer, or «dissolve» in General proposal.

The world trend created by the global organization of information transmission systems (the Internet) and the widespread use of mobile technologies, form a new approach to the organization of production – mass personalization of services with a large volume of production. As Peter Drucker predicted: «The burden of diversity is removed from the production process and transferred to the assembly process» [5, p. 92]. With this approach, the consumer has ample opportunities to independently create his own unique service-logistic solution of the required quality.

### **The third direction: formation of an optimal route network based on regional and international business cooperation and complementarity of services.**

Passenger long distance railway transport, in the context of a decline in state support, the non-renewal of the fleet of passenger cars [6, p. 52], has a task to build an optimal route network that must ensure the transport unity of the territory of the Russian Federation and, at the same time, the regions' needs for an accelerated growth in mobility as a factor of increase quality of life of the population and investment attractiveness of zones of stable transport accessibility.

A tool that can help determine the most balanced model of transport services in the region, financially sustainable for the passenger complex in the long term, is formation of a trans-logical passenger platform on the territory of the Siberian Federal District. Siberian passenger trans-logistic platform is an economic space of network interaction of companies, aimed at providing mobility of people living in the Novosibirsk agglomeration and associated regions of Russia.

In the process of forming the consumer's route, transport usually acts as a means of achieving the goal: a place of rest, business trip, health improvement, etc. Using this conceptual paradigm, it is possible to create conditions under which the car component will be gradually minimized by financing related services, advertising, recreational, etc., both during the trip, and by hotels and other accommodation facilities.

In modern reality, such ideas are used by leading transport companies to increase their own efficiency. The largest German rail carrier, AG DB, actively attracts hotels, recreation centers, museums, theaters, etc., which, on the basis of complementary services, increase the competitiveness and effectiveness of their overall interaction.

The Siberian trans-logistic platform will allow carriers to more closely follow the needs of people in the organization of transport services. Based on common standards and information technologies, expand economic space and network interaction between business entities, offer new products and opportunities.

Everyone will benefit from the emergence of the platform: the population will receive the growth of the quality of life in Siberia, the participants in the network interaction additional income, as well as the reduction of aggregate costs and increase of competitiveness, the Siberian regions – the growth of the domestic regional product, tax revenues and investment attractiveness. In this sense, the passenger trans-logistical platform also acts as an instrument for consolidating the interests of regional economies, their participation in the national and international division of labor.

### **Suggestions:**

1. To create the Siberian passenger trans-logistic platform as an instrument of network cooperation of transport business entities with the aim of increasing the population's mobility and the investment attractiveness of Siberia.

2. To consider Western Siberia as a testing ground for developing mechanisms for the sustainable development of the passenger complex on the basis of combined transport, providing the passenger with various, but complex, successive transport and logistics services.

3. To create unified standards (value chains) for the quality of passenger service.

4. To support the development of information technology to ensure the mobility of the population of Western and Eastern Siberia.

5. To organize reengineering of business processes on a single logistics platform to increase the mobility of the population of Siberia based on cooperation of regular modes of transport.

### **REFERENCES**

1. Trans-Eurasian logistics platform: practice, products, markets [Trans-Evrazijskaja logisticheskaja platforma: praktika, produkty, rynki]. O. D. Dunaev, V. A. Demin, D. V. Ezhov, T. B. Kulakova, D. V. Nesterova. Moscow, 2016, 64 p.
2. The concept of structural reform of the federal railway transport. Approved by Resolution of the Government of the Russian Federation of May 15, 1998 No. 448 [Konceptija strukturnoj reformy federal'nogo zheleznodorozhnogo transporta. Uverzhdena postanovleniem pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 15 maja 1998 g. № 448].
3. Lovelock, C. Marketing of services: personnel, technology, strategy [Marketing uslug: personal, tehnologija, strategija. Transl. from English]. 4<sup>th</sup> ed. Moscow, Williams publ., 2005, 1008 p.
4. Guts, A. V., Vladimirova, T. A. Network cooperation of passenger carriers of Novosibirsk agglomeration on the basis of modern information technologies [Setevaja kooperacija passazhirskih perevozchikov novosibirskoj aglomeracii na osnove sovremennyh informacionnyh tehnologij]. Sibirskaia Finansovaja shkola, 2016, Iss. 2, p. 79.
5. Marsh, P. New Industrial Revolution. Consumers, globalization and the end of mass production [Novaja promyshlennaja revoljucija. Potrebiteli, globalizacija i konec massovogo proizvodstva: Transl. from English.]. Moscow, Izdvo Instituta Gaidara, 2015, 420 p.
6. Muslovets, A. A. New Approaches to Ensuring Financial Sustainability [Novye podhody k obespecheniju finansovoj ustojchivosti]. Ekonomika zheleznyh dorog, 2014, Iss. 8, p. 52. ●

Information about the author:

**Guts, Aleksey V.** – deputy head for economics and finance of West Siberian Branch of JSC Federal Passenger Company, Novosibirsk, Russia, gutsav-zsib@fpc.ru.

Article received 27.09.2016, accepted 15.12.2016.





# Эффективность механизмов ГЧП для транспортной инфраструктуры



Борис ВОЛКОВ  
Boris A. VOLKOV

Алексей ДОБРИН  
Aleksey Yu. DOBRIN



*Волков Борис Андреевич – доктор экономических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

*Добрин Алексей Юрьевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика строительного бизнеса и управление собственностью» (МИИТ), Москва, Россия.*

## Efficiency of PPP Mechanisms for Development of Transport Infrastructure

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 133)

**Сферы применения государственно-частного партнерства продолжают расширяться. Концессионные договора регулярно используются и на транспорте, особенно в строительстве дорог.**

**Однако любой такой вариант требует всесторонних расчётов, комплексного подхода, сведения риска для партнеров до минимума, ибо только эффективный проект может быть привлекательным и выгодным, когда речь идет о долгосрочных инвестиционных вложениях. Авторы статьи поэтапно раскрывают механизмы взаимодействия сторон в реализации инфраструктурных проектов, подробно показывают математический аппарат, с помощью которого даётся оценка бюджетной эффективности инвестиционных программ, распределения нагрузки между государством и частными партнерами на протяжении всех этапов жизненного цикла проектов в рамках ГЧП.**

*Ключевые слова:* государственно-частное партнерство, концессия, экономика, транспорт, инфраструктура, жизненный цикл проекта, эффективность, инвестиционная нагрузка, транспортное строительство.

Согласно закону, ГЧП – юридически оформленное на определённый срок и основанное на объединении ресурсов, распределении рисков сотрудничество публичного партнера, с одной стороны, и частного партнера – с другой стороны, которое осуществляется на основании соглашения о ГЧП, заключенного в соответствии с федеральным законом в целях привлечения в экономику частных инвестиций, обеспечения органами государственной власти и органами местного самоуправления доступности товаров, работ, услуг и повышения их качества [1].

Механизмы государственно-частного партнерства за рубежом применяются очень широко [2]. Они нашли своё отражение во многих сферах деятельности человека: социальной (детские сады, школы, медицинские учреждения и т.д.), транспортной (автомобильные и железные дороги, водный и авиатранспорт, труботранспорт), жилищно-коммунальной [3], энергетической, аграрной, даже строительстве и эксплуатации тюрем [4].

Сферы применения государственно-частного партнерства продолжают расширяться. Модели ГЧП применяются в воен-

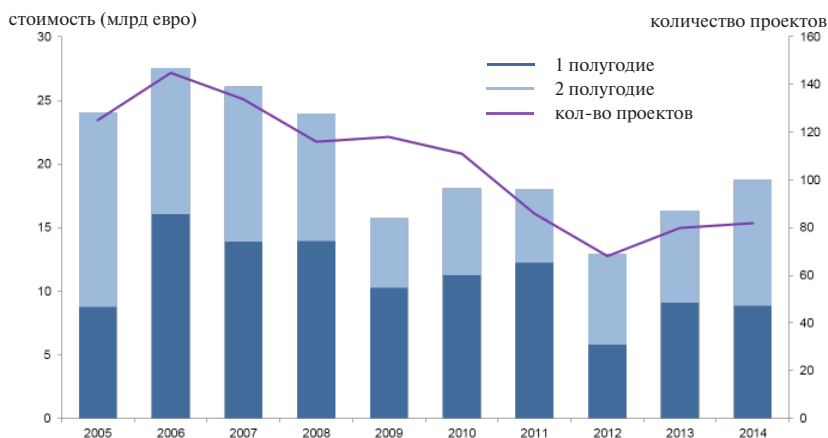


Рис. 1. Проекты ГЧП в Европе (2005–2014 гг.).

но-промышленном комплексе, освоении космоса. До недавнего времени эти сферы считались исключительной прерогативой государства. Например, в США, Германии и Великобритании внедряются схемы ГЧП, позволяющие совместить преимущества государственного планирования и частной заинтересованности в выполнении национальных проектов в области космической разведки. Национальное агентство геопространственной разведки США (NGA) заключило два контракта NextView с компаниями DigitalGlobe (сентябрь 2003 г.) и GeoEye (сентябрь 2004 г.) соответственно на 530 и 500 млн долл. для повышения качества разрешения поступающих из космоса снимков. В 2006–2007 гг. эти компании разработали и запустили спутники двойного назначения WorldView и OrbView-5 с аппаратурой для съёмки Земли с пространственным разрешением 0,45 м [5].

В сфере железных дорог механизм государственно-частного партнерства также нашел свое применение. Это подтверждается не только российским историческим опытом, но и современным мировым. Так, компания Siemens на условиях концессии реализовала проект железной дороги в Мексике протяженностью 150 км, соединяющей восемь городов. Срок соглашения составил 30 лет, а общий объем инвестиций – \$1,1 млрд.

Пример подобного проекта – высокоскоростная магистраль HSL Zuid в Нидерландах. Объем инвестиций составил 1,2 млрд евро и был внесен частными инвесторами (из них 90 % частными банками,

10 % промышленными компаниями, в том числе Siemens) [6].

На рис. 1 приведены объемы реализованных в ЕС ГЧП-проектов за 2005–2014 гг. Объемы представлены в денежном (за первое и второе полугодие) и количественном выражении [7].

Для России ГЧП тоже не является чем-то новым. Краткое описание этапов развития ГЧП в России представлено в таблице 1.

Инвестиционные проекты развития транспортной инфраструктуры на условиях государственно-частного партнерства должны оцениваться на основе комплексного анализа экономических, социальных, экологических показателей, охватывающих весь жизненный цикл проекта, начиная с предпроектного этапа и заканчивая сроком службы объекта. Критерии оценки участия партнеров должны учитывать интересы как государственного, так и частного уровня.

Последовательность оценки экономической выгоды участников реализации инвестиционных проектов на основе государственно-частного партнерства следующая:

- 1) Оценивается общественная эффективность инвестиционного проекта в целом. Если по показателям общественной эффективности он удовлетворяет народнохозяйственные требования, то переходят к п. 2. В противном случае анализируемый проект либо отклоняется, либо рекомендуется на доработку.

- 2) Определяются показатели бюджетной эффективности инвестиционного



## Этапы развития ГЧП в России

№ п/п	Период	Краткое описание периода
1	1717–1836 гг.	Зарождение партнерства государства и частного бизнеса в России. Строительство мельниц на берегах рек Уны и Шлины на концессионной основе.
2	1836–1917 гг.	Появление и развитие сети железных дорог. Строительство заводов. Появление телефонных сетей. Разработка и развитие законодательной базы.
3	1917–1937 гг.	Революция. В 1920 году Советом Народных Комиссаров принят декрет о концессиях РСФСР. 21 августа 1923 года постановлением Совета Народных Комиссаров СССР образован Главный Концессионный Комитет (Главконцеском). Создано более 2000 концессий.
4	1938–1991 гг.	Ликвидация Главконцескома и института ГЧП. СССР выступал в качестве концессионера в зарубежных проектах развития транспортной инфраструктуры.
5	1992–2005 гг.	После распада СССР начинается поиск форм взаимодействия государства с частным бизнесом в условиях рыночных отношений. Начинается проработка законов и механизмов ГЧП. Приватизация. Принятие ФЗ № 225 «О соглашениях о разделе продукции»
6	2005–2012 гг.	Принятие 21 июля 2005 года ФЗ № 115 «О концессионных соглашениях». Получили развитие такие механизмы, как Инвестиционный фонд, типовые концессионные соглашения, тендеры по крупным транспортным проектам. За этот этап было реализовано 23 проекта на основе ГЧП, из них два крупных транспортных: – строительство и эксплуатация многопрофильного перегрузочного комплекса «Юг-2»; – строительство моста через пойму реки Юрибей (трасса Обская–Бованенково). К концу 2012 года в России в стадии реализации находилось 83 проекта.
7	2012–2015 гг.	Принято более 9 документов федерального уровня, регулирующих государственно-частное партнерство. Рост количества ГЧП-проектов. К середине 2015 года в стадии реализации находилось 595 проектов, общей суммой 871 млрд рублей.
8	2015–2016 гг.	В начале июля 2015 года Государственной думой и Советом Федерации принят с вступлением в действие с 1 января 2016 года Федеральный закон «Об основах государственно-частного партнерства, муниципально-частного партнерства в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». На начало 2016 г. в России насчитывалось 1285 ГЧП-проектов (общей суммой свыше 1 трлн рублей), 95 в транспортной сфере.

проекта. Если они удовлетворяют концедента, то переходят к п. 3. В противном случае устанавливается лимит инвестиционных вложений концедента, при котором бюджетная эффективность будет его удовлетворять.

3) Рассчитываются показатели коммерческой эффективности для концессионеров. Если они их удовлетворяют, то приступают к заключению контрактов на

реализацию проекта. В противном случае повышается значение этой коммерческой эффективности путем уменьшения частных инвестиций, или увеличения срока концессии, или то и другое до получения приемлемой для концессионера коммерческой эффективности. После этого переходят к п. 2. В случае, когда концессионеру экономически не выгодно вкладывать свои инвестиции в проект, рассматрива-

Таблица 2

## Этапы жизненного цикла проекта

№ п/п	Характеристика этапов	Условные обозначения этапов	Основные участники
1	Предпроектный этап	$T_{пр}$	Инвесторы, заказчики, проектные организации
2	Этап проектирования	$T_{п}$	Заказчики, проектные организации
3	Строительно-монтажные работы	$T_{сmp}$	Заказчики, подрядные организации, проектные организации, предприятия стройиндустрии
4	Эксплуатация объекта по концессионному договору	$T_{к}$	Концессионер, сопутствующие предприятия
5	Период эксплуатации объекта при передаче его в собственность государству	$T_{з}$	Концедент, сопутствующие предприятия

ется целесообразность реализации проекта при полностью государственных средствах.

При концессиях следует выделять пять этапов жизненного цикла проекта. В таблице 2 приведены основные участники реализации инвестиционных проектов по этапам жизненного цикла.

Оценка бюджетной эффективности инвестиционных проектов при  $T_p \geq T_k$  может осуществляться по следующим показателям.

$$\begin{aligned} ЧДД_{\delta} = & -\sum_{t=1}^{T_c} K_t^{\delta} \cdot \eta_t + \sum_{t=1}^{T_k} B_t \cdot \eta_t + \\ & + \sum_{t=T_k}^{T_p} \mathcal{E}_t \cdot \eta_t; \eta_t = \frac{1}{(1+E)^t}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$ИД = \frac{\sum_{t=1}^{T_k} B_t \cdot \eta_t + \sum_{t=T_k}^{T_p} \mathcal{E}_t \cdot \eta_t}{\sum_{t=1}^{T_c} K_t^{\delta} \cdot \eta_t}. \quad (2)$$

Внутренняя норма доходности ( $E_p$ ) определяется из равенства:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{T_k} \frac{B_t}{(1+E_p)^t} + \sum_{t=T_k}^{T_p} \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E_p)^t} = \\ = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{K_t^{\delta}}{(1+E_p)^t}. \end{aligned} \quad (3)$$

Срок окупаемости ( $T_o$ ) инвестиционных вложений концедентом находится из уравнения:

$$\sum_{t=1}^{T_o} B_t \cdot \eta_t + \sum_{t=T_k}^{T_o} \mathcal{E}_t \cdot \eta_t = \sum_{t=1}^{T_o} K_t^{\delta} \cdot \eta_t, \quad (4)$$

где  $ЧДД_{\delta}$  – бюджетный чистый дисконтированный доход;

ИД – индекс доходности;

$E_p$  – внутренняя норма доходности (ВНД);

$T_o$  – срок окупаемости инвестиционных вложений;

$K_t^{\delta}$  – инвестиционные затраты концедента в t-й год;

$B_t$  – прирост в бюджет в t-й год, обусловленный реализацией инвестиционного проекта;

$\mathcal{E}_t$  – экономический эффект концедента в t-й год;

$\eta_t$  – коэффициент приведения денежных потоков будущих периодов (коэффициент дисконтирования);

$E$  – норма дисконтирования;

$T_c$  – год начала эксплуатации объекта;

$T_k$  – год окончания концессионного договора;

$T_p$  – горизонт расчёта;

t – период (этап расчёта).

При определении коммерческой эффективности концессионера:

$$\begin{aligned} ЧДД_{\kappa} = & -\sum_{t=1}^{T_c} \frac{K_t^{кон}}{(1+E)^t} + \\ & + \sum_{t=T_c}^{T_k} \frac{\mathcal{E}_t^{кон}}{(1+E)^t} - \frac{З_{\kappa}}{(1+E)^{T_k}}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$ИД = \frac{\sum_{t=T_c}^{T_k} \mathcal{E}_t^{кон} \cdot \eta_t}{\sum_{t=1}^{T_c} K_t^{кон} \cdot \eta_t + \frac{З_{\kappa}}{(1+E)^{T_k}}}. \quad (6)$$

Внутренняя норма доходности ( $E_p$ ) концессионера находится из равенства:

$$\sum_{t=T_c}^{T_k} \frac{\mathcal{E}_t^{кон}}{(1+E_p)^t} = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{K_t^{кон}}{(1+E_p)^t} + \frac{З_{\kappa}}{(1+E_p)^{T_k}}. \quad (7)$$

Срок окупаемости ( $T_o$ ) концессионера определяется из уравнений:

$$\begin{aligned} \text{при } T_o < T_k \\ \sum_{t=T_c}^{T_o} \frac{\mathcal{E}_t^{кон}}{(1+E_{\kappa})^t} = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{K_t^{кон}}{(1+E_{\kappa})^t}, \end{aligned} \quad (8)$$

при  $T_o = T_k$

$$\sum_{t=T_c}^{T_o} \frac{\mathcal{E}_t^{кон}}{(1+E_{\kappa})^t} = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{K_t^{кон}}{(1+E_{\kappa})^t} + \frac{З_{\kappa}}{(1+E_p)^{T_k}}, \quad (9)$$

где  $ЧДД_{\kappa}$  – коммерческий чистый дисконтированный доход;

$K_t^{кон}$  – инвестиционные вложения концессионера в t-й год;

$\mathcal{E}_t^{кон}$  – экономический эффект концессионера в t-й год;

$З_{\kappa}$  – затраты при сдаче объекта концессионером государству в  $T_k$  год.

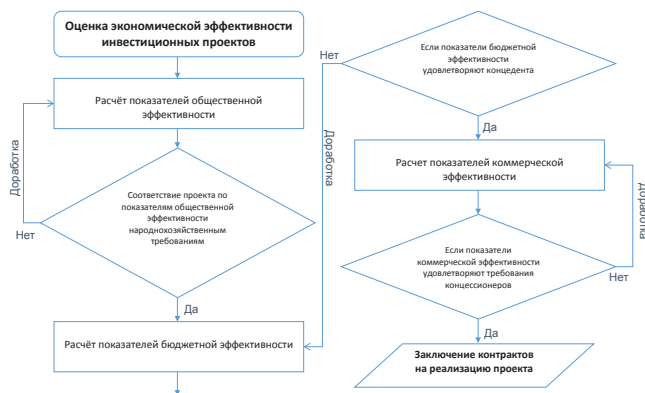
Отбор инвестиционных проектов, реализуемых на принципах ГЧП, рекомендуется осуществлять в соответствии со следующей последовательностью:

1. На первом этапе отбрасываются проекты, не обладающие требуемыми значениями показателей общественной эффективности  $ЧДД_o \leq 0$ ,  $ВНД_o < E_n$ ,  $T_o > T_o^{норм}$ .

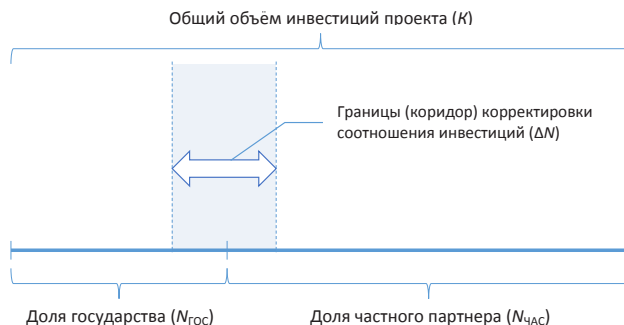
2. Анализируются проекты по показателю  $ЧДД_{\delta}$ , отбрасываются проекты,  $ЧДД_{\delta}$  которых  $\leq 0$ .



**Рис. 2. Алгоритм отбора проектов развития транспортной инфраструктуры, реализуемых на основах ГЧП.**



**Рис. 3. Соотношение долей государства и частного партнера в проектах транспортного строительства.**



3. Анализируются проекты по показателю  $VND_6$ , отбрасываются проекты,  $VND_6$  которых  $\leq E_n$ .

4. Анализируются проекты по показателю  $T_0^6$ , отбрасываются проекты с данным показателем, превышающим установленный норматив.

5. Оставшиеся проекты ранжируются в порядке возрастания  $T_0^6$ .

6. При равных значениях срока окупаемости выбираются проекты, обладающие максимальным значением  $ЧДД_6$ , минимальными инвестиционными затратами и другими лучшими социальными и экологическими показателями.

7. К реализации принимаются проекты, вписывающиеся в лимит государственных ресурсов.

Все отобранные проекты должны обеспечивать реальную коммерческую эффективность частного партнера. Для этого нужен также анализ расчёта эффективности частных инвестиций.

Схематично алгоритм отбора проектов развития транспортной инфраструктуры, реализуемых на основах ГЧП, представлен на рис. 2.

Доработка проектов, указанная на блок-схеме, осуществляется путем улучшения

показателей экономической эффективности инвестиций: в первую очередь за счёт изменения распределения инвестиционной нагрузки и изменения срока концессии.

Распределение инвестиций между государством и частным партнером схематично представлено на рис. 3.

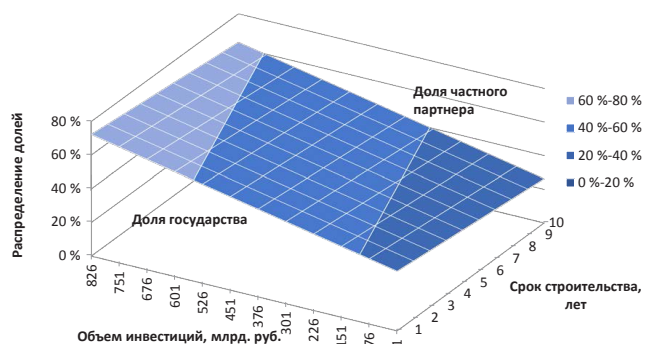
Привлекательными для частного партнера становятся проекты со сроками окупаемости до 5–7 лет, в отдельных случаях – 10 лет. В то же время для государства сроки окупаемости по проектам, имеющим высокую социальную значимость, могут составлять и более 30 лет.

Для определения оптимального соотношения инвестиций в ГЧП была использована выборка проектов, представленных на портале центра развития государственно-частного партнерства [8].

Далее проведен корреляционно-регрессионный анализ для выявления зависимости, в которой функцией является соотношение долей инвестиций государства и частного бизнеса, а аргументами – планируемый срок реализации и объём инвестиций [9, 10].

Соотношение долей государства и частного бизнеса в ГЧП-проектах развития транспортной инфраструктуры примет вид:





**Рис. 4. Распределение инвестиционной нагрузки между государством и частным партнером в проектах развития транспортной инфраструктуры.**

**Таблица 3**

**Распределение инвестиционной нагрузки между государством и частным партнером в проектах развития транспортной инфраструктуры (указана доля государства)**

Инвестиции, млрд руб.	Срок строительства, лет									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35,5 %	34,5 %	33,4 %	32,4 %	31,4 %	30,4 %	29,3 %	28,3 %	27,3 %	26,2 %
76	38,9 %	37,8 %	36,8 %	35,8 %	34,7 %	33,7 %	32,7 %	31,6 %	30,6 %	29,6 %
151	42,2 %	41,2 %	40,1 %	39,1 %	38,1 %	37,1 %	36,0 %	35,0 %	34,0 %	32,9 %
226	45,5 %	44,5 %	43,5 %	42,5 %	41,4 %	40,4 %	39,4 %	38,3 %	37,3 %	36,3 %
301	48,9 %	47,9 %	46,8 %	45,8 %	44,8 %	43,7 %	42,7 %	41,7 %	40,7 %	39,6 %
376	52,2 %	51,2 %	50,2 %	49,2 %	48,1 %	47,1 %	46,1 %	45,0 %	44,0 %	43,0 %
451	55,6 %	54,6 %	53,5 %	52,5 %	51,5 %	50,4 %	49,4 %	48,4 %	47,3 %	46,3 %
526	58,9 %	57,9 %	56,9 %	55,8 %	54,8 %	53,8 %	52,8 %	51,7 %	50,7 %	49,7 %
601	62,3 %	61,3 %	60,2 %	59,2 %	58,2 %	57,1 %	56,1 %	55,1 %	54,0 %	53,0 %
676	65,6 %	64,6 %	63,6 %	62,5 %	61,5 %	60,5 %	59,4 %	58,4 %	57,4 %	56,4 %
751	69,0 %	67,9 %	66,9 %	65,9 %	64,9 %	63,8 %	62,8 %	61,8 %	60,7 %	59,7 %
826	72,3 %	71,3 %	70,3 %	69,2 %	68,2 %	67,2 %	66,1 %	65,1 %	64,1 %	63,1 %

$$\frac{N_{\text{ГОС}}}{N_{\text{ЧАС}}} = \frac{0,3649 + 0,4462 \cdot 10^{-12} \cdot K - 0,0103 \cdot T_{\text{СТР}}}{0,6351 - 0,4462 \cdot 10^{-12} \cdot K + 0,0103 \cdot T_{\text{СТР}}}, \quad (10)$$

где  $N_{\text{ГОС}}$  – доля инвестиций государства;  
 $N_{\text{ЧАС}}$  – доля инвестиций частного партнера;

$K$  – объём инвестиций, руб.;

$T_{\text{СТР}}$  – срок строительства объекта, лет.

Как видно из зависимости 10, инвестиционная нагрузка на государство ( $N_{\text{ГОС}}$ ) растет с увеличением стоимости проекта ( $K$ ) и уменьшается с ростом продолжительности сооружения объекта ( $T_{\text{СТР}}$ ). В то же время инвестиционная нагрузка на частный бизнес ( $N_{\text{ЧАС}}$ ) растет с увеличением продолжительности сооружения объекта ( $T_{\text{СТР}}$ ) и уменьшается с ростом стоимости проекта ( $K$ ).

В этом есть логика: чем выше стоимость проекта, тем большую нагрузку должно взять на себя государство; чем быстрее будет проект реализован, тем меньшую инвестиционную нагрузку несет частный партнер. Наглядно распределение долей представлено на рис. 4. Всё, что ниже плос-

кости – доля государства, что выше – частного партнера.

В таблице 3 данные представлены в табличном виде.

Риски инвестиций на транспорте могут быть классифицированы согласно таблицы 4. Матрица оценки рисков может быть построена для инвестиционных проектов в соответствии и с выделением критических, крупных, средних, малых и незначительных рисков (таблица 5).

Риски, возникающие на различных этапах жизненного цикла проектов, реализуемых на основе государственно-частного партнерства, могут быть как у государства, так и у частных инвесторов. В таблице 6 охарактеризованы те риски, появление которых возможно на предпроектном этапе, этапе разработки проектной документации, при выполнении строительно-монтажных работ, эксплуатации введенных объектов в действие.

Проявление рисков и неопределенности информации обуславливает тот или



**Виды рисков инвестиционных программ и проектов на транспорте**

Признак	Вид
1. Место проявления риска	1.1. Внешние 1.2. Внутренние
2. Сфера проявления	2.1. Технологические 2.2. Экономические 2.3. Экологические 2.4. Социальные
3. Природа происхождения	3.1. Природные 3.2. Риски, связанные с человеческим фактором 3.3. Политические 3.4. Законодательно-правовые 3.5. Технические
4. Характер распределения бремени риска	4.1. Односторонние 4.2. Двусторонние 4.3. Многосторонние
5. Уровень проявления	5.1. Отраслевой риск 5.2. Риск предприятия (организации)
6. Степень распространенности	6.1. Массовые 6.2. Уникальные
7. Частота ущерба	7.1. Частые 7.2. Риски средней частоты 7.3. Редкие
8. Характер возможных финансовых последствий	8.1. Риски, обуславливающие прямой ущерб 8.2. Риски с косвенным ущербом

**Таблица 5**
**Матрица оценки рисков инвестиционных проектов**

Степень воздействия риска на проект	Вероятность реализации риска (p)		
	Высокая, p = 1,0–0,7	Средняя, p = 0,6–0,4	Низкая, p < 0,4
Сильное	Критический риск	Крупный риск	Средний риск
Среднее	Крупный риск	Средний риск	Малый риск
Слабое	Средний риск	Малый риск	Незначительный риск

**Таблица 6**
**Основные риски на этапах жизненного цикла инвестиционных проектов**

Этапы жизненного цикла	Характеристика рисков	Сторона, несущая риск	Оценка рисков
Предпроектный этап и этап проектирования	1. Риски, обусловленные качеством предпроектной документации	Государство	Крупный риск
	2. Риски разработки проектной документации	Государство	Критический риск
	3. Риски выкупа земель и подготовки территории строительства	Государство	Критический риск
	4. Риски, возникающие при оформлении необходимых согласований	Государство	Средний риск
Строительно-монтажные работы	1. Риск увеличения цены строительства	Государство и частный инвестор	Критический риск
	2. Риски финансовых возможностей	Государство и частный инвестор	Крупный риск
	3. Риски поставки оборудования	Государство	Малый риск
	4. Риски, вызванные чрезвычайными обстоятельствами	Государство и частный инвестор	Средний риск
Эксплуатация объекта	1. Риск снижения доходов	Государство	Малый риск
	2. Риск роста эксплуатационных расходов	Частный инвестор	Крупный риск
	3. Риск обнаружения скрытых дефектов после ввода объекта в действие	Частный инвестор	Средний риск
	4. Чрезвычайные обстоятельства	Государство и частный инвестор	Средний риск

иной характер стохастичности оценки эффективности инвестиций.

Для повышения качества принимаемого решения целесообразно проверить устойчивость его эффективности при различных значениях исходной информации в границах возможного диапазона ее колебаний и наиболее вероятных неблагоприятных ситуациях реализации проекта.

Если решение устойчиво является наиболее экономичным в диапазоне возможных значений исходных данных и неблагоприятных ситуаций его реализации, то его можно рекомендовать для принятия. Такое следует ожидать лишь при небольших диапазонах изменения исходных значений. Но чем меньше диапазон данных, тем больше вероятность того, что в него не войдут фактические значения этих данных, а это может привести к значительному отклонению принимаемого решения от оптимального.

Незначительные диапазоны колебания исходной информации могут быть приняты лишь в годы, близкие к отчетному периоду. На более отдаленную перспективу диапазон следует увеличивать, но это приводит к снижению устойчивости эффективности принятого решения.

При задании исходных данных в вероятностно-определенной форме оценка экономической эффективности может осуществляться с помощью математического ожидания показателя эффективности.

Если можно указать численные значения вероятностей возможных значений исходных данных, то для оценки эффективности годится, например, математическое ожидание чистого дисконтированного дохода:

$$\text{ЧДД}_{\text{ож}} = \sum_{i=1}^{n_p} P_i \cdot \text{ЧДД}_i, \quad (11)$$

где  $\text{ЧДД}_{\text{ож}}$  – математическое ожидание чистого дисконтированного дохода;

$\text{ЧДД}_i$  – чистый дисконтированный доход при  $i$ -м условии реализации проекта;

$P_i$  – вероятность возникновения  $i$ -го условия  $\left( \sum_{i=1}^{n_p} P_i = 1 \right)$ ;

$n_p$  – количество вариантов возможных значений исходной информации.

В этом случае следует считать экономически наиболее эффективным вариант, имеющий максимальное значение  $\text{ЧДД}_{\text{ож}}$ .

В условиях неопределенности исходные данные характеризуются либо отрезком (для отдельного показателя), либо областью (для совокупности множества показателей) возможных значений. Тогда различают три случая:

1) численные значения вероятностей различных показателей не могут быть установлены, но вероятность совпадения фактических исходных данных с одной из границ прогноза значительна;

2) можно указать степень предпочтения изменений исходной информации по границе максимальных (минимальных) возможных значений;

3) оценка экономической эффективности инвестиций осуществляется при максимальной неопределенности исходной информации, когда нельзя отдать ни одному значению предпочтение перед другими во всем диапазоне возможных колебаний исходных данных.

В первом случае, когда вероятность совпадения исходных данных с граничными значениями значительна, оценка экономической эффективности решения может быть произведена, например, по формуле:

$$\max_j \min_i \text{ЧДД}_{ij} \left( i = \overline{1, N_q^{(j)}}; j = \overline{1, N_g} \right), \quad (12)$$

где  $\text{ЧДД}_{ij}$  –  $i$ -е значение чистого дисконтированного дохода для  $j$ -го варианта инвестиционного проекта;

$N_q^{(j)}$  – число возможных значений ЧДД для  $j$ -го варианта;

$N_g$  – число сравниваемых вариантов проекта.

Если можно указать степень предпочтения изменений исходной информации по границе максимальных возможных значений исходных данных по сравнению с минимально возможными (второй случай), то наиболее эффективный вариант находится по обобщенному максимуму чистого дисконтированного дохода:

$$\max_j \left[ \alpha_0 \max_i \text{ЧДД}_{ij} + (1 - \alpha_0) \min_i \text{ЧДД}_{ij} \right], \quad (13)$$

где  $\alpha_0$  – показатель оптимизма, отражающий вероятность такого изменения исходной информации  $j$ -го варианта, которое соответствует максимальному значению



ЧДД. Показатель находится в пределах (0; 1).

В случае, когда трудно установить степень предпочтения совпадения фактических значений показателей с одной из границ диапазона их возможного колебания, показатель  $\alpha_o$  приближенно может быть равен 0,3–0,4.

При максимальной неопределенности исходной информации, когда ни одному значению показателя нельзя отдать предпочтение перед другими во всем диапазоне возможных колебаний исходных данных (третий случай), выбор можно вести в соответствии с максимальным превышением ЧДД, и тем самым, добиваясь минимизации степени риска, получить большой проигрыш. Минимальное превышение для  $j$ -го варианта инвестиционного проекта выражается зависимостью:

$$\tau_j = \min \left\{ \begin{array}{l} \min_i \text{ЧДД}_{ij} - \max_j \min_i \text{ЧДД}_{ij} \\ \max_i \text{ЧДД}_{ij} - \max_j \max_i \text{ЧДД}_{ij} \end{array} \right. \quad (14)$$

$$\left( i = \overline{1, N_q^{(j)}}; j = \overline{1, N_b} \right).$$

Тот вариант, который имеет максимальное значение  $\tau_j$ , и принимается как экономически наиболее эффективный.

## ВЫВОДЫ

В целом применение механизмов государственно-частного партнерства позволит привлечь дополнительные инвестиции в транспортное строительство, поможет решить проблему развития транспортной инфраструктуры. Ведь, не имея достаточных транспортных связей между регионами, невозможно осуществлять эффективное управление, проводить политику, стимулирующую экономическое развитие. В условиях кризиса, санкционной войны транспортное строительство способно стать драйвером экономического роста страны. По оценкам экспертов, развитие транспортной инфраструктуры, благодаря мультипликативному эффекту, дает возможность стимулировать и другие, смежные отрасли народного хозяйства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 13.07.2015 г. № 224-ФЗ (ред. от 29.12.2015) «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182660/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182660/). Доступ 29.04.2017.
2. Макаров И. Н. Основные формы государственно-частного партнерства в мировой практике и российской экономике // Экономические науки. – 2008. – № 8. – С. 83–87.
3. Загорюлько М. М. Концессии в жилищном строительстве, коммунальном и транспортном хозяйстве России и СССР: документы и материалы. – Волгоград, 2006. – 62 с.
4. Велетминский И., Зыкова Т. И тюрьма, и метро. В концессии будет отдано все, что нельзя продать // Российская газета. – 2005. – 7 апреля.
5. Кузнецов И. В. Зарубежный опыт государственно-частного партнерства (США, Европа, Канада) // Экономические науки. – 2012. – № 93. – С. 196–202.
6. Погодаева М. Ю. Механизм государственно-частного партнерства в отраслях производственной инфраструктуры // Экономический журнал. – 2011. – № 3. – С. 23–31.
7. European PPP Expertise Centre. Review of the European PPP Market in 2014. – Luxembourg. – 2015. – 12 с.
8. Федеральный портал «Платформа поддержки инфраструктурных проектов». База проектов. [Электронный ресурс]: <http://www.pppi.ru/projects/>. Доступ 29.04.2017.
9. Волков Б. А., Добрин А. Ю. Государственно-частное партнерство в транспортном строительстве // Сб. материалов VII международной научно-практ. конференции «Фундаментальные основы проектирования и управления жизненным циклом недвижимости: надёжность, эффективность и безопасность». – М., 2015. – С. 53–56.
10. Волков Б. А., Добрин А. Ю. Основы государственно-частного партнерства в транспортном строительстве // Международная научно-практ. конференция «Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономический суверенитет». – М., 2015. – С. 85–86.
11. Марцинковская А. В. Строительство железных дорог с использованием инвестиционных средств государства, частных инвесторов и средств пенсионных фондов // Транспортное строительство. – 2012. – № 5. – С. 22–24.
12. Марцинковская А. В. Инвестиции в строительство железных дорог поступят из тарифов на грузовые перевозки // Транспортное строительство. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
13. Марцинковская А. В. Инвестиции в строительство инфраструктуры // Мир транспорта. – 2012. – № 3. – С. 120–125.
14. Федеральный портал «Инфраструктура и государственно-частное партнерство в России». Вступил в силу федеральный закон о ГЧП [Электронный ресурс]: <http://www.pppi.ru/news/vstupil-v-silu-federalnyy-zakon-o-gchp>. Доступ 30.03.2017. ●

Координаты авторов: **Волков Б. А.** – [volkov-miit@yandex.ru](mailto:volkov-miit@yandex.ru), **Добрин А. Ю.** – [a.dobrin@myief.ru](mailto:a.dobrin@myief.ru)

Статья поступила в редакцию 10.03.2017, принята к публикации 29.04.2017.

# EFFICIENCY OF PPP MECHANISMS FOR DEVELOPMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

**Volkov, Boris A.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
**Dobrin, Aleksey Yu.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

## ABSTRACT

The spheres of application of public-private partnership continue to expand. Concession agreements are regularly used in transport, especially in road construction. However, any such option requires comprehensive calculations, an integrated approach, reducing the risk to partners to a minimum, because only a spectacular project can be attractive and profitable when it comes to

long-term investment. The authors of the article reveal step by step the mechanisms of interaction between the parties in implementation of infrastructure projects, consider in detail the mathematical apparatus that assesses the budgetary effectiveness of investment programs, distribution of burden between the state and private partners throughout all stages of the life cycle of projects within the framework of PPP.

**Keywords:** public-private partnership, concession, economy, transport, infrastructure, life cycle of the project, efficiency, investment load.

**Background.** According to the law, PPP is a legal cooperation between a public partner, on the one hand, and a private partner, on the other hand, legally based on a combination of resources, risk sharing, which is carried out on the basis of a PPP agreement concluded in accordance with federal law for the purposes of attracting private investments into the economy, providing state authorities and local governments with access to goods, works, services and improving their quality [1].

Mechanisms of public-private partnerships are used very widely abroad [2]. They are reflected in many spheres of human activity: social (kinder-

gartens, schools, medical institutions, etc.), transport (roads and railways, water and air transport, pipeline transport), housing and communal [3], energy, agrarian, even construction and operation of prisons [4].

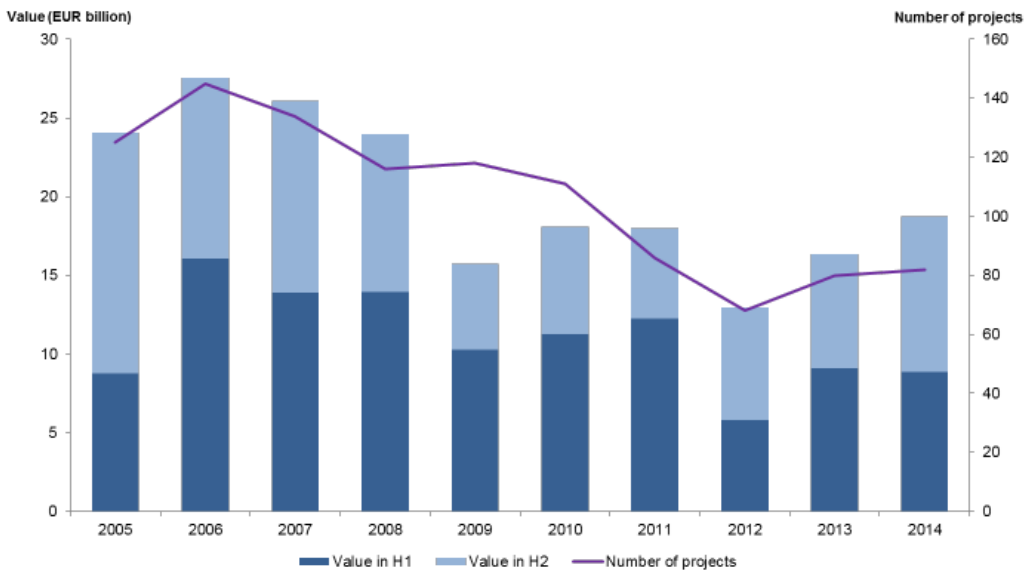
The spheres of application of public-private partnership continue to expand. PPP models are used in the military-industrial complex, space exploration. Until recently, these spheres have been considered as an exclusive prerogative of the state. For example, in the US, Germany and the UK, PPP schemes are being implemented that combine the benefits of public planning and private interest in implementation

**Table 1**

**Stages of development of PPP in Russia**

№	Period	Brief description of the period
1	1717–1836	The emergence of a partnership between the state and private business in Russia. The construction of mills on the banks of the rivers Una and Shlyna on a concession basis.
2	1836–1917	The emergence and development of a network of railways. Construction of plants. The emergence of telephone networks. Elaboration and development of the legislative framework.
3	1917–1937	Revolution. In 1920, the Council of People’s Commissars adopted a decree on concessions of the RSFSR. On August 21, 1923 by decision of the Council of People’s Commissars of the USSR the Main Concession Committee (Glavkones) was established. Over 2000 concessions have been created.
4	1938–1991	Liquidation of Glavkones and the PPP institute. The USSR acted as a concessionaire in foreign projects for development of transport infrastructure.
5	1992–2005	After the breakup of the USSR, the search for forms of interaction between the state and private business begins in the conditions of market relations. The development of PPP laws and mechanisms begins. Privatization. Adoption of Federal Law No. 225 «On Production Sharing Agreements»
6	2005–2012	The adoption on July 21, 2005 of the Federal Law No. 115 «On concession agreements». Mechanisms such as the Investment Fund, model concession agreements, tenders for major transport projects have been developed. For this stage, 23 projects were implemented based on PPP, of which two major transport: – construction and operation of a multi-profile transshipment complex «Yug-2»; – construction of a bridge across the floodplain of the Yuribey River (Obskaya–Bovanenkovo route). By the end of 2012, there were 83 projects in Russia under implementation.
7	2012–2015	More than 9 federal documents regulating state-private partnership have been adopted. Growth in the number of PPP projects. By mid-2015, 595 projects were under implementation, with a total of 871 billion rubles.
8	2015–2016	In early July 2015, the State Duma and the Federation Council adopted the Federal Law «On the Basics of Public-Private Partnership, Municipal-Private Partnership in the Russian Federation and Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation» with the entry into force on January 1, 2016. At the beginning of 2016 in Russia there were 1285 PPP projects (a total of over 1 trillion rubles), 95 in the transport sector.





**Fig. 1** shows the volume of PPP projects implemented in the EU in 2005–2014. Volumes are presented in monetary (for the first and second half-year) and quantitative expression [7].

of national projects in the field of space exploration. The National Geospatial Intelligence Agency of the United States (NGA) has signed two NextView contracts with DigitalGlobe (September 2003) and GeoEye (September 2004), respectively, for \$530 and \$500 million to improve the resolution of incoming images from space. In 2006–2007 years these companies developed and launched dual-purpose satellites WorldView and OrbView-5 with equipment for surveying the Earth with a spatial resolution of 0,45 m [5].

**Objective.** The objective of the authors is to consider efficiency of PPP mechanisms for transport infrastructure.

**Methods.** The authors use general scientific methods, economic evaluation, comparative analysis, scientific description, mathematical apparatus, graph construction.

**Results.** In the field of railways, the mechanism of public-private partnership has also found its application. This is confirmed not only by Russian historical experience, but also by the modern world. So, on concession terms, Siemens implemented a 150 km railway project in Mexico, which connects eight cities. The term of the agreement was 30 years, and the total amount of investments – \$1,1 billion.

An example of such a project is the high-speed HSL Zuid line in the Netherlands. The volume of investments amounted to 1,2 billion euros and was

contributed by private investors (of which 90 % by private banks, 10 % by industrial companies, including Siemens) [6].

For Russia, PPP is also not something new. A brief description of the stages of PPP development in Russia is presented in Table 1.

Investment projects for development of transport infrastructure on the basis of public-private partnership should be evaluated on the basis of a comprehensive analysis of economic, social, environmental indicators covering the entire life cycle of the project, from the pre-project stage to the service life of the facility. Criteria for assessing the participation of partners should take into account the interests of both public and private levels.

The sequence of assessing the economic benefits of participants in implementation of investment projects based on public-private partnerships is as follows:

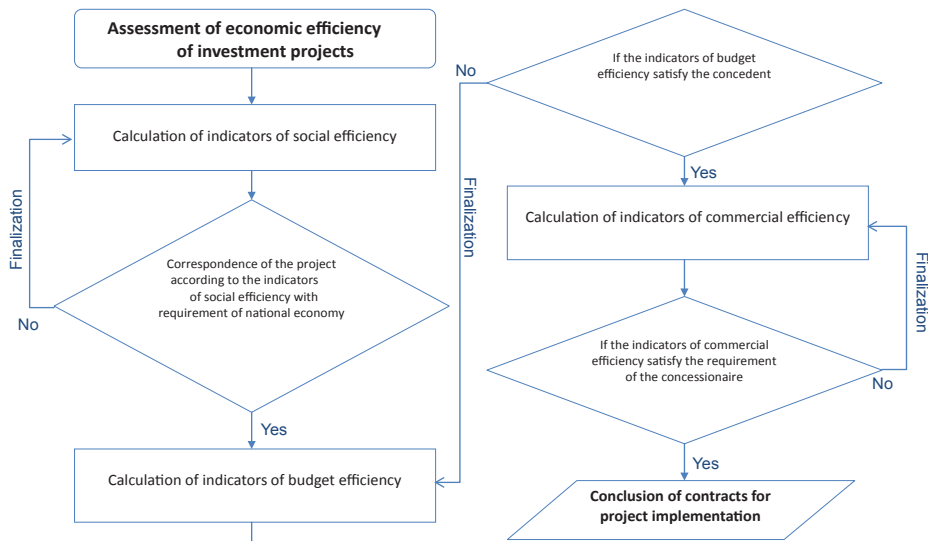
1) The social efficiency of the investment project as a whole is assessed. If it satisfies the national economic requirements by the indicators of social efficiency, then proceed to point 2. Otherwise, the analyzed project is either rejected or recommended for revision.

2) The indicators of the budget efficiency of the investment project are determined. If they satisfy the concessionor, then go to step 3. Otherwise, the limit of

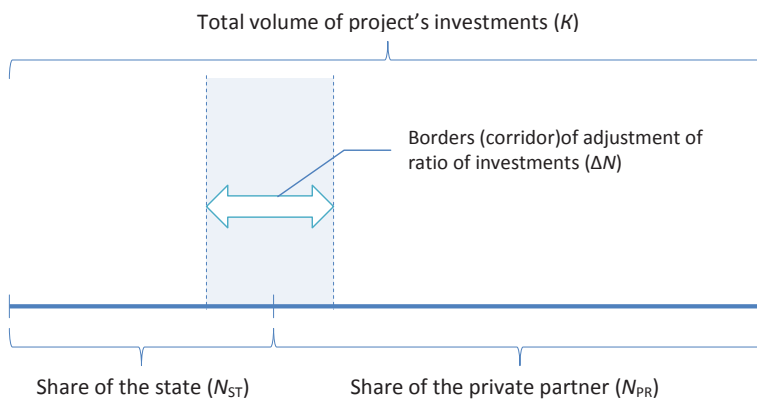
**Table 2**

**Stages of the project’s life cycle**

№	Characteristics of stages	Description of stages	Main participants
1	Pre-project stage	$T_{pp}$	Investors, customers, design organizations
2	Design stage	$T_d$	Customers, design organizations
3	Construction-installation works	$T_{ciw}$	Customers, contractors, design organizations, enterprises of construction industry
4	Operation of the facility under the concession agreement	$T_c$	Concessionaire, accompanying enterprises
5	Period of operation of the facility when it is transferred to the state	$T_o$	Concessionor, accompanying enterprises



**Pic. 2. Algorithm for selection of projects for development of transport infrastructure, implemented on the basis of PPP.**



**Pic. 3. Ratio of shares of the state and the private partner in transport construction projects.**

investments of the concessor is set, at which budgetary efficiency will satisfy him.

3) The indicators of commercial efficiency for concessionaires are calculated. If they satisfy them, they proceed to conclude contracts for implementation of the project. Otherwise, the importance of this commercial efficiency is increased by reducing private investment, or extending the duration of the concession, or both until an acceptable commercial efficiency is obtained for the concessionaire. After this, proceed to step 2. In case when the concessionaire does not economically benefit from investing in the project, it is considered expedient to implement the project with fully public funds.

With concessions, five stages of the life cycle of the project should be identified. Table 2 lists the main participants in implementation of investment projects for the life cycle stages.

Estimation of budgetary efficiency of investment projects at  $T_p \geq T_c$  can be carried out according to the following indicators.

$$NPV_b = -\sum_{t=1}^{T_c} C_t^b \cdot \eta_t + \sum_{t=1}^{T_c} B_t \cdot \eta_t + \sum_{t=T_c}^{T_h} E_t \cdot \eta_t; \quad \eta_t = \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{T_c} B_t \cdot \eta_t + \sum_{t=T_c}^{T_h} E_t \cdot \eta_t}{\sum_{t=1}^{T_c} C_t^b \cdot \eta_t}. \quad (2)$$

The internal rate of return ( $E_p$ ) is determined from the equation:

$$\sum_{t=1}^{T_s} \frac{B_t}{(1+E_p)^t} + \sum_{t=T_s}^{T_h} \frac{E_t}{(1+E_p)^t} = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{C_t^b}{(1+E_p)^t}. \quad (3)$$

The payback period ( $T_o$ ) of investments by the concedent is found from the equation:

$$\sum_{t=1}^{T_o} B_t \cdot \eta_t + \sum_{t=T_o}^{T_c} E_t \cdot \eta_t = \sum_{t=1}^{T_c} C_t^b \cdot \eta_t, \quad (4)$$

where  $NPV_b$  – budgetary net present value;

$PI$  – profitability index;

$E_p$  – internal rate of return (IRR);

$T_o^p$  – payback period of investments;

$C_t^b$  – investment costs of the concessor in the  $t$ -th year;

$B_t$  – increase in the budget in the  $t$ -th year, due to the implementation of investment project;

$E_t$  – economic effect of the concessor in the  $t$ -th year;

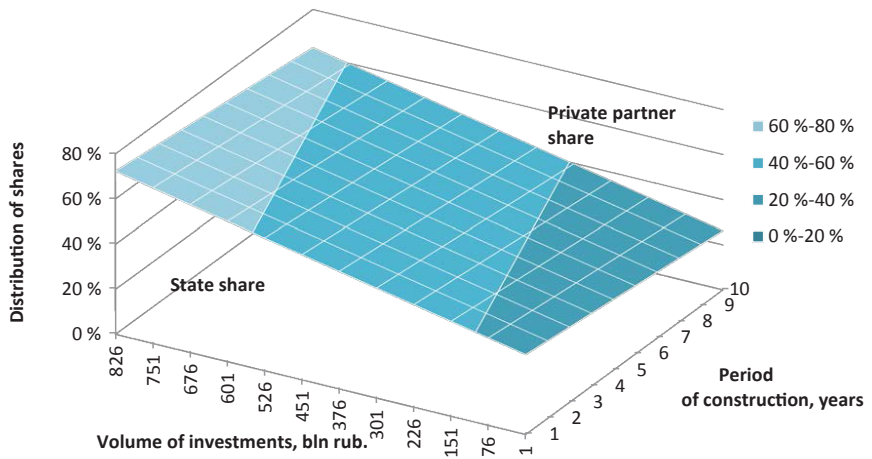
$\eta_t$  – reduction coefficient of cash flows of future periods (discount coefficient);

$E$  – rate of discount;

$T_s$  – year of starting operation of the facility;

$T_o$  – year of the end of the concession contract;





**Pic. 4. Distribution of investment burden between the state and the private partner in projects for development of transport infrastructure.**

$T_h$  – calculation horizon.  
 $t$  – period (calculation stage).

In determining the commercial effectiveness of the concessionaire:

$$NPV_c = -\sum_{t=1}^{T_c} \frac{C_t^{con}}{(1+E)^t} + \sum_{t=1}^{T_c} \frac{E_t^{con}}{(1+E)^t} - \frac{C_c}{(1+E)^{T_c}}, \quad (5)$$

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{T_c} E_t^{con} \cdot \eta_t}{\sum_{t=1}^{T_c} C_t^{con} \cdot \eta_t + \frac{C_c}{(1+E)^{T_c}}}. \quad (6)$$

The internal rate of return ( $E_p$ ) of the concessionaire is found from the equality:

$$\sum_{t=1}^{T_c} \frac{E_t^{con}}{(1+E_p)^t} = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{C_t^{con}}{(1+E_p)^t} + \frac{C_c}{(1+E_p)^{T_c}}. \quad (7)$$

The payback period ( $T_o$ ) of the concessionaire is determined from the equations:

when  $T_o < T_c$

$$\sum_{t=1}^{T_o} \frac{E_t^{con}}{(1+E_c)^t} = \sum_{t=1}^{T_o} \frac{C_t^{con}}{(1+E_c)^t}, \quad (8)$$

when  $T_o = T_c$

$$\sum_{t=1}^{T_c} \frac{E_t^{con}}{(1+E_c)^t} = \sum_{t=1}^{T_c} \frac{C_t^{con}}{(1+E_c)^t} + \frac{C_c}{(1+E_p)^{T_c}}, \quad (9)$$

where  $NPV_c$  – commercial net present value;

$C_t^{con}$  – investments of the concessionaire in the  $t$ -th year;

$E_t^{con}$  – economic effect of the concessionaire in the  $t$ -th year;

$C_c$  – expenses at delivery of object by the concessionaire to the state in  $T_c$ -th year.

Selection of investment projects implemented on the principles of PPP, is recommended to be carried out in accordance with the following sequence:

1. At the first stage, projects that do not have the required values of public performance indicators are discarded:  $NPV_s \leq 0$ ,  $IRR_s < En$ ,  $T_o^s > T_o^{nom}$ .

2. Projects for indicator  $NPV_b$  are analyzed, projects in which  $NPV_b \leq 0$  are discarded.

3. Projects for indicator  $IRR_b$  are analyzed, projects in which  $IRR_b \leq En$  are discarded.

4. The projects for  $T_o^b$  are analyzed, projects with indicators exceeding the established norm, are discarded.

5. The remaining projects are ranked in ascending order  $T_o^b$ .

6. With equal payback period, projects that have the maximum value of  $NPV_b$ , minimum investment costs and other best social and environmental indicators are selected.

7. Projects that fit within the limit of state resources are accepted for implementation.

All selected projects should ensure the real commercial effectiveness of the private partner. This requires an analysis of the calculation of the effectiveness of private investment.

Schematically, the algorithm for selecting projects for development of transport infrastructure implemented on the basis of PPPs is shown in Pic. 2.

The completion of the projects indicated in the block diagram is carried out by improving the indicators of the economic efficiency of investments: first of all, by changing the distribution of the investment load and changing the concession term.

Distribution of investments between the state and the private partner is presented in a schematic form in Pic. 3.

Projects with payback periods of up to 5–7 years, in some cases – 10 years are attractive for a private partner. At the same time, for the state the payback period for projects of high social significance can be more than 30 years.

To determine the optimal ratio of investments in PPPs, a sample of the projects presented on the portal of the public-private partnership development center was used [8].

Further, a correlation-regression analysis was performed to reveal the dependence, in which the function is the ratio of the investment shares of the state and private business, and the arguments – the planned implementation period and the volume of investments [9, 10].

The ratio of the shares of the state and private business in PPP projects for the development of transport infrastructure will look like:

$$\frac{N_{ST}}{N_{PR}} = \frac{0,3649 + 0,4462 \cdot 10^{-12} \cdot K - 0,0103 \cdot T_{CON}}{0,6351 - 0,4462 \cdot 10^{-12} \cdot K + 0,0103 \cdot T_{CON}}, \quad (10)$$

where  $N_{ST}$  – share of investments of the state;



Table 3

**Distribution of investment burden between the state and the private partner in transport infrastructure development projects (state share is indicated)**

Investments, bln rub.	Construction period, years									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35,5 %	34,5 %	33,4 %	32,4 %	31,4 %	30,4 %	29,3 %	28,3 %	27,3 %	26,2 %
76	38,9 %	37,8 %	36,8 %	35,8 %	34,7 %	33,7 %	32,7 %	31,6 %	30,6 %	29,6 %
151	42,2 %	41,2 %	40,1 %	39,1 %	38,1 %	37,1 %	36,0 %	35,0 %	34,0 %	32,9 %
226	45,5 %	44,5 %	43,5 %	42,5 %	41,4 %	40,4 %	39,4 %	38,3 %	37,3 %	36,3 %
301	48,9 %	47,9 %	46,8 %	45,8 %	44,8 %	43,7 %	42,7 %	41,7 %	40,7 %	39,6 %
376	52,2 %	51,2 %	50,2 %	49,2 %	48,1 %	47,1 %	46,1 %	45,0 %	44,0 %	43,0 %
451	55,6 %	54,6 %	53,5 %	52,5 %	51,5 %	50,4 %	49,4 %	48,4 %	47,3 %	46,3 %
526	58,9 %	57,9 %	56,9 %	55,8 %	54,8 %	53,8 %	52,8 %	51,7 %	50,7 %	49,7 %
601	62,3 %	61,3 %	60,2 %	59,2 %	58,2 %	57,1 %	56,1 %	55,1 %	54,0 %	53,0 %
676	65,6 %	64,6 %	63,6 %	62,5 %	61,5 %	60,5 %	59,4 %	58,4 %	57,4 %	56,4 %
751	69,0 %	67,9 %	66,9 %	65,9 %	64,9 %	63,8 %	62,8 %	61,8 %	60,7 %	59,7 %
826	72,3 %	71,3 %	70,3 %	69,2 %	68,2 %	67,2 %	66,1 %	65,1 %	64,1 %	63,1 %

$N_{PR}$  – share of investments of the private partner;  
 $K$  – volume of investments, rub.;

$T_{CON}$  – period of construction of the object, years.

As it follows from the dependence 10, the investment load on the state ( $N_{ST}$ ) increases with the cost of the project ( $K$ ) and decreases with the increase in duration of the facility construction ( $T_{CON}$ ). At the same time, the investment burden on private business ( $N_{PR}$ ) is growing with the increase in the duration of the facility construction ( $T_{CON}$ ) and decreases with the increase in cost of the project ( $K$ ).

In this there is logic: the higher is the cost of the project, the greater is the burden the state must take on; the sooner the project is implemented, the less investment burden is borne by the private partner. The distribution of shares is clearly shown in Pic. 4. Everything below the plane is the share of the state, everything, which is above the plane than the share of the private partner.

In Table 3 data are presented in a tabular form.

The risks of investments on transport can be classified according to Table 4. The risk assessment matrix can be constructed for investment projects in accordance with and with allocation of critical, large, medium, small and minor risks (Table 5).

Risks that arise at different stages of the life cycle of projects implemented on the basis of public-private partnership can be either for the state or for private investors. Table 6 describes those risks, the emergence of which is possible at the pre-project stage, the stage of development of project documentation, in the performance of construction and installation works, and the operation of the facilities commissioned.

The manifestation of risks and uncertainties in information causes a certain character of stochastic evaluation of the effectiveness of investments.

To improve the quality of the decision, it is expedient to check stability of its effectiveness with different values of initial information within the borders of its possible range of fluctuations and the most likely unfavorable situations of project implementation.

If the solution is the most economical in the range of possible values of the initial data and unfavorable

Table 4

**Types of risks of investment projects and projects on transport**

Feature	Type
1. Place of occurrence of risk	1.1. External 1.2. Internal
2. The sphere of manifestation	2.1. Technological 2.2. Economic 2.3. Ecological 2.4. Social
3. Nature of origin	3.1. Natural 3.2. Risks related to human factor 3.3. Political 3.4. Legal 3.5. Technical
4. Nature of distribution of the risk burden	4.1. Unilateral 4.2. Bilateral 4.3. Multilateral
5. Level of manifestation	5.1. Industry risk 5.2. Risk of the enterprise (organization)
6. Extent of prevalence	6.1. Mass 6.2. Unique
7. Frequency of damage	7.1. Frequent 7.2. Risks of medium frequency 7.3. Rare
8. Nature of possible financial implications	8.1. Risks that cause direct damage 8.2. Risks with indirect damage

situations of its implementation, then it can be recommended for adoption. This should be expected only for small ranges of changes in initial values. But the smaller is the range of data, the more likely that it will not include the actual values of this data, and this can lead to a significant deviation of the decision from the optimal one.

Insignificant ranges of fluctuations in the initial information can be taken only in the years close to the



**Risk assessment matrix of investment projects**

Degree of risk exposure to the project	Probability of risk realization (p)		
	High, p = 1,0–0,7	Medium, p = 0,6–0,4	Low, p < 0,4
Strong	Critical risk	Major risk	Average risk
Medium	Major risk	Average risk	Small risk
Weak	Average risk	Small risk	Minor risk

Table 6

**Main risks at the stages of the life cycle of investment projects**

Stages of the life cycle	Characteristics of risks	Party, bearing risk	Risk assessment
Pre-project stage and design stage	1. Risks due to the quality of pre-project documentation	State	Major risk
	2. Risks of development of project documentation	State	Critical risk
	3. Risks of land purchase and preparation of the territory of construction	State	Critical risk
	4. Risks that arise when the necessary approvals are issued	State	Average risk
Construction and installation works	1. Risk of increase in construction price	State and private investor	Critical risk
	2. Risks of financial opportunities	State and private investor	Major risk
	3. Risks of equipment supply	State	Small risk
	4. Risks caused by extreme circumstances	State and private investor	Average risk
Operation of the object	1. Risk of decrease in revenues	State	Small risk
	2. Risk of increase in operating costs	Private investor	Major risk
	3. Risk of detection of hidden defects after commissioning of the project	Private investor	Average risk
	4. Emergency circumstances	State and private investor	Average risk

reporting period. In the longer term, the range should be increased, but this leads to a decrease in the stability of the effectiveness of the decision.

When assigning input data in a probabilistically determined form, the evaluation of economic efficiency can be carried out using the mathematical expectation of the efficiency index.

If it is possible to specify the numerical values of the probabilities of possible values of the initial data, then for evaluation of effectiveness, for example, the mathematical expectation of the net discounted income is suitable:

$$NPV_{exp} = \sum_{i=1}^{n_p} P_i \cdot NPV_i, \quad (11)$$

where  $NPV_{exp}$  – mathematical expectation of net present value;

$NPV_i$  – net present value at  $i$ -th condition of realization of the project;

$P_i$  – probability of occurrence of  $i$ -th condition

$$\left( \sum_{i=1}^{n_p} P_i = 1 \right);$$

$n_p$  – number of options of possible values of initial information.

In this case, the most economically effective option is the one that has the maximum value of  $NPV_{exp}$ .

In conditions of uncertainty, the initial data are characterized either by a segment (for a single

indicator) or by a region (for a set of indicators) of possible values. Then there are three cases:

1) numerical values of probabilities of various indicators cannot be established, but the probability of coincidence of actual initial data with one of the forecast boundaries is significant;

2) it is possible to indicate the degree of preference for changes in initial information on the boundary of the maximum (minimum) possible values;

3) evaluation of the economic efficiency of investments is carried out with the maximum uncertainty of the initial information, when one cannot give preference to a single value over the others in the entire range of possible fluctuations in the initial data.

In the first case, when the probability of coincidence of the initial data with the boundary values is significant, evaluation of economic efficiency of the solution can be made, for example, using the formula:

$$\max_j \min_i NPV_{ij} \left( i = \overline{1, N_n^{(j)}}; j = \overline{1, N_v} \right), \quad (12)$$

where  $NPV_{ij}$  –  $i$ -th value of net present value for  $j$ -th option of investment project;

$N_n^{(j)}$  – number of possible values of NDI for  $j$ -th option;

$N_v$  – number of project variants being compared.

If it is possible to indicate the degree of preference for changes in the initial information along the boundary of the maximum possible values of the initial

data in comparison with the minimum possible (the second case), then the most efficient option is based on the generalized maximum of the net discounted income:

$$\max_j \left[ \alpha_0 \max_i \text{NPV}_{ij} + (1 - \alpha_0) \min_i \text{NPV}_{ij} \right], \quad (13)$$

where  $\alpha_0$  – indicator of optimism reflecting the probability of such a change in the initial information of the  $j$ -th variant, which corresponds to the maximum value of NPV. The indicator is in the range (0; 1).

In the case where it is difficult to establish the degree of preference for coincidence of actual values of the indicators with one of the limits of the range of their possible fluctuation, the coefficient  $\alpha_0$  can approximately be equal to 0,3–0,4.

With the maximum uncertainty of the initial information, when no value of the indicator can be given preference over the others in the entire range of possible fluctuations in the initial data (the third case), the choice can be made in accordance with the maximum excess of NPV, and thereby, minimizing the risk, to get a big loss. The minimum excess for  $j$ -th version of the investment project is expressed by the dependence:

$$\tau_j = \min \begin{cases} \min_i \text{NPV}_{ij} - \max_j \min_i \text{NPV}_{ij} \\ \max_j \text{NPV}_{ij} - \max_j \max_i \text{NPV}_{ij} \\ (i = \overline{1, N_n^{(j)}}, j = \overline{1, N_v}). \end{cases} \quad (14)$$

That option, which has the maximum value of  $\tau_j$  is accepted as economically most effective.

**Conclusions.** In general, the use of public-private partnership mechanisms will attract additional investments in transport construction, help solve the problem of transport infrastructure development. After all, without sufficient transport links between regions, it is impossible to implement effective management, pursue a policy that stimulates economic development. In times of crisis, in the sanctions war, transport construction can become a driver of the country's economic growth. According to experts, the development of transport infrastructure, thanks to the multiplicative effect, makes it possible to stimulate other related sectors of the national economy.

## REFERENCES

1. Federal Law No. 224-FZ of 13.07.2015 (as amended on December 29, 2015) «On Public-Private Partnership, Municipal-Private Partnership in the Russian Federation and Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation» [Federal'nyy zakon ot 13.07.2015 N224-FZ (red. ot 29.12.2015) «O gosudarstvenno-chastnom partnerstve, municipal'no-chastnom partnerstve v Rossiiskoi Federacii i vnesenii izmenenii v odel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federacii»]. [Electronic resource]: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_182660/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182660/). Last accessed 29.04.2017.
2. Makarov, I. N. The basic forms of public-private partnership in world practice and the Russian economy

[Osnovnie formy gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v mirovoi praktike i rossiiskoi ekonomike]. *Ekonomicheskie nauki*, Iss. 8, pp. 83–87.

3. Zagorulko, M. M. Concessions in housing construction, communal and transport economy of Russia and the USSR: documents and materials [Koncessii v zhilishnom stroitel'stve, kommunal'nom i transportnom hozyaistve Rossii i SSSR: dokumenty i materialy]. Volgograd, 2006, 62 p.

4. Veletminsky, I., Zykova, T. And the prison, and the subway. The concession will get everything that cannot be sold [I tyur'ma, i metro. V koncessii budet otmano vse, chto nel'zya prodat']. *Rossiyskaya Gazeta*, 2005, 7 April.

5. Kuznetsov, I. V. Foreign experience of public-private partnership (USA, Europe, Canada) [Zarubezhnyy opyt gosudarstvenno-chastnogo partnerstva (SShA, Evropa, Kanada)]. *Ekonomicheskie nauki*, 2012, Iss. 93, pp. 196–202.

6. Pogudaeva, M. Yu. The mechanism of public-private partnership in the branches of industrial infrastructure [Mehanizm gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v otraslyah proizvodstvennoy infrastruktury]. *Ekonomicheskij zhurnal*, 2011, Iss. 3, pp. 23–31.

7. European PPP Expertise Centre. Review of the European PPP Market in 2014. Luxembourg, 2015, 12 p.

8. Federal portal «Platform for supporting infrastructure projects». Base of projects. [Electronic resource]: <http://www.pppi.ru/projects/>. Last accessed 29.04.2017.

9. Volkov, B. A., Dobrin, A. Yu. Public-private partnership in transport construction [Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v transportnom stroitel'stve]. *Proceedings of VII international scientific-practical conference «Fundamentals of Design and Management of the Life Cycle of Real Estate: Reliability, Efficiency and Security»*. Moscow, 2015, pp. 53–56.

10. Volkov, B. A., Dobrin, A. Yu. Fundamentals of public-private partnership in transport construction [Osnovy gosudarstvenno-chastnogo partnerstva v transportnom stroitel'stve]. International scientific-practical conference «Modern problems of managing the economy of the transport complex in Russia: competitiveness, innovation and economic sovereignty». Moscow, 2015, pp. 85–86.

11. Martsinkovskaya, A. V. Construction of railways using state investment funds, private investors and pension funds [Stroitel'stvo zheleznyh dorog s ispol'zovaniem investitsionnyh sredstv gosudarstva, chastnyh investorov i sredstv pensionnyh fondov]. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2012, Iss. 5, pp. 22–24.

12. Martsinkovskaya, A. V. Investments in the construction of railways will come from tariffs for freight traffic [Investicii v stroitel'stvo zheleznyh dorog postupjat iz tarifov na gruzovye perevozki]. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2013, Iss. 1, pp. 21–24.

13. Martsinkovskaya, A. V. Investments in Railway Infrastructure Construction. *World of Transport and Transportation*, Vol.10, 2012, Iss. 3, pp. 120–125.

14. Federal portal «Infrastructure and public-private partnership in Russia». The federal law on PPP came into force [Electronic resource]: <http://www.pppi.ru/news/vstupil-v-silu-federalnyy-zakon-o-gchp>. Last accessed on 30.03.2017.

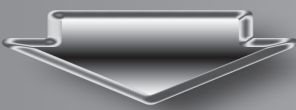
Information about the authors:

**Volkov, Boris A.** – D.Sc. (Economics), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, [volkov-miit@yandex.ru](mailto:volkov-miit@yandex.ru).

**Dobrin, Aleksey Yu.** – 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, [a.dobrin@myief.ru](mailto:a.dobrin@myief.ru)

Article received 10.03.2017, accepted 29.04.2017.





## СЕВЕРНЫЙ ШИРОТНЫЙ ХОД

30 марта 2017 года в Москве ОАО «РЖД» и ПАО «Газпром» заключили соглашение о совместной реализации инвестиционного проекта по строительству Северного широтного хода (СПХ) Обская–Салехард–Надым–Пангоды–Новый Уренгой–Коротчаево и железнодорожных подходов к нему.

Целью проекта является обеспечение вывоза грузов с месторождений северных районов Западной Сибири и сокращение протяженности транспортных маршрутов до портов Северо-Запада.

Реализация проекта будет осуществляться с привлечением средств частных инвесторов по концессионной схеме. Основные участники (ОАО «РЖД», ПАО «Газпром», Ямало-Ненецкий автономный округ) профинансируют объекты собственной существующей железнодорожной инфраструктуры, а строительство новых объектов выполнит concessionaire.

В соответствии с соглашением, ПАО «Газпром» создаст специальное дочернее общество, которое обеспечит завершение строительства и ввод в эксплуатацию собственной железнодорожной линии Надым–Пангоды (112 км).

Предполагается, что Российская Федерация выступит концедентом, а concessionaire – специальная проектная компания (СПК-Конcessionaire) – дочернее общество ОАО «РЖД», акционерами которого также могут быть заинтересованные инвесторы.

СПК-Конcessionaire по концессионному соглашению обеспечит финансирование, строительство и эксплуатацию линии Обская–Салехард–Надым.

В частности, будет построена железнодорожная часть моста через реку Обь и подходы к ней, новый железнодорожный участок Салехард–Надым (353 км), а также железнодорожная часть моста через реку Надым и подходы к ней.

ОАО «РЖД» в рамках своей инвестиционной программы выполнит реконструкцию примыкающих участков Коноша–Котлас–Чум–Лабитнанги Северной железной дороги, включая станцию Обская, а также железнодорожной линии Пангоды–Новый Уренгой–Коротчаево Свердловской железной дороги.

В свою очередь, администрация Ямало-Ненецкого автономного округа выступит инвестором строительства автомобильной части моста через Обь и предоставит необходимую проектную документацию. Также регион предоставит в федеральную собственность земельные участки, необходимые для строительства магистрали, и обеспечит доступ строителей к водным объектам и лесным участкам, предоставит льготы по налогу на имущество. Напомним, соответствующее соглашение подписано между ОАО «РЖД» и ЯНАО 19 октября 2016 года.

Строительство Северного широтного хода планируется осуществить с 2018 по 2022 годы. Общая протяженность линии составляет 707 км. Прогнозируемый объем перевозок составит 23,9 млн тонн (преимущественно газовый конденсат и нефтеналивные грузы).

По материалам пресс-службы ОАО «РЖД» ●

## NORTHERN LATITUDINAL RAILWAY

Russian Railways and Public Joint Stock Company Gazprom have signed on 30 March 2017 an agreement on the joint implementation of an investment project to construct the Northern Latitudinal Railway (NLR) Obskaya–Salekhard–Nadym–Pangody–Novy Urengoy–Korotchaevo and its railway approaches.

The aim of the project is to provide for the transportation of freight from the mineral fields and deposits of the northern regions of Western Siberia and reduce the length of transport routes to Russia's ports in the country's northwest region.

The project will be implemented by attracting private investors under a concession scheme.

The main participants are Russian Railways, PJSC Gazprom and the Yamalo-Nenets Autonomous District, which will finance the facilities of their existing railway infrastructure, while the concessionaire will construct the new facilities.

In accordance with the agreement, PJSC Gazprom will establish a special subsidiary which will ensure the completion of the construction and the commissioning of its own 112-km railway line between Nadym–Pangody.

It is assumed that the Russian Federation will act as a concession provider, while the concessionaire will be a special project company (SPC Concessionaire) and subsidiary of Russian Railways. The SPC's shareholders may also be interested investors.

Under the concession agreement, the SPC Concessionaire will provide financing and construction and operate the Obskaya–Salekhard–Nadym line. In particular, the railway section of the bridge across the river

Ob and its approaches and the new 353-km railway section Salekhard–Nadym will be built, as well as the railway section of the bridge over the Nadym river and its approaches.

Within the framework of its investment programme, Russian Railways will carry out the reconstruction of the adjacent sections of Konosh–Kotlas–Chum–Labytnangi at Northern Railways, including Ob station, and the railway line between Pangody–Novy Urengoy–Korotchaevo at Sverdlovsk Railways.

In turn, the administration of the Yamalo-Nenets Autonomous District will act as an investor in the construction of the automobile section of the bridge across the river Ob and provide the necessary project documentation.

Yamalo-Nenets will also transfer the plots of land needed for the construction of the line to federal property, ensure access for construction workers to water bodies and forest areas and provide deductions and benefits on property tax.

A corresponding agreement covering these issues was signed between Russian Railways and the Yamalo-Nenets Autonomous District on 19 October 2016.

Construction work on the Northern Latitudinal Railway is planned to be carried out from 2018 to 2022.

The total length of the line is 707 km. The projected traffic volume will amount to 23.9 million tons, consisting mainly of gas condensate and bulk oil cargoes.

Based on releases of press service of JSC Russian Railways ●



**ЦИФРОВЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ 142**

*Электронное сопровождение перевозок.*



**ПРОЦЕССНЫЙ  
ПОДХОД 150**

*Принципы и модель, предполагающие качество.*

**ИНФРАСТРУКТУРА 158**

*Мьянма: выход в международную сеть.*

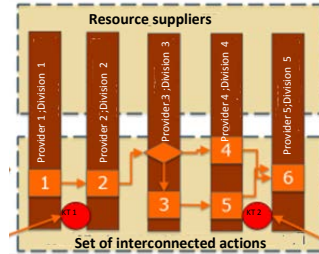
**ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL**

**DIGITAL  
TECHNOLOGY 142**

*E-follow up of transportation.*

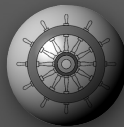
**PROCESS  
APPROACH 150**

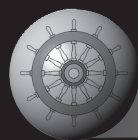
*Principles and model provide for the quality.*



**INFRASTRUCTURE 158**

*Myanmar: joining international network.*



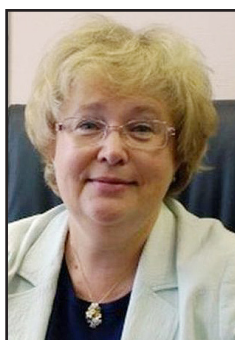


# Цифровая логистика и электронный обмен данными в грузовых перевозках



Борис ЛЁВИН  
Boris A. LYOVIN

Ольга ЕФИМОВА  
Olga V. EFIMOVA



*Лёвин Борис Алексеевич – доктор технических наук, профессор, ректор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

*Ефимова Ольга Владимировна – доктор экономических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.*

## Digital Logistics and Electronic Data Exchange in Freight Transportation (текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 147)

**В статье приведены подходы к построению новой модели взаимодействия и системной оптимизации бизнес-процессов на основе использования цифровых технологий на всех этапах формирования цепочки добавленной ценности продуктов и услуг, обеспечивающих создание информационной платформы для цифровой экономики. Рассмотрены методические основы формирования доказательной базы развития цифровой логистики и внедрения юридически значимого электронного обмена данными в организации железнодорожных перевозок.**

**Ключевые слова:** цифровые технологии, рынок грузовых перевозок, электронный документооборот, информационная система организации взаимоотношений с клиентами холдинга «РЖД» в сфере грузовых перевозок, потери в транспортном секторе.

Цифровые технологии стали необходимым условием успешного развития любой компании, источником дополнительной маржинальности в транспортном секторе при организации внутригосударственных и международных перевозок. Высокий уровень требований к эффективности управления перевозками на железнодорожном транспорте определяет и потребность в высоком уровне информатизации операционной деятельности участников транспортного рынка, их взаимодействия между собой. Цифровые технологии уверенно перемещаются из разряда вспомогательных средств в класс основных, они позволяют существенно снизить затраты на управление и связь при организации и осуществлении перевозок, повысить качество транспортных и логистических услуг, производительность труда работников железных дорог, сделать свою компанию более конкурентоспособной в глазах клиента.

В связи с этим развитие цифровой логистики и внедрение юридически значимого электронного обмена данными в организации железнодорожных перевозок

## Сравнительный анализ технологий оформления перевозочных документов

Признак сравнения	Европа	США
Форма документов	Единая электронная форма транспортных документов	
Используемые каналы связи	Передача данных по каналам EDI, обеспечивающих идентификацию участников и безопасность информации	
Наличие возможности использования бумажных документов	Допускается использование как бумажных, так и электронных документов	Электронная форма является единственным и обязательным средством организации документооборота
Участие государственных органов	Государственные структуры принимают активное участие в процессе внедрения и развития электронного документооборота для железнодорожных перевозок	Федеральные органы осуществляют функцию надзора и контроля за железнодорожными грузоперевозками

зок представляет все больший интерес для холдинга «РЖД» и создает правовые, организационные и технологические предпосылки к ускорению оборота товаров, денег и услуг в национальной экономике, позволяет оптимизировать перевозки, существенно сократить затраты на их планирование и обеспечение [1, 2, 3].

Информационное сопровождение грузовых перевозок в системах железнодорожных администраций осуществляется на основании соглашений об ЭОД в международном стандарте UN/EDIFACT по факту приема груза к перевозке с последующей передачей информации на приграничные станции для предварительного информирования и оформления документов по защищенным каналам связи сети интернет.

Использование транспортной накладной (в европейской терминологии – consignment note) в электронном виде с цифровой подписью утверждено на основе Единых правил международных железнодорожных грузоперевозок, вступивших в действие в странах-членах Международного железнодорожного комитета (СИТ) с 1 июля 2006 года [4, 5].

Целью проекта «e-rail Freight» ставится замена всех бумажных транспортных документов на электронные в рамках железнодорожной сети стран-участников СИТ. К проекту на сегодняшний день присоединились более 20 железных дорог Европы. Его ведут три европейские железнодорожные ассоциации:

- СИТ – правовая основа и разработка процедур;
- UIC – технические решения и стандарты;
- RailData – ИТ-инфраструктура.

В России проект стартовал с 1 июля 2009 года после утверждения «Спецификации электронной транспортной накладной (CIM Consignment Note) и электронной пересылочной накладной (CUV Wagon Note)».

Проработка правовых основ электронного документооборота в осуществлении международных и внутригосударственных грузовых перевозок, которые составляют свыше 14 % ВВП Евросоюза, создает предпосылки к развитию цифровой логистики как инновационной технологии управления информационным потоком по всей логистической сети на всех иерархических уровнях. Цифровые технологии для логистики станут неотъемлемым атрибутом ежедневной деятельности компаний, их конкурентным преимуществом, если иметь в виду быстрое реагирование на потребности клиентов [6].

Создание единого информационного пространства с помощью smart-технологий образует огромное хранилище информации и открывает новые возможности для управления логистическими процессами. Обмен информацией, отслеживание транспортировки грузов, дистанционное управление и контроль над операциями и персоналом, анализ и автоматизация с участием стационарных и мобильных устройств становятся требованием времени в транспортной сфере. Цифровые технологии позволяют оптимизировать затраты, создают преимущества над конкурентами в управлении транспортно-логистическими процессами за счёт интеграции разных целевых групп грузоотправителей и грузополучателей по всем видам транспорта.

Экономическая основа цифровой логистики состоит в том, что от 10 до 15 % транспортных расходов приходится на подготов-



## Ключевые результаты применения цифровых технологий в транспортной компании

Вид эффектов	Результаты	Показатели
Коммерческий	Изменение объёма перевозок; появление новых ИТ-услуг (услуги УЦ); повышение производительности и улучшение условий труда; экономия расходов структурных подразделений.	Прирост доходов от дополнительных перевозок в результате применения технологии; дополнительные доходы при оказании ИТ-услуг; экономия затрат в связи с использованием технологии.
Конкурентоспособность компании	Влияние новых конкурентных возможностей ОАО «РЖД» на рыночную долю компании.	Рост клиентской базы (рост удовлетворенности качеством обслуживания за счет сокращения времени ожидания при оформлении документов).
Социально-экономический	Совершенствование организационной структуры компании; повышение качества, производительности и улучшение условий труда; повышение качества обработки, передачи и хранения информации.	Сокращение численности производственного персонала и управленческих работников за счёт повышения производительности труда; повышение оперативности принимаемых решений в области управления перевозками; сокращение количества бумажных документов и информации, приходящейся на одно структурное подразделение или работника (выполнение принципов бережливого производства); сокращение времени доступа к информации.
Технологический	Повышение уровня прогрессивности применяемой технологии.	Улучшение качества осуществления технологических процессов основного бизнеса; сокращение времени осуществления технологических процессов обработки и передачи информации.

ку бумажных документов и на задержку в сроках доставки, связанных с этими документами. И расходы, и сроки доставки могут быть снижены при применении юридически значимого электронного документооборота на 20–40 %.

Сходства и различия американской и европейских технологий электронного документооборота в транспортном секторе приведены в таблице 1.

Одним из «элементов» цифровых технологий, оптимизирующих работу компании, является электронная подпись, применение которой позволяет устранить потери как у клиентов, так и в холдинге. Использование её при обмене электронными перевозочными документами относится к числу передовых ИТ-технологий по информационному взаимодействию с пользователями услуг железнодорожного транспорта. Результатом электронной подписи для клиента становится сокращение времени на заполнение документов в бумажном виде, соответственно снижаются трудозатраты, повышается удовлетворённость качеством транспортного обслуживания, сокращается время доступа к информации. Результатом для холдинга является отсутствие необходимости заполнения, контроля правильности оформления

документов, занесения информации в автоматизированные системы, вследствие чего снижаются трудозатраты, повышается производительность, снижается длительность техпроцессов обработки и передачи информации.

Возможность трансграничного использования электронной цифровой подписи в перевозочных документах ограничивается следующими факторами:

- различиями в терминологии и определениях, различиями и полнотой правовой базы, различиями в концепциях квалифицированных сертификатов;
- вариативностью требований локальных нормативных баз России, не соответствующих зарубежным решениям;
- возможностью многозначного толкования европейской нормативной базы;
- невозможностью совместимости требований на европейском или ином трансграничном уровне к подписи на юридически значимых документах, в том числе к электронно-цифровой подписи, не основанной на квалифицированных сертификатах;
- недостаточной определенностью на уровне ЕС требований к услугам третьей доверенной стороны (штамп времени, долгосрочная архивация, идентификация





Рис. 1. Результативность цифровых технологий в логистике.

и авторизация) и основанной исключительно на национальных нормах законодательства;

- неоднобразным использованием атрибутов сертификатов: нет общепринятого стандарта для атрибутов, который можно было бы использовать для определения роли подписанта, а также единого мнения по поводу значений, которые атрибут может содержать, в том числе и языковых различий;

- проверкой валидности электронной цифровой подписи через тот удостоверяющий центр, который выдал сертификат ключа подписи и который находится в одной юрисдикции с владельцем приложения, реализующего цифровую технологию.

Цифровая подпись обеспечивает:

- удостоверение источника документа. В зависимости от деталей определения документа могут быть подписаны такие поля, как «автор», «внесённые изменения», «метка времени» и т.д.;

- защиту от изменений документа. При любом случайном или преднамеренном изменении документа (или подписи) изменится хэш, следовательно, подпись станет недействительной;

- невозможность отказа от авторства. Так как создать корректную подпись можно лишь, зная закрытый ключ, а он известен только владельцу, то владелец не может отказаться от своей подписи под документом;

- предприятиям и коммерческим организациям сдачу финансовой отчетности в государственные учреждения в электронном виде;

- организацию юридически значимого электронного документооборота.

Эффект от использования цифровых технологий оформления перевозочных документов с применением электронной подписи в прямом железнодорожном сообщении и прямом международном сообщении формируется на высшем уровне управления компанией и носит синергетический эффект взаимодействия всех ее элементов, а также приводит к устранению потерь на всех этапах жизненного цикла оформления взаимоотношений с клиентом – грузоотправителем и грузополучателем [7, 8, 9]. Основные виды эффектов (таблица 2) для транспортной компании при технологии с применением электронной подписи оцениваются с по-





зиций конкурентоспособности, безопасности компании и ее коммерческой результативности.

Показатели коммерческого эффекта учитывают финансовые последствия использования технологии оформления перевозочных документов с применением электронной подписи на уровне компании и ее подразделений.

Создание информационного пространства электронных документов на перевозку, содержащих большой объем сведений о перевозимых грузах, грузоотправителях и грузополучателях, формирует предпосылки к применению технологий big data и вместе с тем уникальный ресурс, представляющий возможность перехода от стратегии конкуренции в транспортном секторе к стратегии сотрудничества и партнерства – основной модели бизнеса в цифровой логистике (рис. 1).

Эффекты полного перехода на безбумажный документооборот и цифровые технологии в транспортном секторе будут ощутимы только при решении проблемы долговременного хранения юридически значимых электронных документов, хотя во всем мире наиболее важные документы постоянного срока хранения пока изготавливаются на традиционных носителях.

Атрибуты электронных перевозочных документов как кластер big data и технология internet of thinking создают уникальную информацию о поведении клиентов, их продуктовых и ценовых предпочтениях, позволяют формировать эффективные

логистические цепи создания ценности, а также решать глобальную государственную проблему оптимизации транспортной составляющей в цене продукции отечественной экономики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бубнова Г. В., Лёвин Б. А. Цифровая логистика – инновационный механизм развития и эффективного функционирования транспортно-логистических систем и комплексов // International journal of open information technologies. – 2017 – № 3. – С. 72–78.
2. Системы электронного управления документами: обзор, классификация и оценка возврата от внедрения. [Электронный ресурс]: <http://www.mdi.ru/library/analit/sysel.html>. Доступ 24.04.2017.
3. Направления стратегического развития железнодорожного транспорта стран-членов ОСЖД. Сборник статей и материалов. ОСЖД. М. – 2016.
4. Обзор рынка транспортно-логистических услуг в России // Исследования рынков «RBC Research». [Электронный ресурс]: [http://wap.rbc.ru/reviews/transport2014/chapter\\_2\\_1.shtml](http://wap.rbc.ru/reviews/transport2014/chapter_2_1.shtml) свободный.
5. Zamora A. I. Efficiency in International Transportation Service // Social Science Research Network. [Electronic resource]: [http://paper.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2368428](http://paper.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2368428) free.
6. Ralf Schulz «Dez Transportgesetz» // Industrie- und Handelskammer Frankfurt (order). [Electronic resource]: <http://www.ihhk-ffo.de/content/artikel/1376.html>. Доступ 24.04.2017.
7. Терешина Н. П. Экономическое регулирование и конкурентоспособность перевозок. – М.: МПС РФ, 1994. – 132 с.
8. Хусаинов Ф. И. Железные дороги и рынок: сборник статей. – М.: Наука, 2015. – 582 с.
9. Соколов Ю. И. Экономика качества транспортного обслуживания грузовладельцев: монография. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2011. – 184 с.
10. Мачерет Д. А. Методологические проблемы исследований на железнодорожном транспорте // Экономика железных дорог. – 2015. – № 3. – С. 12–26.
11. Ефимова О. В. Методический подход к управлению рисками транспортно-логистического бизнес-блока холдинга «РЖД» // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2016. – № 9–1. – С. 79–82. ●

Координаты авторов: **Лёвин Б. А.** – [tu@miit.ru](mailto:tu@miit.ru), **Ефимова О. В.** – [ovefimova@mail.ru](mailto:ovefimova@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 09.03.2017, принята к публикации 29.04.2017.

## DIGITAL LOGISTICS AND ELECTRONIC DATA EXCHANGE IN FREIGHT TRANSPORTATION

*Lyovin, Boris A., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

*Efimova, Olga V., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

The article depicts approaches to building a new model of interaction and system optimization of business processes based on the use of digital technologies at all stages of shaping the value chain of products and services that provide the creation of

an information platform for digital economy. The methodical foundations of formation of the evidence base for development of digital logistics and introduction of legally significant electronic data exchange in the organization of rail transportation are considered.

**Keywords:** digital technologies, freight transportation market, electronic document management, information system of organization of relations with customers of the holding Russian Railways in the field of freight transportation, losses in the transport sector.

**Background.** Digital technologies have become a necessary condition for successful development of any company, a source of additional marginality in the transport sector in the organization of domestic and international transportation. A high level of requirements for the efficiency of traffic management in rail transport determines the need for a high level of informatization of the operating activities of transport market participants, their interaction with each other. Digital technologies confidently move from the category of auxiliary tools to the basic class, they allow to significantly reduce the costs of management and communication in the organization and implementation of transportation, improve the quality of transport and logistics services, labor productivity of railway workers, make a company more competitive in the eyes of the client.

In this regard, development of digital logistics and introduction of legally significant electronic data exchange in the organization of rail transportation is of increasing interest to the holding company Russian Railways and creates legal, organizational and technological prerequisites for accelerating the turnover of goods, money and services in the national economy, allows to significantly reduce the costs of their planning and provision [1, 2, 3].

**Objective.** The objective of the authors is to consider the role of digital logistics and electronic data exchange in modern freight transportation by rail.

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

**Results.** Information support for freight transportation in railway administration systems is carried out on the basis of EDI agreements in the international UN / EDIFACT standard on the receipt of cargo for transportation with subsequent transfer of information to border stations for preliminary information and document processing via secure Internet communication channels.

The use of a consignment note in electronic form with a digital signature is approved on the basis of the Uniform Rules for International Railway Cargo Transportation, which entered into force in the member countries of the International Railroad Committee (CIT) from July 1, 2006 [4, 5].

The goal of the «e-rail Freight» project is to replace all paper transport documents with electronic ones within the railway network of the CIT member countries. More than 20 railways of Europe have joined the project to date. It is led by three European railway associations:

- CIT – legal framework and procedure development;
- UIC – technical solutions and standards;
- RailData – IT infrastructure.

The project started on July 1, 2009 in Russia after the approval of the CIM Consignment Note and the CUV Wagon Note.

Elaboration of the legal basis for electronic document management in the implementation of international and domestic cargo transportations, which account for more than 14 % of the GDP of the European Union, creates prerequisites for development of digital logistics as an innovative technology for managing the information flow throughout the logistics network at all hierarchical levels. Digital technologies for logistics will become an integral attribute of the daily activities of companies, their competitive advantage, if we bear in mind the rapid response to the needs of customers [6].

Creation of a single information space with the help of smart technologies forms a huge storehouse of information and opens new opportunities for management of logistics processes. Exchange of information, tracking of cargo transportation, remote management and control over operations and personnel, analysis and automation with the participation of stationary and mobile devices become a requirement of time in the transport sector. Digital technologies allow to optimize costs, create advantages over competitors in management of transport and logistics processes by integrating different target groups of consignors and consignees in all modes of transport.

The economic basis of digital logistics is that from 10 to 15 % of transportation costs account for the preparation of paper documents and the delay in delivery times associated with these documents. Both costs and delivery times can be reduced by applying a legally significant electronic document flow by 20–40 %.

Similarities and differences in US and European electronic document management technologies in the transport sector are shown in Table 1.

One of the «elements» of digital technologies that optimize the company's work is an electronic signature, the application of which allows eliminating losses both for customers and for the holding. Its use in the exchange of electronic transportation documents is one of the leading IT technologies for information interaction with users of railway transport services. The result of the electronic signature for the client is the reduction of time for filling documents in paper form, correspondingly the labor costs are reduced, the satisfaction with the quality of transport services is increased, the time of access to information is reduced. The result for the holding company is the lack of the need to fill in, verify the correctness of execution of documents, record the information in automated systems, resulting in



**Comparative analysis of technologies for issuing shipping documents**

Comparison feature	Europe	USA
Form of documents	Unified electronic form of transport documents	
Used communication channels	Data transmission via EDI channels, providing identification of participants and security of information	
Possibility of using paper documents	It is allowed to use both paper and electronic documents	The electronic form is the only and obligatory means of organizing document management
Participation of state bodies	State structures take an active part in the process of introduction and development of electronic document management for rail transportation	Federal bodies exercise the function of supervision and control over railway freight traffic

Table 3

**Key results of the application of digital technologies in the transport company**

Type of effects	Results	Indicators
Commercial	Change in traffic volume; the emergence of new IT services (CA services); increasing productivity and improving working conditions; saving costs of structural divisions	Increase in revenue from additional transportation as a result of technology application; additional revenues in the provision of IT services; saving costs in connection with the use of technology
Competitive ability of the company	The impact of the new competitive opportunities of JSC Russian Railways on the market share of the company	Growth of the client base (increase in satisfaction with the quality of service due to a reduction in waiting time when processing documents)
Social and economic	Improvement of the organizational structure of the company; improvement of quality, productivity and improvement of working conditions; improvement of quality of processing, transmission and storage of information	Reduction in the number of production personnel and managers due to increased labor productivity; Increase the speed of decisions in the field of traffic management; reduction in the number of paper documents and information per one structural unit or employee (implementation of lean manufacturing principles); Reduction of access time to information
Technological	Improvement of the level of progressiveness of the applied technology	Improvement of the quality of implementation of the technological processes of the core business; Reduction of the time for the implementation of technological processes for processing and transferring information

reduced labor costs, increased productivity, reduced processing and information transmission time.

The possibility of cross-border use of electronic digital signatures in transportation documents is limited by the following factors:

- differences in terminology and definitions, differences and completeness of the legal framework, differences in the concepts of qualified certificates;
- variability of requirements of the local regulatory bases of Russia, which do not correspond to foreign decisions;
- possibility of a multiple interpretation of the European regulatory framework;
- impossibility of compatibility of requirements at a European or other transboundary level with a signature on legally significant documents, including an electronic digital signature that is not based on qualified certificates;
- insufficient definiteness at the EU level of requirements for services of the third trusted party (time stamp, long-term archiving, identification and authorization) and based exclusively on national legislation;
- multiple use of the attributes of certificates: there is no generally accepted standard for attributes that could be used to determine the role of the signatory, as well as a consensus on the meanings that the attribute can contain, including language differences;
- verification of the validity of the electronic digital signature through the certifying center that issued the key signature certificate and which is in the same jurisdiction with the owner of the application implementing digital technology.

The digital signature provides:

- certification of the source of the document. Depending on the details of the document definition,

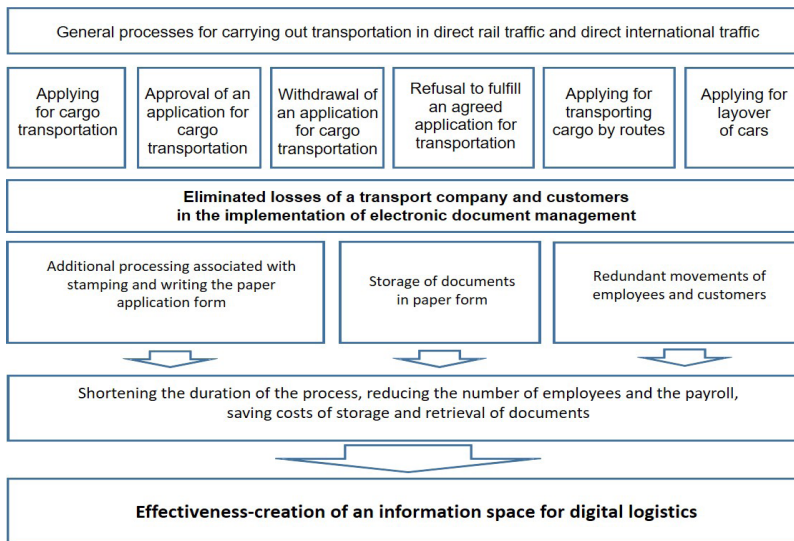
such fields as «author», «changes made», «timestamp», etc. can be signed;

- protection against document changes. Any random or deliberate modification of the document (or signature) will change the hash, hence the signature will become invalid;
- impossibility of refusal of authorship. Since a correct signature can be created only if the private key is known, and it is known only to the owner, then the owner cannot refuse his signature under the document;
- enterprises and commercial organizations to submit financial reports to state institutions in electronic form;
- organization of legally significant electronic document management.

The effect of the use of digital technologies for processing of transport documents using electronic signatures in direct rail traffic and direct international traffic is formed at the highest level of the company management and has a synergistic effect of interaction of all its elements, and also leads to the elimination of losses at all stages of the life cycle of customer relationship management – consignor and consignee [7, 8, 9]. The main types of effects (Table 2) for a transport company with technology using an electronic signature are evaluated from the standpoint of competitiveness, company safety and its commercial effectiveness.

The indicators of commercial effect take into account the financial consequences of using the technology of execution of shipping documents with the use of electronic signature at the level of the company and its units.

Creation of an information space for electronic documents for transportation, containing a large amount of information about the cargoes shipped, consignors and consignees, creates the prerequisites



**Pic. 1.**  
**Effectiveness of digital technologies in logistics.**

for the use of big data technologies and at the same time a unique resource that represents the possibility of transition from a competition strategy in the transport sector to a strategy of cooperation and partnership – basic business models in digital logistics (Pic. 1).

**Conclusion.** The effects of a full transition to paperless document management and digital technologies in the transport sector will be felt only when solving the problem of long-term storage of legally significant electronic documents, although the most important documents of permanent storage are being produced on traditional carriers all over the world.

The attributes of electronic transport documents such as the big data cluster and the internet of thinking technology create unique information about the behavior of customers, the required product offers and price preferences, allow to form effective logistics chains of value creation, as well as solve the global state problem of optimizing the transport component in the price of domestic products.

## REFERENCES

1. Bubnova, G. V., Lyovin, B. A. Digital logistics – innovative mechanism for development and effective functioning of transport and logistics systems and complexes [Cifrovaja logistika – innovacionnyj mehanizm razvitiya i effektivnogo funkcionirovaniya transportno-logisticheskikh sistem i kompleksov]. *International journal of open information technologies*, No. 3, 2017.
2. Electronic document management systems: review, classification and evaluation of return from implementation [Sistemy elektronnoho upravleniya dokumentami: obzor, klassifikacija i ocenka vozvrata ot vnedrenija]. [Electronic resource]: <http://www.mdi.ru/library/analit/sysel.html>. Last accessed 24.04.2017.
3. Directions of strategic development of the railway transport of the OSJD member countries. Collection of

articles and materials [Napravleniya strategicheskogo razvitiya zheleznodorozhnogo transporta stran-chlenov OSZhD. *Sbornik statej i materialov*]. OSJD. Moscow, 2016.

4. Review of the market of transport and logistics services in Russia [Obzor rynka transportno-logisticheskikh uslug v Rossii]. *Research of the markets «RBC Research»*. [Electronic resource]: [http://wap.rbc.ru/reviews/transport2014/chapter\\_2\\_1.shtml](http://wap.rbc.ru/reviews/transport2014/chapter_2_1.shtml) free.

5. Zamora A. I. Efficiency in International Transportation Service // Social Science Research Network. [Electronic resource]: [http://paper.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2368428](http://paper.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2368428) free.

6. Ralf Schulz «Dez Transportgesetz» // Industrie- und Handelskammer Frankfurt (order). [Electronic resource]: <http://www.ihhk-ffo.de/content/artikel/1376.html>. Last accessed 24.04.2017.

7. Tereshina, N. P. Economic regulation and competitiveness of transportation [Ekonomicheskoe regulirovanie i konkurentosposobnost' perevozok]. Moscow, Ministry of Railways of the Russian Federation, 1994, 132 p.

8. Khusainov, F. I. Railways and the market: a collection of articles [Zheleznye dorogi i rynek: sbornik statej]. Moscow, Nauka publ., 2015. – 582 p.

9. Sokolov, Yu. I. Economy of quality of transport service of cargo owners: the monograph [Ekonomika kachestva transportnogo obsluzhivaniya gruzovladel'cev: monografija]. Moscow, TMC for education in railway transport, 2011, 184 p.

10. Macheret, D. A. Methodological problems of research in railway transport [Metodologicheskie problemy issledovanij na zheleznodorozhnom transporte]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2015, Iss. 3, pp. 12–26.

11. Efimova, O. V. Methodological approach to risk management of transport and logistics business block of the Russian Railways holding [Metodicheskij podhod k upravleniju riskami transportno-logisticheskogo biznes-bloka holdinga «RZhD»]. *Konkurentnosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tehnologii*, 2016, Iss. 9–1, pp. 79–82. ●

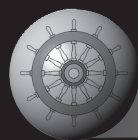
Information about the authors:

**Lyovin, Boris A.** – D.Sc. (Eng.), professor, rector of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, [tu@miit.ru](mailto:tu@miit.ru).

**Efimova, Olga V.** – D.Sc. (Economics), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, [ovefimova@mail.ru](mailto:ovefimova@mail.ru).

Article received 09.03.2017, accepted 29.04.2017.





# Процессный подход как основа повышения эффективности обслуживания грузовладельцев



Сергей ЕЛИСЕЕВ  
Sergey Yu. ELISEEV

Елена КУЛИЕВА  
Elena S. KULIEVA



*Елисеев Сергей Юрьевич – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

*Кулиева Елена Сергеевна – старший преподаватель кафедры «Эксплуатация железных дорог» Российской открытой академии транспорта МИИТ, Москва, Россия.*

## Process Approach as a Basis for Increasing the Efficiency of Freight Owners' Servicing

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 155)

**В статье ставится вопрос о создании системы управления грузоперевозками, которая бы учитывала условия работы в рыночной среде и обеспечивала качество и эффективность обслуживания грузовладельцев на железнодорожном транспорте. Из всего набора рассмотренных вариантов применение процессно-ориентированной системы эксплуатации грузовых вагонов авторами представляется наиболее перспективным направлением. Преимущества такого подхода показаны достаточно детально и снабжены практическими рекомендациями организационно-технологического и методического плана.**

Ключевые слова: железная дорога, грузовой вагон, качество обслуживания грузовладельцев, управление, перевозка, эффективность, функциональный подход, процессный подход, модель, показатели.

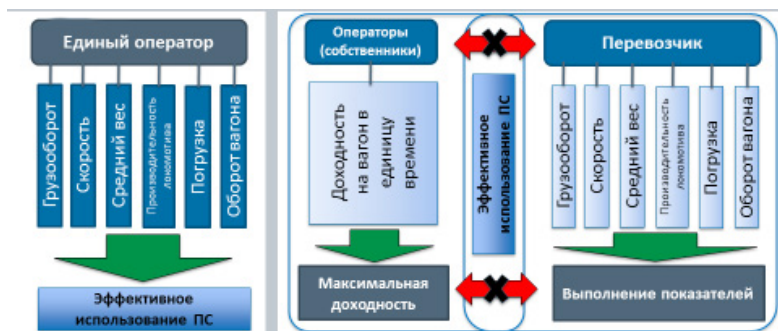
**Р**азвитие конкуренции в сфере оперирования грузовыми вагонами и стремительный рост количества их собственников привели к переходу от управления по принципу «единым парком» к самостоятельному построению логистических цепочек частными компаниями – операторами. Сегодня под погрузку подается вагон собственника, с которым заключен договор на услуги, а не ближайший вагон. Это приводит к ухудшению качества и эффективности использования грузовых вагонов. Ухудшение эксплуатационных показателей вагонного парка потребовало увеличения его размеров, поскольку для вывоза того же объема грузов, предъявленных к перевозке, нужен больший парк вагонов.

В настоящее время услуги по предоставлению подвижного состава под перевозку выполняют более 1800 владельцев, большинство из которых имеют от нескольких единиц до нескольких сотен грузовых вагонов.

Увеличение количества вагонов на сети создает дополнительную нагрузку на железнодорожную инфраструктуру, ведет к снижению скорости поездов и замедле-



**Рис. 1 Структура собственников парка грузовых вагонов.**



**Рис. 2. Отсутствие заинтересованности в эксплуатационных показателях операторов (собственников) подвижного состава.**

нию товародвижения. При общей величине парка грузовых вагонов российской принадлежности в более чем 1200 тыс. единиц количество «лишних вагонов», превышающих возможности инфраструктуры по эффективной эксплуатации парка, оценивается экспертами в 250 тыс. единиц.

Сохранение такой тенденции может привести к поступлению на сеть такого количества вагонов, при котором движение по железнодорожной инфраструктуре будет затруднено, а перевозочный процесс не будет обеспечен в полном объёме и нужные сроки.

При этом для ОАО «РЖД» важнейшими по-прежнему, как и при плановой экономике, являются эксплуатационные показатели. Тогда как для оператора критерий оптимизации — доходность на вагон в единицу времени, и для него не важны эксплуатационные показатели (рис. 2).

Получается, с одной стороны, рост числа грузовых вагонов, увеличение порожнего пробега и оборота вагона делает проблему повышения эффективности управления парком грузовых вагонов особенно актуальной. Но, с другой стороны, нет единых критериев эффективности.

Эффективность и качество управленческого труда определяются прежде всего обоснованностью методологии решения проблем, т.е. подходов, принципов, методов.

Известны как минимум 13 научных подходов:

- комплексный;
- интеграционный;
- маркетинговый;
- функциональный;
- динамический;
- воспроизводственный;
- процессный;
- нормативный;
- количественный;
- административный;
- поведенческий;
- ситуационный;
- системный.

По сути, сегодня в управлении парком грузовых вагонов применяется функциональный подход, т.е. потребность рассматривается как совокупность функций, которые нужно выполнить для ее удовлетворения.

Перед руководителями остро встает вопрос о создании системы управления, которая бы учитывала новые условия работы в рыночных отношениях и способствовала усилению конкурентоспособности предприятий и их продукции.

В этой связи многообещающим оказывается применение процессно-ориентированной системы управления.

Первым, кто выдвинул идею процессного подхода, был основатель администра-



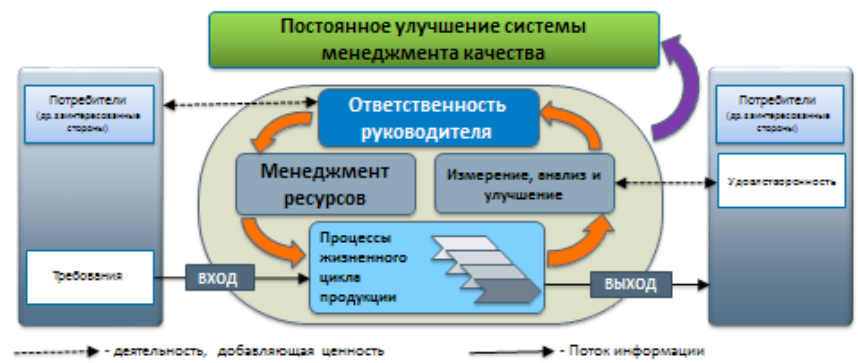


Рис. 3. Модель процессного подхода.

тивной школы управления Анри Файоль. Развивая его теории, процессный подход стал рассматриваться как сумма всех процессов предприятия – планирование, организация, мотивация и контроль.

Основным преимуществом процессного подхода перед другими является тщательно проработанный горизонтальный менеджмент, то есть менеджмент на границах процессов. Процессный подход исходит из того, что виды деятельности, из которых складывается вся работа предприятия, взаимодействуют, и если организовать это взаимодействие, можно получить колоссальный синергетический эффект. Очень важно, что принудительный контроль со стороны руководства стыков процессов при их взаимодействии создает непрерывное управление, как раз это не достигается большинством других подходов. Оценить его в числовом выражении вряд ли получится, ведь не все процессы могут быть выражены через статистику, но целое несводимо к сумме частей – зазор и есть возможная прибыль.

При внедрении управления по процессам следует придерживаться таких основополагающих принципов:

- **Принцип взаимосвязи процессов.** Организация представляет собой сеть процессов. Процессом является любая деятельность, где имеет место выполнение работ. Все процессы организации взаимосвязаны между собой.

- **Принцип востребованности процесса.** Каждый процесс должен иметь цель, а его результаты должны быть востребованы. У результатов процесса должен быть свой потребитель – внутренний или внешний.

- **Принцип документирования процессов.** Деятельность по ходу решения задач необ-

ходимо документировать. Это позволяет стандартизировать действия и получить базу для изменения и дальнейшего совершенствования процесса.

- **Принцип контроля процесса.** Каждый процесс имеет начало и конец, которые определяют границы происходящего. Для любого из них должны быть известны показатели, характеризующие его результаты.

- **Принцип ответственности за процесс.** В выполнении заданного могут быть задействованы различные специалисты и сотрудники, но отвечать за процесс и его результаты должен один человек.

Внедрение этих принципов преследует цель значительно повысить эффективность работы, однако вместе с тем требует и высокой корпоративной культуры. Переход от функционального управления к процессному понуждает сотрудников консолидировать свои усилия, несмотря на то, что они могут относиться к различным подразделениям. От того, насколько удастся наладить совместную работу, будет зависеть «работоспособность» принципов, заложенных в процессный подход.

При процессном подходе к управлению каждая структурная единица обеспечивает выполнение бизнес-процессов, в которых она участвует. Обязанности, область ответственности, критерии успешной деятельности для каждой структурной единицы сформулированы предметно и имеют смысл лишь в контексте реального бизнес-процесса.

Сотрудник отвечает не только за свои функции, но и за те бизнес-процессы, в которых он задействован. Функции и результаты деятельности параллельных структурных единиц, которые участвуют в тех же бизнес-процессах, что и он, для





Рис. 4. Ключевые элементы процессного подхода.

него важны. Возникает взаимная ответственность за исход бизнес-процесса между всеми его участниками.

При правильном внедрении процессного подхода организация будет взаимодействовать как со структурными единицами, так и с внешней средой. Процессный подход ориентирован на конечный продукт, а также заинтересованность всей компании в повышении эффективности деятельности.

За счёт того, что процессный подход создает горизонтальные связи в работе организации, он позволяет получить ряд преимуществ в сравнении с функциональным подходом.

У каждого процесса должны быть поставщики и потребители. Поставщики обеспечивают входные элементы процесса, а потребители заинтересованы в получении выходных элементов. Могут быть как внешние, так и внутренние поставщики и потребители. Если нет поставщиков, то процесс не будет выполнен. Если нет потребителей, то процесс не будет востребован.

Показатели процесса нужны для получения информации о его состоянии и принятии соответствующих управленческих решений. Показатели процесса — это набор количественных или качественных параметров, характеризующих его этапы, звенья и результат (выход).

Рассматривая процесс перевозки железнодорожным транспортом, рассчитывают и соответствующие показатели каждого его элемента — как качественные, так и количественные, будь то эксплуатационные: скорость доставки грузов, срок, пропускная и провозная способность участков, количество погруженных и выгруженных вагонов, принятых и сданных груженых

и порожних вагонов и другие, или показатели вагонного и локомотивного парков: оборот вагона, локомотива, среднесуточный пробег вагона, локомотива, производительность вагона, локомотива и т.д.

Помимо ранее названных позиций, преимуществами процессного подхода являются:

- координация действий различных подразделений в рамках процесса;
- ориентация на результат процесса;
- повышение результативности и эффективности работы организации;
- прозрачность действий по достижению результата;
- повышение предсказуемости результатов;
- выявление возможностей для целенаправленного улучшения процессов;
- устранение барьеров между функциональными подразделениями;
- сокращение лишних вертикальных взаимодействий;
- исключение невостребованных процессов;
- сокращение временных и материальных затрат.

В рамках реализации процессного подхода как основы повышения эффективности системы обслуживания грузовладельцев предлагается следующее:

1. Использование системы территориально-дифференцированных тарифов с целью максимального учёта спроса на перевозки на отдельных направлениях с повышением инфраструктурной составляющей на наиболее загруженных участках (например, назначением в определённые порты) и понижением тарифа на менее загруженных участках и линиях. Подобная дифференциация позволит не только повысить доходность РЖД, но и оптимизи-



ровать инвестиционную политику: будет очевидно, какие направления наиболее доходные и потому нуждаются в первоочередном развитии (строительство вторых путей, двухпутных вставок, усиление перерабатывающих способностей сортировочных станций и т.д.), а какие — не нуждаются в развитии или избыточны. Одним из следствий реализации подобной схемы действий должна стать разработка системы оперативной корректировки плана формирования поездов в зависимости от внутригодовой неравномерности перевозок по различным направлениям и участкам сети.

2. Учитывая, что ОАО «РЖД», с одной стороны, является собственником инфраструктуры и заинтересовано в её развитии, а с другой стороны, нуждается в равномерной и предсказуемой загрузке своей инфраструктуры, необходимо развивать договоры на гарантированные объёмы отгрузки с ключевыми грузоотправителями. Такие договоры должны быть обоюдовыгодными как грузоотправителям, так и железной дороге. Грузоотправителям они гарантируют вывоз определённого объёма продукции в приоритетном порядке даже в условиях дефицита провозных и пропускных способностей, а для ОАО «РЖД» делают более предсказуемым уровень загрузки инфраструктуры и выявляют потребность в её развитии на тех или иных направлениях.

3. Необходимо усилить значение экономических факторов при оценке эффективности подачи вагонов под ту или иную перевозку. Ориентиром может служить нормативная величина доходности за вагон в сутки, формируемая на основе сопоставления с аналогичным параметром, сложившимся на рынке. При этом в случае, если доходность перевозки предполагается выше, то подобная перевозка осуществляется. Если доходность ожидается ниже, то перевозка требует дополнительного детального рассмотрения на предмет повышения её доходности. Инструментами повышения могут стать: использование обратной загрузки вагонов, повышение провозных платежей до уровня нормативной величины доходности за вагон в сутки, возможность минимизации других издержек

компании (например, в периоды избытка подвижного состава определённого рода перевозка груза с доходностью ниже нормативной может быть предпочтительнее отстоя вагонов на соответствующих станциях).

4. Заключение договоров с другими собственниками вагонов о взаимной возможности использования парка друг друга на паритетных началах при разного рода встречных пробегах или на направлениях возврата порожнего подвижного состава.

Подводя итоги, отметим, что в условиях развивающегося рынка и здоровой конкуренции целесообразней выглядит процессный подход к управлению грузовым вагонным парком. Важными узловыми моментами, которым преимущественно уделяется внимание при внедрении процессного подхода, являются: понимание и выполнение предписанных требований; необходимость оценки процессов с точки зрения добавленной ценности; рассмотрение результатов выполнения процессов; эффективность и постоянное улучшение процессов. Основные его достоинства — прозрачность, ориентированность всего предприятия на положительный результат и гибкость системы управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянович И. В., Леонтьев Р. Г. Принципы регионального управления качеством на железнодорожном транспорте // Вестник ТОГУ. — 2009. — № 4. — С. 151–158.
2. ГОСТ Р ИСО 9001:2008 Система менеджмента качества. Требования. — М., 2008.
3. Лапидус Б. М. ОАО «РЖД» создает свою корпоративную систему управления качеством // Стандарты и качество. — 2007. — № 11. — С. 24–27.
4. Шеремет Н. М., Орлов В. Н. Актуальные вопросы управления качеством в ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. — 2007. — № 4. — С. 72–75.
5. Елисеев С. Ю., Котляренко А. Ф., Куренков П. В. К типологии логистических центров // Логистика. — 2003. — № 3. — С. 8–10.
6. Куренков П. В., Нехаев М. А. Задачи ситуационно-процессного управления сортировочной станцией // Железнодорожный транспорт. — 2012. — № 4. — С. 29–31.
7. Куренков П. В., Нехаев М. А. Комплекс задач ситуационно-процессного управления работой сортировочной станции // Вестник транспорта. — 2012. — № 2. — С. 34–39.
8. Елисеев С. Ю., Шатохин А. А. Как сократить простои грузовых вагонов в ожидании перегрузки? // Мир транспорта. — 2016. — № 3. — С. 166–175. ●

Координаты авторов: **Елисеев С. Ю.** — selis56@mail.ru, **Кулиева Е. С.** — +7 (495) 649–19–15.

Статья поступила в редакцию 04.04.2017, принята к публикации 30.04.2017.

# PROCESS APPROACH AS A BASIS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF FREIGHT OWNERS' SERVICING

*Eliseev, Sergey Yu., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
Kulieva, Elena S., Russian Open Transport Academy of MIIT, Moscow, Russia.*

## ABSTRACT

The article raises the question of creating a freight transportation management system that takes into account the working conditions in the market environment and ensures the quality and efficiency of freight owners' service in railway transport. From the whole set of options

considered the use of process-oriented operating system of freight cars operation is considered as the most promising direction by the authors. Advantages of this approach are shown in sufficient detail and practical recommendations of organizational and technological and methodical nature are provided.

**Keywords:** railway, freight car, freight owners' service quality, management, transportation, efficiency, functional approach, process approach, model, parameters.

**Background.** The development of competition in the field of operating freight cars and the rapid growth in the number of their owners led to the transition from management on the principle of a «single fleet» to the independent construction of logistics chains by private operators. Today, a car of the owner, with which a contract for services has been concluded, is being delivered for loading, but not the nearest car. This leads to deterioration in the quality and efficiency of the use of freight cars. The worsening of the operating parameters of the car fleet required an increase in its size, since a larger fleet of cars is needed to export the same volume of cargo delivered for transportation.

the railway infrastructure will be difficult, and the transportation process will not be provided in full and the required time.

**Objective.** The objective of the authors is to consider process approach as a basis for increasing the efficiency in the servicing of freight owners.

At the same time, for JSC Russian Railways the operational indicators are still the most important, as in the case of planned economy. Whereas for the operator the optimization criterion is the profitability of a car per unit of time, it is not at all concerned with performance indicators (Pic. 2).

**Methods.** The authors use general scientific methods, graph construction, economic evaluation, comparative analysis.

It turns out, on the one hand, an increase in the number of freight cars, an increase in empty run and turnover of the car makes the problem of improving the management of the fleet of freight cars especially urgent. But, on the other hand, there are no uniform criteria for effectiveness.

**Results.** Currently, more than 1800 owners carry out services to provide rolling stock for transportation, most of which have from several units to several hundred freight cars.

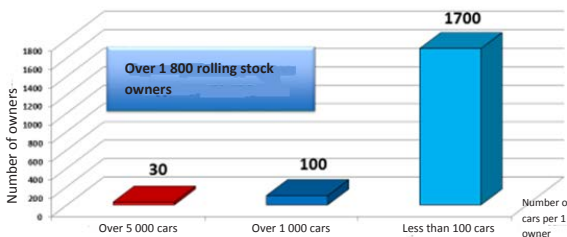
Efficiency and quality of managerial work are determined primarily by the reasonableness of the methodology for solving problems, i.e. approaches, principles, methods.

The increase in the number of cars on the network creates an additional burden on the railway infrastructure, leading to a decrease in the speed of trains and a slowdown in the movement of goods. With the total value of the fleet of freight cars of Russian ownership in more than 1200 thousand units, the number of «extra cars» exceeding the capabilities of the infrastructure for efficient operation of the fleet is estimated by experts as 250 thousand units.

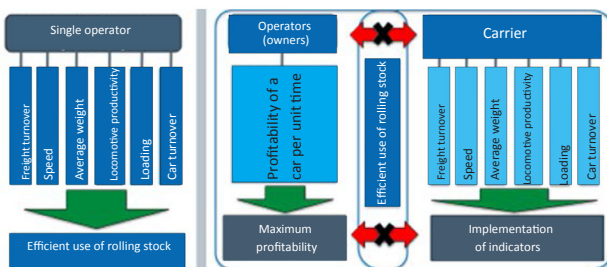
At least 13 scientific approaches are known:

- complex;
- integration;
- marketing;
- functional;
- dynamic;
- reproductive;
- process;
- normative;
- quantitative;
- administrative;
- behavioral;
- situational;
- system.

Maintaining this trend can lead to the receipt of such a number of cars on the network, with which traffic on



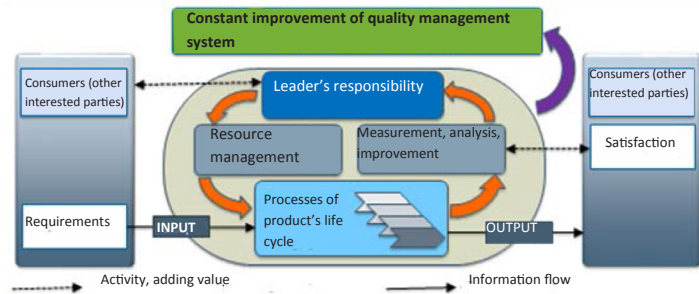
**Pic. 1 Structure of owners of freight car fleet.**



**Pic. 2. Lack of interest in operating indicators of operators (owners) of rolling stock.**



**Pic. 3. Process approach model.**



In fact, today the management of the fleet of freight cars uses a functional approach, i.e. the need is considered as a set of functions that need to be met for its satisfaction.

The leaders have an urgent need to create a management system that takes into account the new working conditions in market relations and helps to strengthen the competitiveness of enterprises and their products.

In this regard, the application of a process-oriented management system is promising.

The first person who put forward the idea of a process approach was the founder of the administrative school of management Anry Fayol. Developing his theories, the process approach began to be considered as the sum of all enterprise processes – planning, organization, motivation and control.

The main advantage of the process approach as compared with the others is carefully developed horizontal management, that is, management at the process boundaries. The process approach proceeds from the fact that the types of activities from which the whole work of the enterprise develops interact, and if this interaction is organized, a colossal synergetic effect can be obtained. It is very important that the compulsory control by the management of joints of processes during their interaction creates continuous management, just this is not achieved by most other approaches. It is unlikely to be evaluated in numerical terms, because not all processes can be expressed through statistics, but the whole is irreducible to the sum of parts – the gap is a possible profit.

When implementing the process management, one should adhere to such fundamental principles:

- **Principle of process interconnection.** The organization is a network of processes. The process is any activity where work is performed. All organizational processes are interrelated.

- **Principle of demand for the process.** Each process must have a goal, and its results should be in demand. The process results must have their own consumer – internal or external.

- **Principle of documenting processes.** Activities in the course of solving problems must be documented. This allows to standardize actions and get a base for changing and further improving the process.

- **Principle of process control.** Each process has a beginning and an end, which determine the boundaries of what is happening. For any of them, the indicators characterizing its results should be known.

- **Principle of responsibility for the process.** In the performance of the task, various specialists and employees may be involved, but one person should be responsible for the process and its results.

The implementation of these principles is aimed at significantly improving the efficiency of work, but at the same time requires a high corporate culture. The transition from functional management to process management forces employees to consolidate their efforts, despite the fact that they can relate to different divisions. On how far it will be possible to establish joint work, the «working capacity» of

the principles embodied in the process approach will depend.

With the process approach to management, each structural unit ensures the execution of business processes in which it participates. Obligations, areas of responsibility, criteria for successful activity for each structural unit are formulated objectively and have meaning only in the context of a real business process.

The employee is responsible not only for his functions, but also for those business processes in which he is involved. The functions and results of the activity of parallel structural units that participate in the same business processes as the employee, are important to him. There is a mutual responsibility for the outcome of the business process between all its participants.

With the correct implementation of the process approach, the organization will interact with both structural units and with the external environment. The process approach is focused on the final product, as well as the interest of the whole company in increasing the efficiency of the activity.

Due to the fact that the process approach creates horizontal links in the work of the organization, it allows to obtain a number of advantages in comparison with the functional approach.

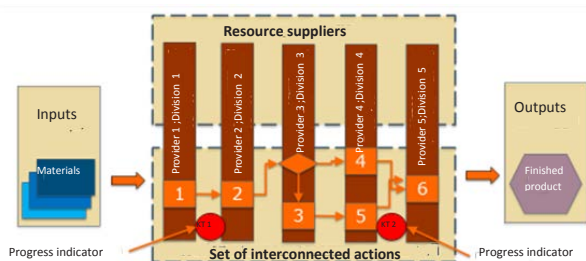
Each process must have suppliers and consumers. Suppliers provide the input elements of the process, and consumers are interested in obtaining output elements. There may be both external and internal suppliers and consumers. If there are no suppliers, the process will not be performed. If there are no consumers, then the process will not be in demand.

Process indicators are needed to obtain information about its status and make appropriate management decisions. Process indicators are a set of quantitative or qualitative parameters characterizing its stages, links and result (output).

Considering the process of transportation by rail, the relevant indicators of each of its elements are calculated – both qualitative and quantitative, whether operational: speed of delivery of goods, time, throughput and carrying capacity of the sections, number of loaded and unloaded cars, accepted and handed over loaded and empty cars and others, or indicators of car and locomotive fleets: turnover of a car, a locomotive, average daily run of a car, a locomotive, performance of a car, a locomotive, etc.

In addition to the previously mentioned positions, the advantages of the process approach are:

- coordination of activities of various units within the process;
- orientation to the result of the process;
- increase in effectiveness and efficiency of the organization;
- transparency of actions to achieve the result;
- increase in predictability of results;
- identification of opportunities for targeted process improvement;
- removal of barriers between functional units;



**Pic. 4. Key elements of the process approach.**

- reduction of unnecessary vertical interactions;
- elimination of unclaimed processes;
- reduction of time and material costs.

As part of implementation of the process approach as the basis for increasing the efficiency of the system of servicing cargo owners, the following is proposed:

1. Use of a system of geographically differentiated tariffs in order to maximize the demand for transportation in certain directions, with an increase in the infrastructure component in the most loaded areas (for example, by assigning to certain ports) and lowering the tariff on less loaded sections and lines. Such a differentiation will allow not only to increase the profitability of Russian Railways, but also to optimize the investment policy: it will be clear which directions are most profitable and therefore need priority development (construction of second tracks, double-track inserts, enhancement of processing facilities of marshalling yards, etc.) and which ones do not need development or are redundant. One of the consequences of implementing such a scheme of actions should be the development of a system for promptly adjusting the plan for formation of trains depending on the intra-annual unevenness of traffic in various directions and areas of the network.

2. Given that JSC Russian Railways, on the one hand, is the owner of the infrastructure and is interested in its development, and on the other hand, requires a uniform and predictable loading of its infrastructure, it is necessary to develop contracts for guaranteed shipment volumes with key shippers. Such contracts should be mutually beneficial to both shippers and railways. For shippers, they guarantee the export of a certain volume of products in priority order, even in conditions of shortage of throughput and carrying capacity, and for JSC Russian Railways make the level of loading of infrastructure more predictable and identify the need for its development in various directions.

3. It is necessary to strengthen the importance of economic factors in assessing the efficiency of delivering cars for a particular transportation. The benchmark can be the normative value of profitability of a car per day, formed on the basis of comparison with a similar parameter that has developed in the market. In this case, if the profitability of transportation is supposed to be higher, than such transportation is carried out. If the yield is expected to be lower, then transportation requires additional detailed consideration to improve its profitability. The tools of increase can be: use of reverse loading of cars, increase of freight charges to the level of normative amount of profit of a car per day, the possibility of minimizing other costs of the company (for example, during periods of excess of rolling stock of a certain type, the carriage of cargo with yield below the regulatory one

may be preferable to the idling of cars at corresponding stations).

4. Conclusion of agreements with other owners of cars on the mutual possibility of using each other's fleet on an equal footing with different kinds of counter-runs or on the directions of returning empty rolling stock.

**Summarizing**, we note that in the conditions of the developing market and healthy competition, the process approach to the management of freight car fleets is more expedient. Important nodal points, which are mainly given attention in the implementation of the process approach, are: understanding and implementation of prescribed requirements; the need to evaluate processes in terms of added value; consideration of the results of the process; efficiency and continuous improvement of processes. Its main advantages are transparency, orientation of the whole enterprise to a positive result and flexibility of the management system.

## REFERENCES

1. Demyanovich, I. V., Leontiev, R. G. Principles of regional quality management in railway transport [*Principy regional'nogo upravleniya kachestvom na zheleznodorozhnom transporte*]. *Vestnik TOGU*, 2009, Iss. 4, pp. 151–158.
2. GOST R ISO 9001: 2008 Quality management system. Requirements [GOST R ISO 9001:2008 *Sistema menedzhmenta kachestva. Trebovaniya*]. Moscow, 2008.
3. Lapidus, B. M. JSC Russian Railways creates its corporate quality management system [OAO «RZhD» sozdaet svoju korporativnuju sistemu upravleniya kachestvom]. *Standarty i kachestvo*, 2007, Iss. 11, pp. 24–27.
4. Sheremet, N. M., Orlov, V. N. Topical issues of quality management in JSC Russian Railways [Aktual'nye voprosy upravleniya kachestvom v OAO «RZhD»]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2007, Iss. 4, pp. 72–75.
5. Eliseev, S. Yu., Kotlyarenko, A. F., Kurenkov, P. V. To the typology of logistics centers [K tipologii logisticheskikh centrov]. *Logistika*, 2003, Iss. 3, pp. 8–10.
6. Kurenkov, P. V., Nekhaev, M. A. Tasks of situational-process control of a marshalling yard [Zadachi situacionno-processnogo upravleniya sortirovochnoj stanciej]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2012, Iss. 4, pp. 29–31.
7. Kurenkov, P. V., Nekhaev, M. A. Complex of tasks of situational and process control of the marshalling yard [Kompleks zadach situacionno-processnogo upravleniya rabotoj sortirovochnoj stancii]. *Vestnik transporta*, 2012, Iss. 2, pp. 34–39.
8. Eliseev, S. Yu., Shatokhin, A. A. How to Reduce Downtime of Freight Cars Awaiting Loading? *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 3, pp. 166–175.

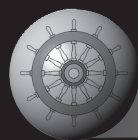
Information about the authors:

**Eliseev, Sergey Yu.** – D.Sc. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, selis56@mail.ru.

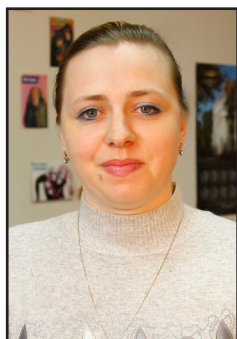
**Kulieva, Elena S.** – senior lecturer of the department of Operation of railways of Russian Open Transport Academy of MIIT, Moscow, Russia, +7 (495) 649–19–15.

Article received 04.04.2017, accepted 30.04.2017.





# Транспортная инфраструктура Мьянмы: векторы развития



Анна СИНИЦЫНА  
Anna S. SINITSYNA

Сергей ДЭЛЬЗ  
Sergey V. DELZ



Ко Ко ЛВИН  
Ko Ko LWIN

*Синицына Анна Сергеевна* – кандидат технических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.  
*Дэльз Сергей Валерьевич* – кандидат технических наук, эксперт по функционированию транспортных систем, Москва, Россия.  
*Ко Ко Лвин* – аспирант МИИТ, Таунг Джи, Республика Союз Мьянма.

## Myanmar's Transport Infrastructure: Development Vectors

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 162)

**Авторы оценивают текущее состояние и проблемы транспортной инфраструктуры Мьянмы. Определён перечень задач, решение которых позволит существенно улучшить её состояние, добиться включения транспортной системы страны в международную транспортную сеть и значительно улучшить товарооборот с КНР и странами Юго-Восточной Азии. Названы приоритетные мероприятия в частном и государственном секторах экономики, выполнение которых приведет к развитию существующих и формированию новых торговых маршрутов.**

*Ключевые слова:* транспортная система, инфраструктура, Мьянма, пути сообщения, транспортные технологии, сухие порты, логистические центры.

**Ф**ормирование рыночных отношений, потребности в расширении международного товарооборота требуют динамичного и сбалансированного развития всех звеньев национальной экономики Мьянмы, включая транспортную инфраструктуру. Сегодня транспортная инфраструктура занимает одно из приоритетных мест и является основным фактором, определяющим перспективы страны и вхождение ее регионов в мировое хозяйство. Вместе с тем остается неоспоримым и тот факт, что в течение последних лет транспортная инфраструктура Мьянмы характеризуется физическим и моральным износом, низким уровнем материально-технической базы, диспропорциями и неравномерностью размещения объектов, ограниченностью выделяемых инвестиций, отсутствием полноценных рыночных механизмов функционирования и управления. И надо добиваться, чтобы все ее звенья гарантировали необходимые условия для развития основных отраслей производства и максимально эффективного

использования экономического потенциала, которым республика обладает.

Транспортная инфраструктура — это огромный комплекс служб и объектов, включающий все виды транспорта, обслуживающие структуры и подразделения. Они совершают быструю и свободную перевозку грузов и пассажиров. Помимо того, транспортный комплекс играет немаловажную роль в обеспечении торгово-экономической сферы сырьем, материалами, готовой продукцией и товарами, а также рабочей силой [1].

В качестве объектов транспортной инфраструктуры могут рассматриваться:

- все существующие и запланированные пути сообщения (улично-дорожная, внеуличная и междугородная транспортная сеть);
- транспортные единицы;
- технические сооружения и склады (парки по ремонту, депо, грузовые терминалы, вспомогательное энергетическое хозяйство);
- вокзалы и станции для перевозки пассажиров и грузов;
- агентства, отвечающие за продажу билетов и организацию перевозок;
- логистические центры;
- инженерные сети и коммуникации на инфраструктурных объектах.

Свою роль в осуществлении межрегиональных грузовых и пассажирских перевозок для связи центральной Мьянмы с северо-западными, северными и восточными районами, а также для реализации межрегиональных сообщений играет каждый вид транспорта — железнодорожный, автомобильный, авиационный и водный.

Наиболее протяженные автомобильные дороги в Мьянме проходят с севера на юг страны. Из них самой значимой для приграничной торговли между Китаем и Мьянмой является магистраль Мандалай—Лашио, протяженностью в 262 км. Но необходимо отметить, что большинство дорог в очень плохом или даже непригодном для эксплуатации состоянии, за исключением нескольких трасс, которые имеют достаточно высокое качество [2]. Большая часть трафика в стране происходит вдоль коридоров Янгон—Мандалай—Мусе/Руйли—Куньмин. Шоссе между

пунктами Куньмин и Руйли на границе с КНР находится на заключительных этапах строительства. При этом на мьянманской стороне дорожная инфраструктура в целом гораздо хуже.

Основными проблемами дорожной инфраструктуры остаются:

- недостаточные возможности коридора для обработки существующего объема трафика;
- непригодное для нормальной эксплуатации состояние дорог;
- существующие ограничения по весу для прохождения китайских грузовиков;
- незавершенная реконструкция шоссе на границе с КНР.

Железные дороги Мьянмы (MR) являются государственными. Общая протяженность сети еще недавно составляла 5403 км, при ширине колеи 1000 мм [2].

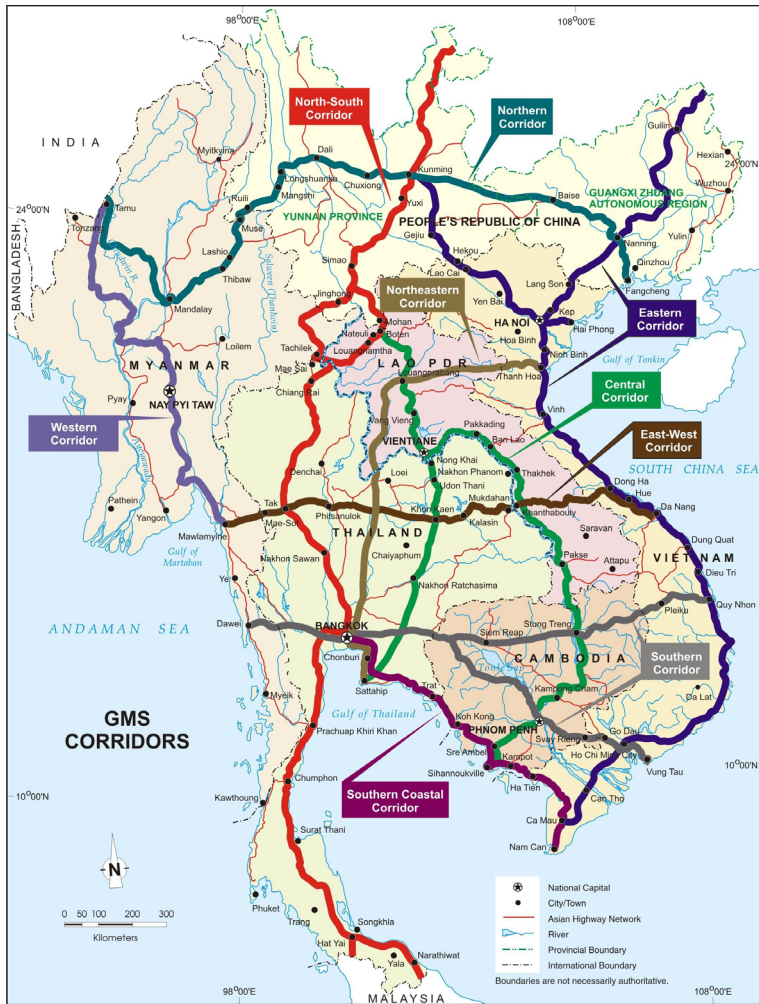
Качество железнодорожной инфраструктуры также находится в критическом состоянии. Максимальная скорость движения грузовых поездов — всего 24 км/ч [3]. Управление железных дорог прилагает большие усилия для строительства новых линий во всех штатах и регионах страны. В текущее время протяженность рельсовых дорог возросла до 6492,24 км, а количество станций — до 793 [4].

Проблемы железнодорожной инфраструктуры:

- неэффективная организационная структура системы железнодорожного транспорта;
- малоэффективная структура управления процессами перевозок;
- отсутствие современного менеджмента логистических перевозок;
- отсутствие современной системы автоматической сигнализации для контроля движения поездов;
- низкий уровень подготовки персонала, задействованного на промежуточном уровне управленческих структур и базовом уровне.

Системной проблемой транспортной отрасли следует считать несоответствие между низким уровнем ее развития, эффективностью, качеством функционирования и возрастающим спросом экономики и общества на транспортные услуги. Это проявляется в следующем:





1) состояние опорной транспортной сети не соответствует существующим и перспективным грузопотокам и пассажиропотокам;

2) транспортные технологии не отвечают современным требованиям эффективного функционирования транспорта в условиях рынка, препятствуют удовлетворению растущего спроса на качественные транспортные услуги, снижению себестоимости перевозок, оптимальному использованию транспортной инфраструктуры;

3) наблюдается существенное отставание темпов развития дорожной сети от темпов автомобилизации общества: около трети федеральных автомобильных дорог работают в режиме перегрузки, особенно на подходах к крупным городам;

4) показатели безопасности транспортного процесса, в первую очередь, дорож-

ного движения, не соответствуют мировому уровню;

5) значительно обострились требования безопасности и антитеррористической устойчивости транспортной системы.

**Для развития транспортной инфраструктуры необходимо, на наш взгляд, решить ряд первостепенных задач и вопросов:**

- сформировать целостное транспортное пространство страны за счет организации эффективной модернизации инфраструктурных звеньев;
- организовать качественную и доступную транспортно-логистическую систему грузовых перевозок;
- стандартизировать качество транспортных услуг и обеспечить их доступность для населения;
- реализовать транзитные возможности страны, интегрироваться в мировое транспортное пространство;



- повысить уровень безопасности транспортной отрасли;
- разработать план реконструкции основных региональных автомобильных дорог в целях совершенствования внутренних сообщений, повышения плотности дорожной сети, усиления связей с сетью автомобильных дорог соседних областей;
- обеспечить проведение мероприятий, направленных на соблюдение и совершенствование технологии перевозочного процесса, формирование оптимальной маршрутной сети и расписаний движения транспортных средств;
- сформировать совокупный набор предложений транспортных услуг, достаточный для удовлетворения потребностей населения;

• обеспечить освоение инновационных технологий строительства, реконструкции и содержания транспортной инфраструктуры.

В качестве рекомендаций предлагаются:

- строительство и модернизация объектов транспортной инфраструктуры, реконструкция и ремонт участков государственных, региональных и межмуниципальных, местных автомобильных дорог, систем железнодорожного, водного, воздушного транспорта, комплексных инженерных сооружений;
- строительство «сухих портов» и логистических центров, а также крупных транспортно-логистических центров международного уровня для обслуживания транзитных грузопотоков;
- развитие рынка транспортно-логистических услуг, создание условий для организации прямых смешанных перевозок грузов, интермодальных перевозок по национальным и международным транспортным коридорам;
- реконструкция складских комплексов, строительство и модернизация контейнерных площадок на железнодорожных станциях (Мандалай, Янгон, Лашо, Паго) с целью расширения комплексных транспортных услуг;
- привлечение к сотрудничеству крупных транспортно-логистических компаний международного уровня;
- инженерная подготовка площадок под строительство логистических центров (магистральные сети);

- подготовка специалистов в сфере транспорта и логистики в действующих на территории региона учебных заведениях.

## ВЫВОДЫ

Анализ современного состояния и проблем транспортной инфраструктуры Мьянмы показывает, что нужна коренная реконструкция и модернизация всей транспортной системы, включая авиационный, железнодорожный, автомобильный и морской (водный) транспорт.

Создание эффективной транспортной инфраструктуры позволит обеспечить территориальную целостность государства, связанность регионов республики в единое экономическое и оборонное пространство, ускорить развитие мультимодальных перевозок, а также выходы к труднодоступным сырьевым базам Китая, Индии, Таиланда и Юго-Восточной Азии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем: Учеб. пособие. – СПб., 2010. – 214 с.
2. Asian Development Bank – Myanmar: Transport sector initial assessment. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2012h.32. [Электронный ресурс]: <http://www.gms-cbta.org/uploads/resources/15/attachment/transport-assessment-Myanmar.pdf>. Доступ 31.10.2016.
3. Malik J. Mohan. Sino-Indian Rivalry in Myanmar: Implications for Regional Security, Contemporary Southeast Asia, 16:2 (September 2012), p. 61.
4. List of railway stations in Myanmar. [Электронный ресурс]: [https://yandex.ru/search/?text=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FList\\_of\\_railway\\_stations\\_in\\_myanmar.com&lr=213&clid=1790244&win=31](https://yandex.ru/search/?text=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FList_of_railway_stations_in_myanmar.com&lr=213&clid=1790244&win=31). Доступ 12.01.2017.
5. Шишкин Д. Г., Шишкина Л. Н. Логистика на транспорте. – М.: Маршрут, 2011. – 217 с.
6. Эглит Я. Я. Транспортные системы доставки грузов. – СПб.: Феникс, 2012. – 300 с.
7. The State of Local Governance: Trends in Yangon – UNDP Myanmar 2015. [Электронный ресурс]: [http://www.mm.undp.org/content/dam/myanmar/docs/Publications/PovRedu/Local%20Governance%20Mapping/UNDP\\_MM%20State%20of%20Local%20Governance%20-%20Synthesis%20Report.pdf](http://www.mm.undp.org/content/dam/myanmar/docs/Publications/PovRedu/Local%20Governance%20Mapping/UNDP_MM%20State%20of%20Local%20Governance%20-%20Synthesis%20Report.pdf). Доступ 31.10.2016.
8. Myanmar Logistics System: Aung Khin Myint, Myanmar, 2014. [Электронный ресурс]: [http://www.jterc.or.jp/koku/koku\\_semina/pdf/140307\\_presentation-04.pdf](http://www.jterc.or.jp/koku/koku_semina/pdf/140307_presentation-04.pdf). Доступ 31.10.2016.
9. Myanmar (Burma). [Электронный ресурс]: <http://ec.europa.eu/trade/policy/countries-and-regions/countries/myanmar>. Доступ 31.10.2016.

Координаты авторов: **Синицына А. С.** – acc-igkr@mail.ru, **Дэльз С. В.** – daels1@mail.ru, **Ко Ко Лвин** – kokolwin50@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 31.10.2016, принята к публикации 12.01.2017.



## MYANMAR'S TRANSPORT INFRASTRUCTURE: DEVELOPMENT VECTORS

**Sinitsyna, Anna S.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

**Delz, Sergey V.**, expert on the functioning of transport systems, Moscow, Russia.

**Ko Ko Lwin**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, Taung Gee, Republic of the Union of Myanmar.

### ABSTRACT

The authors assess the current state and problems of Myanmar's transport infrastructure. A list of tasks has been determined, the solution of which will significantly improve its condition, help to achieve inclusion of the country's transport system

in the international transport network and significantly improve trade turnover with China and countries of Southeast Asia. Priority actions in private and public sectors of the economy are named, the implementation of which will lead to development of existing and formation of new trade routes.

**Keywords:** transport system, infrastructure, Myanmar, communication routes, transport technologies, dry ports, logistics centers.

**Background.** The formation of market relations, the need to expand international trade turnover requires a dynamic and balanced development of all segments of the national economy of Myanmar, including the transport infrastructure. Today, transport infrastructure occupies one of the priority places and is the main factor that determines the country's prospects and the entry of its regions into the world economy. At the same time, it remains indisputable that in recent years the transport infrastructure of Myanmar has been characterized by physical and moral wear and tear, a low level of material and technical base, disproportions and uneven location of facilities, limited investment, and lack of full-fledged market mechanisms for operation and management. And it is necessary to ensure that all its components guarantee the necessary conditions for development of the main industries and maximize the effective use of the economic potential that the republic possesses.

**Objective.** The objective of the authors is to consider development vectors with regard to Myanmar's transport infrastructure.

**Methods.** The authors use general scientific methods, economic evaluation, comparative analysis, scientific description.

**Results.** Transport infrastructure is a huge complex of services and facilities, including all types of transport, serving structures and units. They perform fast and free transportation of goods and passengers. In addition, the transport complex plays an important role in providing the trade and economic sphere with raw materials, materials, finished products and goods, as well as labor force [1].

As objects of transport infrastructure can be considered:

- all existing and planned communication routes (street-road, non-surface and long-distance transport network);
- transport units;
- technical facilities and warehouses (repair parks, depots, cargo terminals, auxiliary energy facilities);
- railway terminals and stations for transportation of passengers and cargo;
- agencies responsible for the sale of tickets and organization of transportation;
- logistics centers;
- engineering networks and communications on infrastructure facilities.

Each type of transport – rail, road, air and water – plays its role in the implementation of interregional freight and passenger transportation for the connection of central Myanmar with the north-

western, northern and eastern regions, as well as for the implementation of interregional communications.

The longest roads in Myanmar are from the north to the south of the country. Of these, the most important for border trade between China and Myanmar is the Mandalay–Lashio highway, a length of which is 262 km. But it should be noted that most of the roads are in very poor or even unusable condition, with the exception of several roads that are of sufficiently high quality [2]. Most of the traffic in the country occurs along the corridors of Yangon–Mandalay–Muse / Ruili–Kunming. The highway between the points Kunming and Ruili on the border with China is at the final stages of construction. At the same time, on the Myanmar side, the road infrastructure as a whole is much worse.

The main problems of the road infrastructure remain:

- insufficient corridor's capacity to handle the existing traffic volume;
- unusable road condition;
- existing weight limits for the passage of Chinese trucks;
- incomplete reconstruction of highway infrastructure on the border with China.

The railways of Myanmar (MR) are public. The total length of the network was recently 5403 km, with a track width of 1000 mm [2].

The quality of the railway infrastructure is also in critical condition. The maximum speed of freight trains is only 24 km/h [3]. The Railway Administration makes great efforts to build new lines in all states and regions of the country. Currently, the length of railways has increased to 6492,24 km, and the number of stations – up to 793 [4].

Problems of railway infrastructure:

- inefficient organizational structure of the railway transport system;
- ineffective structure of traffic management;
- lack of modern logistics management;
- lack of a modern automatic signaling system to monitor the movement of trains;
- a low level of training of personnel involved at the intermediate level of management structures and the basic level.

The system problem of the transport industry should be considered a discrepancy between the low level of its development, efficiency, the quality of functioning and the growing demand of the economy and society for transport services. This is manifested in the following:

- 1) the state of the backbone transport network does not correspond to existing and prospective cargo flows and passenger flows;

2) transport technologies do not meet modern requirements of efficient functioning of transport in the market conditions; they impede meeting the growing demand for qualitative transport services, reduction of the cost of transportation, and optimal use of transport infrastructure;

3) there is a significant lag in the pace of development of the road network from the pace of motorization of the society; about a third of federal highways operate in an overload mode, especially on approaches to large cities;

4) safety indicators of the transport process, primarily road traffic, do not correspond to the world level;

5) the requirements of security and anti-terrorist stability of the transport system have significantly worsened.

In order to develop the transport infrastructure, in our opinion, it is necessary to solve a number of primary tasks and issues:

- to form an integral transport space of the country through the organization of effective modernization of infrastructure links;

- to organize a high-quality and affordable transport and logistics system for freight transportation;

- to standardize the quality of transport services and ensure their accessibility to the public;

- to realize the transit potential of the country, to integrate into the world transport space;

- to improve the safety of the transport industry;

- to develop a plan for reconstruction of the main regional highways in order to improve internal communications, increase the density of the road network, strengthen ties with the road network of neighboring regions;

- to ensure the implementation of measures aimed at observing and improving the technology of the transportation process, formation of an optimal route network and timetables for the movement of vehicles;

- to form a cumulative set of offers of transport services, sufficient to meet the needs of the population;

- to ensure the development of innovative technologies for construction, reconstruction and maintenance of transport infrastructure.

As recommendations, the following is proposed:

- construction and modernization of transport infrastructure facilities, reconstruction and repair of sections of state, regional and intermunicipal, local highways, rail, water, air transport systems, integrated engineering structures;

- construction of dry ports and logistics centers, as well as large international transport and logistics centers for servicing transit cargo flows;

- development of the transport and logistics services market, creation of conditions for organization of direct multimodal transportation of goods, intermodal transportation along national and international transport corridors;

- reconstruction of warehouse complexes, construction and modernization of container sites at

railway stations (Mandalay, Yangon, Lasho, Pago) in order to expand complex transport services;

- attracting large international transport and logistics companies to the cooperation;

- engineering preparation of sites for construction of logistics centers (mainline networks);

- training of specialists in the field of transport and logistics in the educational institutions operating in the region.

**Conclusions.** An analysis of the current state and problems of Myanmar's transport infrastructure shows that radical reconstruction and modernization of the entire transport system, including aviation, railway, road and sea (water) transport is needed.

The creation of an efficient transport infrastructure will ensure the territorial integrity of the state, the connection of the regions of the republic in a single economic and defense space, accelerate the development of multimodal transportation, and also the exits to hard-to-reach raw materials bases in China, India, Thailand and South-East Asia.

## REFERENCES

1. Gorev, A. E. Fundamentals of the theory of transport systems: educational guide [Osnovy teorii transportnykh sistem: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, 2010, 214 p.

2. Asian Development Bank – Myanmar: Transport sector initial assessment. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2012h.32. [Electronic resource]: <http://www.gms-cbta.org/uploads/resources/15/attachment/transport-assessment-Myanmar.pdf>. Last accessed 31.10.2016.

3. Malik J. Mohan. Sino-Indian Rivalry in Myanmar: Implications for Regional Security. Contemporary Southeast Asia, 16:2 (September 2012), p. 61.

4. List of railway stations in Myanmar. [Electronic resource]: [https://yandex.ru/search/?text=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FList\\_of\\_railway\\_stations\\_in\\_myanmar.com&lr=213&clid=1790244&win=31](https://yandex.ru/search/?text=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FList_of_railway_stations_in_myanmar.com&lr=213&clid=1790244&win=31). Last accessed 12.01.2017.

5. Shishkin, D. G., Shishkina, L. N. Logistics in transport [Logistika na transporte]. Moscow, Marshrut publ., 2011, 217 p.

6. Eglit, Ya. Ya. Transport systems of cargo delivery [Transportnye sistemy dostavki gruzov]. St. Petersburg, Phoenix publ., 2012, 300 p.

7. The State of Local Governance: Trends in Yangon – UNDP Myanmar 2015. [Electronic resource]: [http://www.mm.undp.org/content/dam/myanmar/docs/Publications/PovRedu/Local%20Governance%20Mapping/UNDP\\_MM%20State%20of%20Local%20Governance%20-%20Synthesis%20Report.pdf](http://www.mm.undp.org/content/dam/myanmar/docs/Publications/PovRedu/Local%20Governance%20Mapping/UNDP_MM%20State%20of%20Local%20Governance%20-%20Synthesis%20Report.pdf). Last accessed 31.10.2016.

8. Myanmar Logistics System: Aung Khin Myint, Myanmar, 2014. [Electronic resource]: [http://www.jterc.or.jp/koku/koku\\_semina/pdf/140307\\_presentation-04.pdf](http://www.jterc.or.jp/koku/koku_semina/pdf/140307_presentation-04.pdf). Last accessed 31.10.2016.

9. Myanmar (Burma). [Electronic resource]: <http://ec.europa.eu/trade/policy/countries-and-regions/countries/myanmar>. Last accessed 31.10.2016. ●

Information about the authors:

**Sinitsyna, Anna S.** – Ph.D. (Eng.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, acc-igkr@mail.ru.

**Delz, Sergey V.** – Ph.D. (Eng.), expert on the functioning of transport systems, Moscow, Russia, daels1@mail.ru.

**Ko Ko Lwin** – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Taung Gee, Republic of the Union of Myanmar, kokolwin50@gmail.com.

Article received 31.10.2016, accepted 12.01.2017.





## РАЗВИТИЕ КОНТЕЙНЕРНОГО СООБЩЕНИЯ КИТАЙ – ЕВРОПА

В апреле 2017 года подписано семистороннее соглашение об углублении сотрудничества по организации контейнерных поездов в сообщении Китай–Европа между ОАО «РЖД», «Китайскими железными дорогами», ГО «Белорусская железная дорога», АО «Немецкие железные дороги», АО «Национальная компания «Казахстан темір жолы», АО «Улан-Баторская железная дорога», АО «Польские государственные железные дороги».

По мнению сторон, сотрудничество по организации контейнерных поездов в евроазиатском сообщении будет способствовать дальнейшему увеличению доли железнодорожного транспорта на рынке грузовых перевозок, содействовать укреплению торговых связей, а также сопряжению планов по развитию инфраструктуры.

Согласно документу, планируется совместно наращивать объёмы перевозок, активизировать деятельность по созданию объектов логистической инфраструктуры, совершенствованию организации перевозок, внедрению новейших технологий для сокращения времени в пути следования.

В частности, стороны намерены поддерживать разработку конкурентоспособных сквозных ставок на перевозки грузов в составе кон-

тейнерных поездов в сообщении Китай–Европа в рамках законодательства своих государств и прилагать усилия к созданию единых стандартов обслуживания.

Кроме того, стороны нацелены активно разрабатывать новые транспортно-логистические продукты, содействуя организации перевозок грузов трансграничной электронной торговли, почтовых отправок, а также грузов с температурным режимом (в рефрижераторных контейнерах).

Участники соглашения отметили необходимость организации информационного взаимодействия, включая электронный обмен данными и предварительное электронное информирование о грузах (товарах) и транспортных средствах, перемещаемых через границы, для упрощения контрольных процедур в пунктах пропуска и сокращения времени таможенного оформления.

Для реализации подписанного соглашения будет создана совместная рабочая группа по перевозкам контейнерными поездами в сообщении Китай–Европа.

По материалам пресс-службы ОАО «РЖД» ●

## DEVELOPMENT OF CONTAINER TRANSPORTATION BETWEEN CHINA AND EUROPE

Russian Railways, Chinese Railways, Belarusian Railway, Deutsche Bahn, the National Company Kazakhstan Temir Zholy, Ulaanbataar Railway and Polskie Koleje Państwowe SA (Polish State Railways, Inc.) signed in April 2017 a multilateral agreement to deepen cooperation on the organisation of container trains between China and Europe.

In the opinion of the parties, cooperation on the organisation of container trains across Eurasia will further increase the share of rail transport on the freight transport market, help strengthen trade links, and in addition integrate the plans for infrastructure development.

According to the document, it is planned to increase jointly traffic volumes, intensify efforts to create logistics infrastructure facilities, improve the organisation of transportation and introduce new technologies to reduce travel time.

In particular, the parties intend to support the development of competitive through-rates for freight transportation on container trains between China and Europe within the framework

of their respective countries' national legislation and make efforts to create uniform service standards.

In addition, the parties aim actively to develop new transport and logistics products, facilitate the organisation of the transport of cross-border goods based on electronic commerce, postal items and goods requiring controlled temperatures in refrigerated containers.

The participants of the agreement noted the need to organise cooperation on information, including electronic data exchange and preliminary electronic information on freight goods and vehicles moving across borders, the simplification of control procedures at checkpoints and the reduction of customs clearance time.

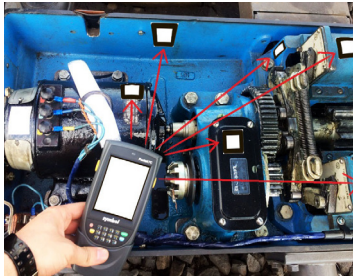
A joint working group on container trains between China and Europe will be set up to implement the signed agreement.

Based on releases of press service of JSC Russian Railways ●

# T

## **ОХРАНА ТРУДА 166**

*Мониторинг «работника на путях» и другие методы контроля.*



## **НАДЕЖНОСТЬ 178**

*Отказы крышек цилиндров.*

## **ЭКОЛОГИЯ 188**

*Модель природопользования: инновационный сценарий.*

## **АВТОМАТИКА 196**

*Защита от помех, вероятность сбоя.*

## **OCCUPATIONAL SAFETY 166**

*Monitoring of a workforce accomplishing track operations and other methods of control.*

## **RELIABILITY 178**

*Failures of cylinder heads.*

## **ECOLOGY 188**

*Innovative scenario of natural resources management.*

## **AUTOMATICS 196**

*Protection against noise, probability of malfunction.*



**БЕЗОПАСНОСТЬ • SAFETY AND SECURITY**





# Модернизация методов безопасного производства работ на железнодорожных путях



Валерий ХОРОШЕВ

Valery V. KHOROSHEV

## Modernization of Methods of Safe Conducting of Operations at Rail Tracks

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 173)

**В статье описываются методы безопасного производства работ на железнодорожном транспорте, в том числе система мониторинга «Работник на путях». Представлены способы контроля технологического процесса при обслуживании устройств железнодорожной инфраструктуры на примере дистанции сигнализации, централизации и блокировки, в частности метод контроля с использованием технологий радиочастотной идентификации RFID. Предложен вариант модификации маркировки приборов и устройств. Представлена статистика состояния охраны труда на полигоне Октябрьской дирекции инфраструктуры.**

**Применение инноваций позволит сократить количество несчастных случаев на производстве, повысит безопасность эксплуатации железных дорог. Помимо этого положительный эффект достигается и в области экологической безопасности.**

Ключевые слова: безопасность производства работ, охрана труда, RFID-технология, техническое обслуживание, железнодорожный транспорт, мониторинг.

*Хорошев Валерий Вячеславович – аспирант кафедры «Компьютерных систем управления в энергетике и биоиндустрии» Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия.*

**Н** и один производственный показатель не может стоять выше безопасности человека. Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации охрана труда определяется как система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные меры [1].

Железнодорожный транспорт является зоной повышенной опасности, причем не только при выполнении работы на путях. Ответственность за соблюдение правил, норм и инструкций по охране труда, обеспечение здоровых и безопасных условий на производстве несут руководители структурных подразделений. За нарушение законодательства по охране труда накладываются санкции и штрафы.

Лица, выполняющие работу на объектах ОАО «РЖД», должны [2]:

– знать о рисках, сопровождающих их деятельность и влияющих на безопасность их жизни и здоровья, а также жизни и здоровья окружающих;

— осознавать личную ответственность за свою жизнь и здоровье, а также за жизнь и здоровье окружающих;

— поддерживать корпоративную культуру безопасности труда;

— побуждать к безопасному поведению своих коллег;

— знать и соблюдать необходимые нормы безопасности, понимать возможные негативные последствия несоблюдения установленных организационно-технических процедур.

На предприятиях проводятся различные мероприятия по поддержанию культуры в области охраны труда. Однако далеко не всегда она находится в удовлетворительном состоянии.

## **ОХРАНА ТРУДА НА ПОЛИГОНЕ ДИРЕКЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Для примера рассмотрим полигон Октябрьской дирекции инфраструктуры, хозяйство автоматики и телемеханики (период с 01.01.2016 по 07.05.2016). Согласно телеграмме начальника управления автоматики и телемеханики от 07.05.2016 (ИСХ НР 16271/ЦДИ) охрана труда на предприятии остается неудовлетворительной. За указанный период в хозяйстве было травмировано пять работников, из них два с тяжелым исходом, три — с легким исходом.

Основными причинами травм являются невнимательность и халатное отношение к исполнению инструкций по безопасному ведению работ. Появляется вопрос: «Как заставить человека следовать инструкциям и на совесть выполнять свои обязанности?». Видимо, необходимо ввести полный контроль за деятельностью работника на время его дежурства, установить некие минимальные требования и пределы по отношению к персоналу и воспитанию дисциплины.

Согласно приказу «О целях и задачах в области охраны труда, промышленной и пожарной безопасности на 2016 год на полигоне Октябрьской дирекции инфраструктуры» установлены определенные ориентиры в этой сфере.

Инструкция по охране труда для электромонтера и электромеханика [3] одним из аспектов безопасного выполнения работ называет проверенный и годный инстру-

мент. Любой инструмент, будь то диэлектрический или слесарный, обязан отвечать самым жестким требованиям. На нем должны иметься отметки о проверке. На бирке фиксируются следующие данные:

— предмет проверки;

— приписанный номер;

— ФИО проверяющего;

— дата проверки;

— дата следующей проверки.

Бирка выполнена в бумажном виде и часто происходит так, что ее могут оторвать или она отклеится, и тогда становится невозможным понять, был ли годен инструмент к работе.

Замена бумажных бирок специальными электронными метками на основе технологии RFID позволит исключить проблемы, которые сопутствуют бумажным носителям. RFID (англ. Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) — способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках [4]. Метка состоит из чипа и антенны. В чип можно записать любую информацию, к примеру, ту, которую содержит бумажная бирка. Посредством считывателя, сканируя метку, можно получить необходимую информацию. Метка имеет антивандальное исполнение и устойчива к изменению окружающей среды, считыванию не мешает даже сильное загрязнение, в том числе если метку закрасить. При производстве новых устройств и приспособлений возможно встраивание меток в корпус.

Данная технология используется в магнитных ключах и проездных билетах БСК. Подобные метки пригодны для идентификации любых предметов и позволяют быстро и легко вести электронную базу данных.

Плюсами технологии является необязательность прямой видимости метки для считывания, что позволяет вшивать ее в сигнальный жилет и располагать на нем в тех местах, которые менее подвержены внешним воздействиям. К плюсам можно отнести и считывание одним ретранслятором сразу нескольких меток.



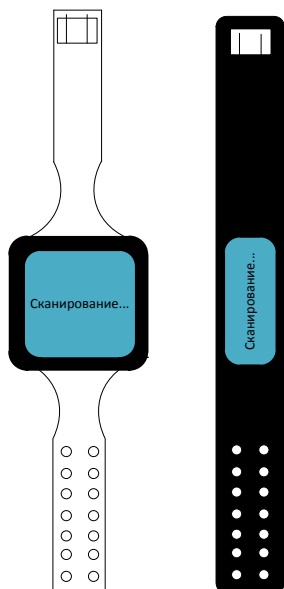


Рис. 1. Внешний вид трекера.

При программировании метки можно разрешить считывание мобильным телефоном со встроенной технологией NFC. На сегодняшний день большинство смартфонов поддерживает данную технологию.

## МОНИТОРИНГ ЗДОРОВЬЯ

Позабывшись о безопасном инструменте, следует наладить и информирование о состоянии здоровья работника. Плохое самочувствие отрицательно влияет на качество труда, а также увеличивает вероятность травматизма. При плохом самочувствии человек теряет бдительность, может потерять сознание во время исполнения работ на путях или в производственных помещениях, что грозит смертельным исходом.

Решению задачи помогает оснащение персонала браслетами (трекерами), наблюдающими за самочувствием (рис. 1). Трекер может измерять температуру тела, давление, пульс, сопротивление тела и на основе полученных данных делать выводы о состоянии носителя. При обнаружении отклонений от норм (учащенное сердцебиение, низкое/повышенное давление) информатор посылает сообщение по сотовой сети, электронной почте оператору или другому уполномоченному лицу. При несчастных случаях, обмороках или остановках сердца трекер отправит

тревожный вызов скорой помощи со всей необходимой информацией о носителе (рост, вес, был ли удар током, геопозиция, ФИО, возраст и т.п.) для немедленного реагирования.

Оснащение трекера экраном и динамиком позволяет подать сигнал об изменении здоровья и самому носителю.

Работа на железнодорожных путях связана с огромным количеством рисков. Подразделим их условно на видимые и невидимые. К видимым можно отнести риски, которые человек способен обнаружить без дополнительных средств, невидимые ему не обнаружить без вспомогательных средств. Одним из примеров невидимых рисков является наличие в воздухе отравляющих веществ. Присутствие различных паров и при малой их концентрации отрицательно влияет на здоровье человека, может не фиксироваться основными органами чувств. Долговременное нахождение человека в таких парах обязательно скажется. При воздействии различных веществ меняется его внутреннее состояние, учащаются сердцебиение, пульс, дыхание. Данные симптомы могут быть восприняты, к примеру, как обычная простуда или недосып. Однако при наличии трекера есть возможность быстро отследить изменение здоровья носителя и сделать выводы о скрытой опасности.

По конструкции трекер – это браслет с малым однополосным монохромным дисплеем и кнопкой экстренного вызова. Энергопотребление устройства должно быть максимально снижено для увеличения автономной работы. Исполняется браслет из гипоаллергенного силикона для достижения более износостойкой конструкции и избежания аллергических реакций у носителя. В корпусе трекера содержатся: пульсометр, датчик измерения сопротивления кожи, датчики нахождения паров, радиации, динамик, вибромоторчик. При возникновении любой опасной ситуации браслет начнет вибрировать и издавать звук о тревоге и выводить на экран бегущую строку о типе опасной ситуации. Для обеспечения синхронизации с мобильными устройствами или компьютером возможно использование модуля Bluetooth и разъема microUSB.



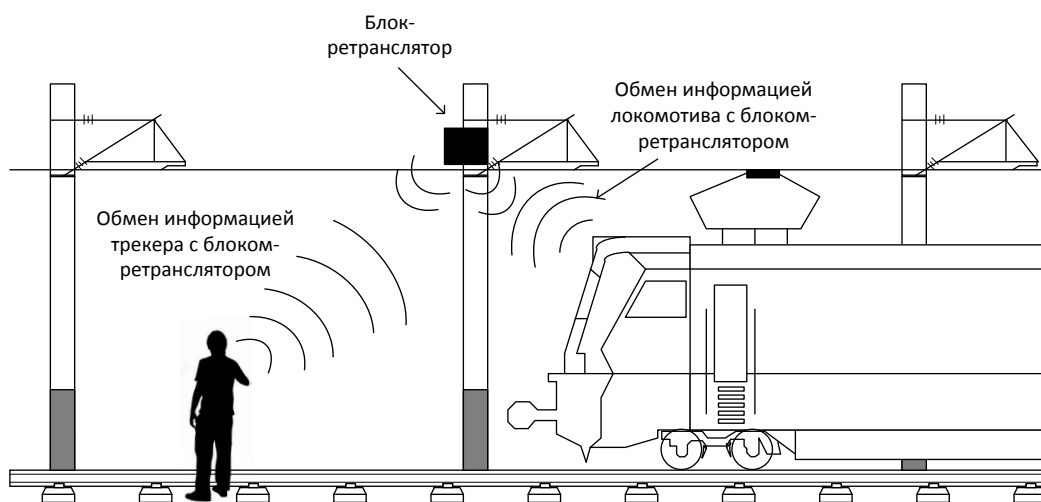


Рис. 2. Функционирование системы «Работник на пути».

## СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ «РАБОТНИК НА ПУТИ»

Следующий вопрос безопасности — при наезде на путях работников — связан с наездом подвижного состава во время технологических «окон» или проведения других технических работ [5]. На данный момент при производстве работ на путях машинистам поездов выдается листок предупреждения. В большинстве случаев причиной наезда подвижного состава становится неудовлетворительная организация операций, из-за чего люди отделяются от сигнальщиков и наблюдающих с рацией. Исполнитель на путях не знает о приближении подвижного состава, а машинист отбившемся от команды работнике. Для решения вопроса была бы полезна мониторинговая система слежения «Работник на пути». Она должна отслеживать перемещение работников и заблаговременно сообщать им о приближении поезда, а машинисту — о находящихся в зоне движения людях на путях.

Систему можно поделить на три составляющие. Первая — радиочастотные метки на персонале. Датчик, она же метка, может располагаться как на сигнальном жилете работника (вшита или наклеена) — обязательном атрибуте на железнодорожных путях, так и в ранее описанном трекере здоровья. Энергопотребление метки минимальное.

Вторая составляющая — построение системы передачи данных. К ним отно-

сятся антенны посылающих и принимающих сигнал, ретрансляторов-модемов, а также специального ПО для мониторинга за передвижением меток. Ретранслятор-модем размещается на опорах контактной сети. Сеть передачи уже есть — это канал с собственным протоколом на частоте 868,7 МГц (развернут на участке Торбино—Боровенка). Возможно исполнение систем на базе спутниковой или сотовой связи, что требует наличия модуля GPS или соответственно GSM-модулей, по которым передается информация о владельце. С помощью метода триангуляции через сотовые сети можно отследить передвижение работника.

К третьей составляющей относится аппаратура, устанавливаемая на самоходные подвижные единицы железнодорожного транспорта. Блок СМП (система мониторинга за персоналом) размещается в кабине машинистов. Аппаратура имеет антенну, устанавливаемую на корпусе самоходной подвижной единицы. Блок выдает информацию о приближении к объекту, имеющему радиометку. Система сравнивает положение подвижной единицы и рядом находящиеся радиометки. А при наличии трекера здоровья оповещение о движущемся транспорте приходит на трекер. Он начинает вибрировать на запястье носителя, а в кабине машиниста блок СМП издает звуковой сигнал и показывает расстояние до ближайшей метки на его пути. То есть и машинист, и работ-

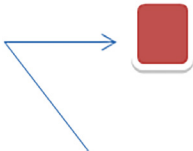


(наименование предприятия, организации, учреждения)

(наименование структурного подразделения)

## ЖУРНАЛ

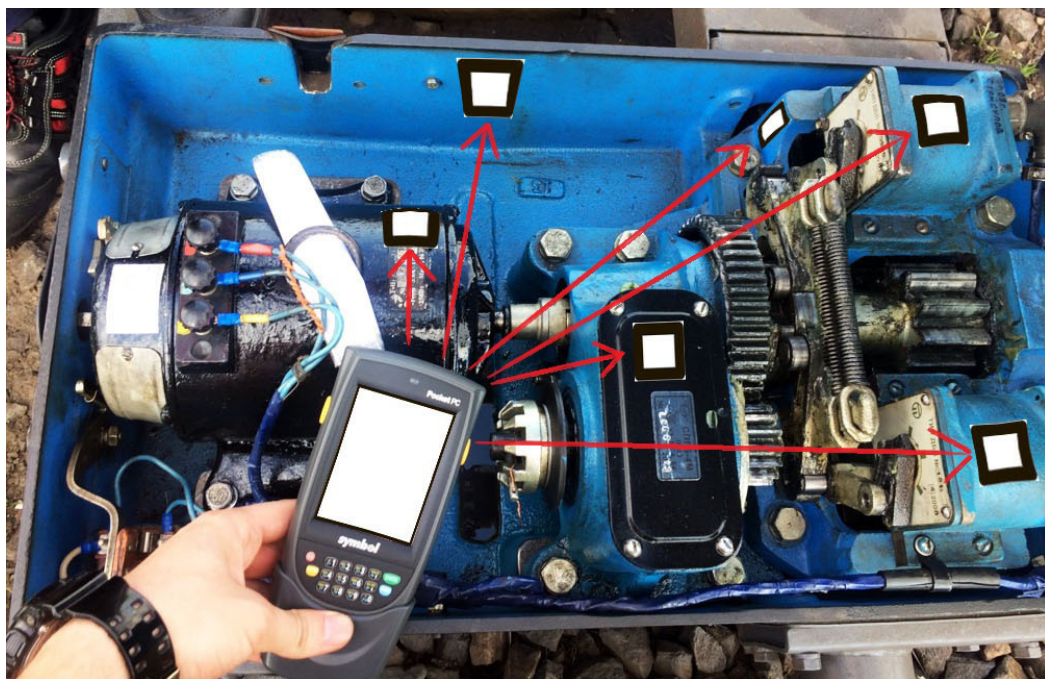
### регистрации инструктажей по пожарной безопасности



Начат " \_\_\_\_ " \_\_\_\_ 20\_\_ г.

Окончен " \_\_\_\_ " \_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рис. 3. Метка на журналах.**



**Рис. 4. Расположение меток в устройствах.**

ник предупреждены об опасностях и имеют шанс принять меры (см. рис. 2).

Кроме предупреждения о работниках на пути блоки СМП получают информацию друг о друге, и тем самым, к примеру, при нахождении двух подвижных единиц на одном пути исключаются их столкновения. Так, по инструкции, если произошла поломка подвижной единицы, машинист обязан разложить сигнальные петар-

ды со стороны приближающейся другой подвижной единицы, дабы предупредить об опасности. С помощью системы мониторинга за персоналом такие действия можно исключить, поскольку все передвижения будут контролироваться. При развертывании системы передачи данных на частоте 868,7 МГц на всей сети российских железных дорог позволит отказаться от спутниковых и сотовых сетей при слеже-

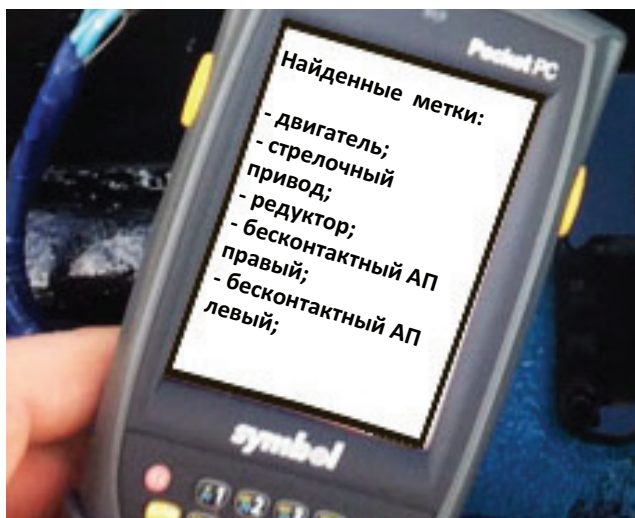


Рис. 5. Считыватель в режиме поиска.

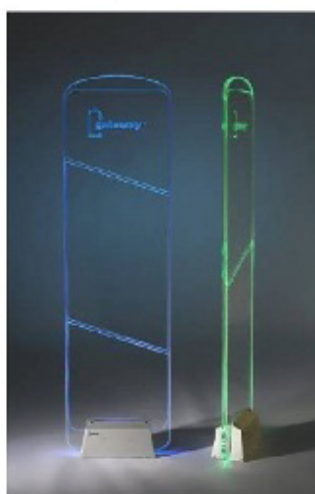


Рис. 6. Электронные рамки

нии за рельсовым транспортом. Система возможна для развертывания на перегонах и станциях.

### КОНТРОЛЬ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Безопасность непосредственно зависит и от метода производства работ. Производят обслуживание того или иного устройства по специальным технологическим картам, в которых пошагово описана инструкция, как и что делать [9]. Нарушение последовательности или использование не тех измерительных приборов может привести к угрозе жизни работника. Следовательно, нужен контроль качества исполнения технологического процесса,

необходимо ввести видеofиксацию или новую технологию радиоидентификации RFID.

Видеofиксация позволит вести записи проведения инструктажей работникам перед началом работы, технической учебы и производства работ (пример регистрации – см. рис. 3).

Использование меток RFID поможет организовать контроль исполнения. Размещая метки на устройствах, скажем, одну снаружи и одну внутри, и используя считывающее устройство, можно проследить, когда обслуживающий персонал находился у устройства и когда его «открывал» (см. рис. 4).

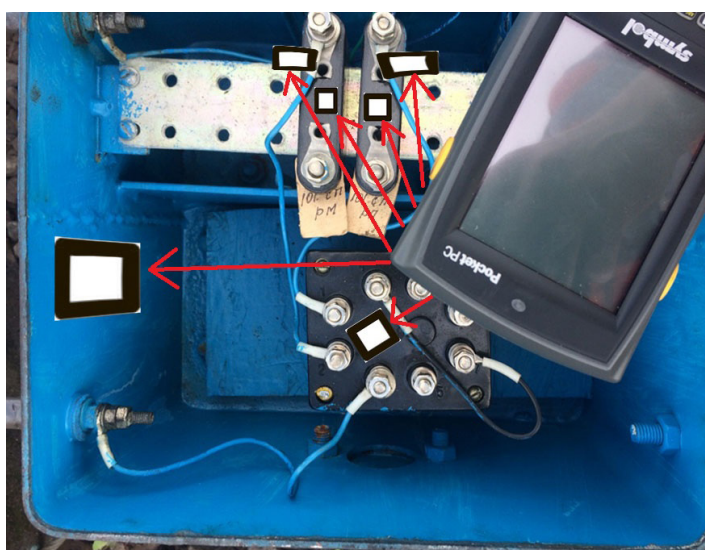


Рис. 7. Метки в путевой коробке.



Так, к примеру, для обслуживания путевого ящика механику в начале смены выдается считывающее устройство (рис. 5) с занесённой туда информацией о работнике. Получив целевой инструктаж, механик прикладывает считывающее устройство к метке на журнале, в метку запишется личный номер работника, а в считыватель информация о том, что механик прошел инструктаж по охране труда перед началом рабочей смены.

Придя к входному устройству, приложив считыватель к метке, работник записывает время прихода и открытия устройства. Далее переходит к контролю исполнения работ по технологическим картам. Метки на всех составляющих в путевой коробке позволяют проконтролировать, что и в какой последовательности снималось, а затем устанавливалось. Поместить метки следует даже на жилы кабеля, в том числе запасные, чтобы в случае возникшего повреждения быстро иметь информацию о том, какие жилы к чему подключены и что лучше брать на замену. Расположение меток представлено на примере путевой коробки на рис. 7.

Метки на предохранителях, разрядниках, трансформаторах с информацией о дате проверки и тех, кто проверял, дополняются датами демонтажа и установки с фамилиями обслуживающего персонала, причастного к работам. По окончании операции, закрывая устройство, сканируем метку на устройстве и приступаем к следующей задаче или возвращаемся на пост. В конце дня со считывателя можно снять отчет за период смены с указанием всех действий и их привязкой ко времени и месту работ.

Весь комплекс систем видится как некий КПК или наручный браслет, с помощью которого будет осуществляться полный контроль действий работника. От его местонахождения до отчета в конце трудового дня.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг — это современный способ не только контроля технического состояния объектов управления на железно-

дорожном транспорте [10–12], но и повышения технической культуры сотрудников. Внедрение систем мониторинга позволяет повысить качество обслуживания и надежность функционирования всей железнодорожной сети. Контроль передвижений персонала делает производство работ и нахождение на путях более безопасными. Вместе с ростом безопасности движения поездов растет и индекс экологичности IEQ, поскольку благодаря мониторингу снижается количество сходов подвижных единиц и катастроф.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трудовой кодекс Российской Федерации: текст с изменениями и дополнениями на 1 сентября 2014 г. — М.: Эксмо, 2014. — 224 с.
2. Кодекс деловой этики ОАО «Российские железные дороги». Распоряжение ОАО «РЖД» от 06.05.2015 г. № 1143р. [Электронный ресурс]: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&refererLayerId=5103&id=6582#4703967](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&refererLayerId=5103&id=6582#4703967).
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 03 ноября 2015 г. № 2616р «Инструкция по охране труда для электромеханика и электромонтера устройств сигнализации, централизации и блокировки». — 64 с.
4. Сайт информационного портала «ID Expert». [Электронный ресурс]: <http://www.idexpert.ru/technology/121/>. Дата обращения 01.08.2016.
5. Правила по безопасному нахождению работников ОАО «РЖД» на железнодорожных путях. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 24 декабря 2012 г. № 2665р. — 39 с.
6. Сайт ОАО «РТИС». [Электронный ресурс]: <http://www.rtlsnet.ru/>. Дата обращения 25.06.2016.
7. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В., Седых Д. В., Пристенский Д. Н. Особенности организации передачи данных по радиоканалу в системах непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта // Автоматизация в промышленности. — 2016. — № 6. — С. 29–33.
8. Насонов Г. Ф., Осадчий Г. В., Ефанов Д. В., Седых Д. В. Радиоканал для передачи данных в системах непрерывного мониторинга // Автоматика, связь, информатика. — 2016. — № 8. — С. 22–25.
9. Устройства СЦБ: Технология обслуживания, сборник технологических карт — первая редакция / ПКТБ ЦШ ОАО «РЖД». — М., 2010. — 423 с.
10. Молодцов В. П., Иванов А. А. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. пособие. — СПб.: ПГУПС, 2010. — 140 с.
11. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. — 2015. — № 1. — С. 35–40.
12. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: Монография. — СПб.: ПГУПС, 2016. — 171 с. ●

Координаты автора: **Хорошев В. В.** — [Hvv91@icloud.com](mailto:Hvv91@icloud.com).

Статья поступила в редакцию 28.12.2016, принята к публикации 27.04.2017.

## MODERNIZATION OF METHODS OF SAFE CONDUCTING OF OPERATIONS AT RAIL TRACKS

*Khoroshev, Valery V., St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia.*

### ABSTRACT

The article describes the methods of safe production of works on railway transport, including the monitoring system «Worker on tracks». Ways to control the technological process while servicing railway infrastructure devices, for example, signaling, centralization and blocking distance, in particular, the control method using radio frequency identification

(RFID) technologies, are presented. The variant of modification of marking of devices and equipment is offered. The statistics of the state of labor protection at the range of the October Directorate of Infrastructure is presented. The use of innovations will reduce the number of accidents at work, increase the safety of operation of railways. In addition, a positive effect is achieved in the field of environmental safety.

*Keywords:* work safety, occupational safety, RFID technology, maintenance, rail transport, monitoring.

**Background.** No production indicator can stand above human safety. According to the Labor Code of the Russian Federation, labor protection is defined as a system for preserving life and health of workers in the process of labor activity, which includes legal, socio-economic, organizational, technical, sanitary and hygienic, therapeutic and preventive, rehabilitation and other measures [1].

Railway transport is a zone of increased danger, and not only when doing work on tracks. Responsibility for compliance with rules, regulations and instructions for labor protection, ensuring healthy and safe working conditions are borne by the heads of structural units. Penalties and fines are imposed for violation of labor protection legislation.

Persons performing work at the facilities of JSC Russian Railways should [2]:

- be aware of risks that accompany their activities and affect safety of their lives and health, as well as lives and health of others;
- be aware of personal responsibility for one's life and health, as well as for life and health of others;
- support the corporate culture of work safety;
- encourage the safe conduct of their colleagues;
- know and comply with the necessary safety standards, understand the possible negative consequences of non-compliance with established organizational and technical procedures.

At the enterprises various actions on maintenance of culture in the field of labor safety are carried out. However, it is not always in a satisfactory condition.

**Objective.** The objective of the author is to consider modern methods to provide safe operation on railways.

**Methods.** The author uses general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, comparative analysis.

### Results.

#### Labor protection at the range of Infrastructure Directorate

For example, let's consider the site of October Directorate of Infrastructure, the Automation and Telemechanics Economy (from 01.01.2016 to 07.05.2016). According to the telegram of the head of the department of automatics and telemechanics dated 07.05.2016 (ISH NR16271 / CDI), labor protection at the enterprise remains unsatisfactory. During this period, five workers were injured, two of them with a severe outcome, and three with a light outcome.

The main causes of injuries are inattention and negligent attitude to the implementation of instructions for safe operation. The question arises:

«How to make a person follow the instructions and conscientiously fulfill their duties?». Apparently, it is necessary to introduce full control over the activities of the employee for the time of his duty, to establish certain minimum requirements and limits in relation to personnel and the development of discipline.

According to the order «On the Goals and Tasks in the Sphere of Labor Protection, Industrial and Fire Safety for 2016 at the Range of the October Directorate of Infrastructure», certain guidelines have been established in this area.

The instruction on labor protection for the electrician and electromechanic [3] calls one of the aspects of safe work performance a proven and suitable tool. Any tool, whether dielectric or metalwork, must meet the most stringent requirements. There must be a note on the inspection. The following data are recorded on the tag:

- subject of verification;
- number assigned;
- name of inspector;
- verification date;
- date of the next check.

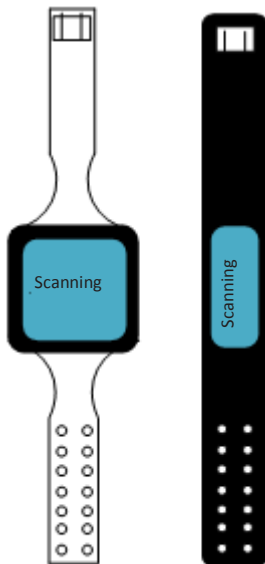
The tag is made in paper form and often occurs in such a way that it can be torn off or it will become unstuck, and then it becomes impossible to understand whether the tool was suitable for work.

Replacement of paper tags with special electronic labels based on RFID technology will eliminate the problems that accompany paper. RFID (Radio Frequency Identification) is a method of automatic identification of objects in which data stored in so-called transponders or RFID tags is read or written via radio signals [4]. The label consists of a chip and an antenna. The chip can record any information, for example, the one that contains a paper tag. Using the reader, scanning the label, you can get the necessary information. The label has an anti-vandal design and is resistant to environmental changes, even strong pollution cannot prevent from reading, even if it is even painted over. In the manufacture of new devices, it is possible to embed labels in the housing.

This technology is used in magnetic keys and BSK tickets. Such tags are suitable for identifying any items and allow to quickly and easily keep an electronic database.

Advantages of the technology is that the label is not visible for reading, which allows it to be sewn into the signal waistcoat and placed on it in places that are less susceptible to external influences. The other advantage is also the possibility of reading of several labels by one repeater at once.





**Pic. 1. Appearance of the tracker.**

When programming the label, it is possible to allow reading with a mobile phone with built-in NFC technology. To date, most smartphones support this technology.

**Health monitoring**

Taking care of a safe tool, it is necessary to establish informing about the health of the employee. Poor well-being negatively affects the quality of work, and also increases the likelihood of injury. If a person feels unwell, he loses vigilance, and can lose consciousness during the execution of work on the tracks or in production premises, which is fatal.

The solution of the problem is to equip the personnel with bracelets (trackers) that monitor the state of health (Pic. 1). The tracker can measure body temperature, pressure, pulse, body resistance and, on the basis of the data obtained, draw conclusions about the state of the carrier. If abnormalities are detected (heart palpitations, low / high blood pressure), the informer sends a message over the network, e-mail to the operator or other authorized person. In case of accidents,

fainting or cardiac arrest, the tracker will send an alarm call to the ambulance with all the necessary information about the carrier (height, weight, possible electric shock, geolocation, name, age, etc.) for immediate response.

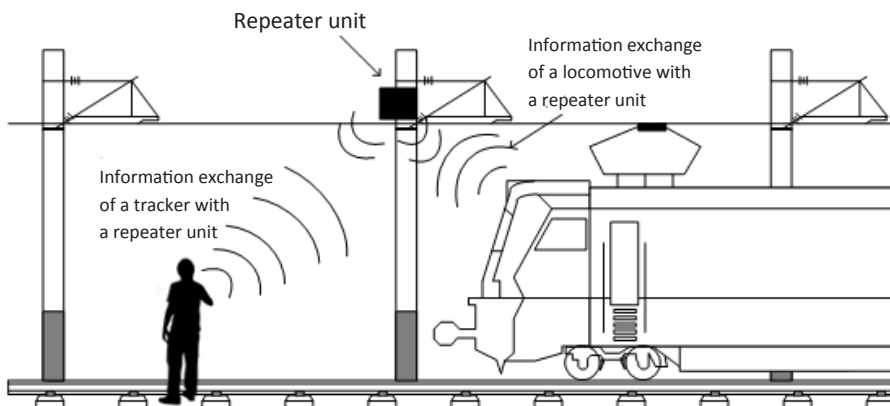
Equipping the tracker with a screen and a speaker allows to signal the change in health to the carrier himself.

Work on the railway tracks is associated with a huge number of risks. We subdivide them conditionally into visible and invisible. To the visible can be attributed risks that a person is able to detect without additional means, while the invisible ones cannot be detected by him without auxiliary means. One of the examples of invisible risks is the presence of poisonous substances in the air. The presence of various vapors even with their small concentration adversely affects human health, may not be recorded by the main sense organs. Long-term presence of a person in such vapors will necessarily affect. When exposed to various substances, its internal state changes, palpitation, pulse, and breathing become more frequent. These symptoms can be perceived, for example, as a common cold or sleep deficiency. However, in the presence of a tracker, it is possible to quickly track the change in the health of the carrier and draw conclusions about the hidden danger.

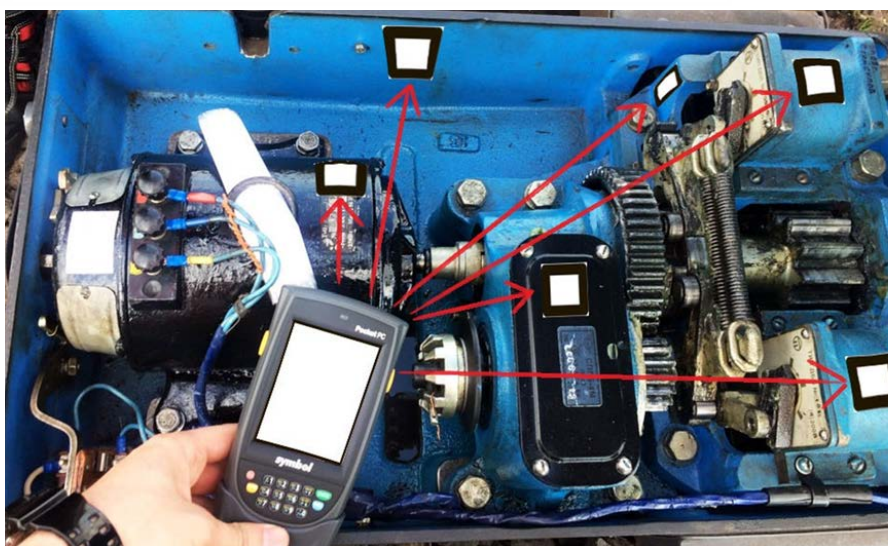
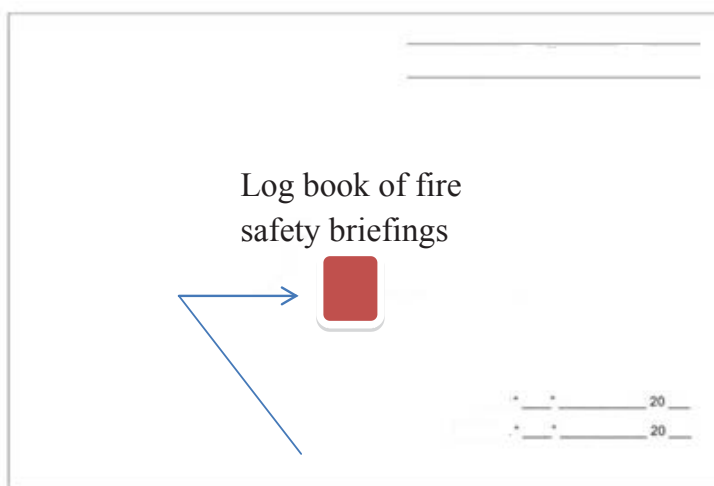
By design, the tracker is a bracelet with a small single-band monochrome display and an emergency call button. The power consumption of the device should be minimized to increase autonomous operation. It is made of hypoallergenic silicone to achieve a more wear-resistant design and avoid allergic reactions of the carrier. The body of the tracker contains: heart rate monitor, skin resistance measurement sensor, vapor detection sensors, radiation, speaker, small vibrating motor. In the event of any dangerous situation, the bracelet will begin to vibrate and sound the alarm and display a running line about the type of dangerous situation. To ensure synchronization with mobile devices or a computer, you can use the Bluetooth module and microUSB connector.

**Monitoring system «Worker on the track»**

The next safety issue – when the workers are on the tracks – is related to runover of rolling stock during technological «windows» or carrying out other technical works [5]. At the moment, during the work on the tracks train drivers receive a



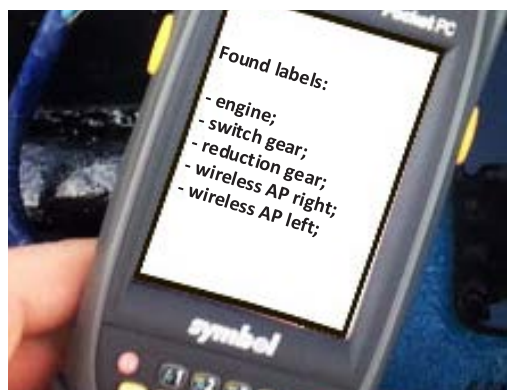
**Pic. 2. Functioning of the «Worker on the Track» system.**



warning sheet. In most cases, the cause of rolling stock runover is unsatisfactory quality of operations, which makes people separate from the signalers and the observers with the radio set. The executor on the track does not know about the approach of rolling stock, and the machinist about the employee who has broken away from the team. To solve the issue, the tracking system «Worker on the track» would be useful. It should track the movement of workers and inform them in advance about the approach of the train, and the driver – about people in the traffic zone on tracks.

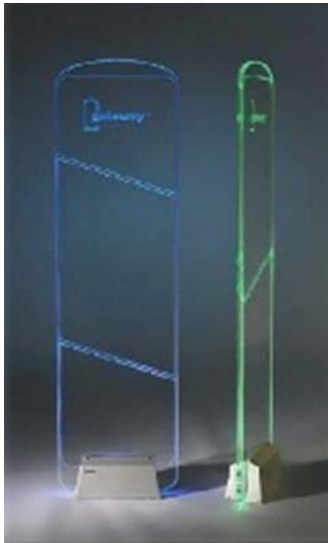
The system can be divided into three components. The first is RF tags on staff. The sensor, which is a label, can be placed on the signal vest of an employee (sewn or glued) – an obligatory attribute on the railway tracks, and in the previously indicated health tracker. Energy consumption of the label is minimal.

The second component is the construction of a data transmission system. These include antennas sending and receiving signals, repeater-modems, as well as special software for monitoring the movement of labels. The repeater-modem is placed on the



supports of the contact network. The transmission network already exists – it is a channel with its own protocol at a frequency of 868,7 MHz (deployed on the Torbino–Borovenka site). It is possible to implement systems based on satellite or cellular





**Pic. 6. Electronic frames**

communication, which requires the presence of a GPS module or, respectively, GSM-modules, through which information about the owner is transmitted. Using the method of triangulation through cellular networks, it is possible to track the movement of an employee.

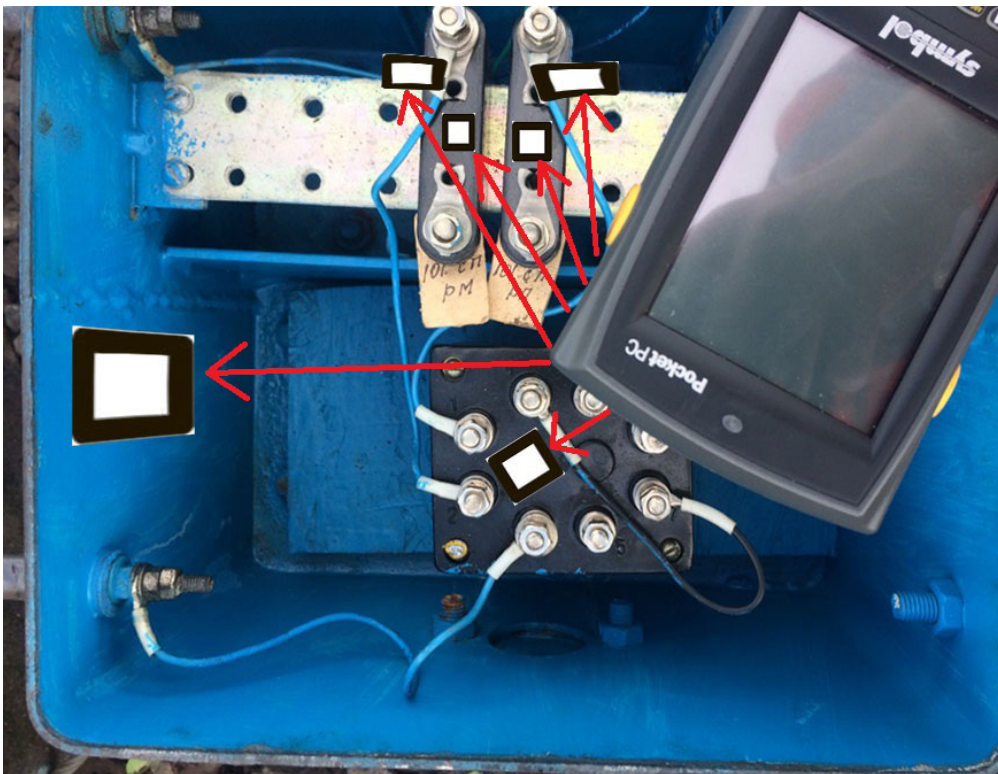
The third component includes equipment installed on self-propelled mobile units of railway transport. The SMP block (personnel monitoring system) is located in the driver's cab. The equipment has an antenna mounted on the body of a self-propelled mobile unit. The block gives information about the

approach to an object that has a radio tag. The system compares the position of the mobile unit and the adjacent radio tags. And if you have a health tracker, the notification of moving vehicles comes to the tracker. It starts to vibrate on the wrist of the carrier, and in the driver's cab the SMP unit emits a beep and shows the distance to the nearest mark on its way. That is, both the driver and the worker are warned of the dangers, and have the chance to take action (see Pic. 2).

In addition to warning about workers on the track, SMP blocks receive information about each other, and thus, for example, when two mobile units are in one track, their collisions are excluded. So, according to the instructions, if there was a breakdown of the mobile unit, the driver must decompose the signal firecrackers from the approaching other mobile unit, in order to warn of the danger. With the help of the personnel monitoring system, such actions can be excluded, since all movements will be monitored. When deploying a data transmission system at 868,7 MHz on the entire network of Russian railways, it will be possible to abandon satellite and cellular networks while tracking rail transport. The system is available for deployment on hauls and stations.

**Control over production of operations**

Safety directly depends on the method of production of operations. Maintenance of a particular device is performed using special technological cards, in which the instruction is described step by step, how and what to do [9]. Violation of the sequence or use of wrong measuring instruments can lead to danger to life of a worker. Therefore, it is necessary to control the quality of process execution, it is necessary to introduce video fixing or a new RFID radio identification technology.



**Pic. 7. Tags in the junction box.**



Video fixing will allow to keep a record of conducting briefings to employees before starting work, technical training and work (for example, see Pic. 3).

The use of RFID tags will help organize performance of monitoring. By placing tags on devices, say one outside and one inside, and using a reader, you can track when the service personnel were near the device and when they «opened» it (see Pic. 4).

So, for example, for maintenance of a junction box, the mechanic at the beginning of the shift is given a reader (Pic. 5) with the information about the employee entered there. Having received the target instruction, the mechanic applies the reader to the label on the log, the personal number of the employee is recorded in the label, and the reader is informed that the mechanic has been instructed on labor protection before the start of the work shift.

Having come to the input device, attaching the reader to the label, the employee records the time of arrival and opening of the device. Further he starts control over production of operations on process charts. The tags on all components in the junction box allow you to check what was removed in what sequence and then installed. It is necessary to place labels even on cable cores, including spare ones, in order to quickly have information on which wires are connected to what and what is better to take for replacement. The location of the labels is shown in the example of the junction box in Pic. 7.

Tags on protectors, surge-absorbers, transformers with information on the date of verification and those who checked are supplemented with the dates of dismantling and installation with the names of the maintenance personnel involved in the work. At the end of operation, closing the device, scan the label on the device and proceed to the next task or return to the post. At the end of the day from the reader you can remove the report for the period of the shift, indicating all the actions and their connection to the time and place of work.

The whole complex of systems is seen as a kind of PDA or a wrist brace, through which the full control over the employee's actions will be carried out. From its location to the report at the end of the work day.

**Conclusion.** Monitoring is a modern way of not only control over the technical condition of control facilities in railway transport [10–12], but also enhancing the technical culture of employees. The introduction of monitoring systems makes it possible to improve the quality of service and the reliability of the entire railway network. Controlling the movement of personnel makes production of works and stay on the tracks safer. Along with the increased safety of train traffic, the IEQ environmental index is also growing, as due to monitoring results the number of mobile units and catastrophes decrease.

## REFERENCES

1. The Labor Code of the Russian Federation: text as amended and supplemented on September 1, 2014

Information about the author:

**Khoroshev, Valery V.** – Ph.D. student at the department of Computer control systems in power engineering and bioindustry of University of Information, Technologies, Mechanics and Optic, St. Petersburg, Russia, Hwv91@icloud.com.

Article received 28.12.2016, accepted 27.04.2017.

[*Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii: tekst s izmenenijami i dopolnenijami na 1 sentjabrja 2014 g.*]. Moscow, Eksmo publ., 2014, 224 p.

2. Code of Business Ethics of JSC Russian Railways. The order of JSC Russian Railways of 06.05.2015 № 1143r. [*Kodeks delovoj etiki OAO «Rossijskie zheleznye dorogi». Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 06.05.2015 g. No. 1143r*] [Electronic resource]: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&refererLayerId=5103&id=6582#4703967](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&refererLayerId=5103&id=6582#4703967).

3. Order of JSC Russian Railways of November 3, 2015 No. 2616r «Instruction for protection of labor for the electromechanics and electrician of signaling, centralization and interlocking devices [*Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 03 nojabrja 2015 g. № 2616r «Instrukcija po ohrane truda dlja elektromehanika i elektromontera ustrojstv signalizacii, centralizacii i blokirovki*], 64 p.

4. The website of the information portal «ID Expert». [Electronic resource]: <http://www.idexpert.ru/technology/121/>. Last accessed 01.08.2016.

5. Rules for safe location of JSC Russian Railways employees on the railway tracks. Approved by the decree of JSC Russian Railways of December 24, 2012 No. 2665r [*Pravila po bezopasnomu nahozhdeniju rabotnikov OAO «RZhD» na zheleznodorozhnyh putjah. Utverzheny rasporyazheniem OAO «RZhD» ot 24 dekabrja 2012 g. № 2665r*], 39 p.

6. The website of OJSC RTLS. [Electronic resource]: <http://www.rtlsnet.ru/>. Last accessed 25.06.2016.

7. Efanov, D. V., Osadchy, G. V., Sedykh, D. V., Pristenskiy, D. N. Features of the organization of data transmission by radio channel in the systems of continuous monitoring of the objects of the railway transport infrastructure [*Osobennosti organizacii peredachi dannyh po radiokanalu v sistemah nepreryvnogo monitoringa ob'ektov infrastruktury zheleznodorozhnoho transporta*]. *Avtomatizacija v promyshlennosti*, 2016, Iss. 6, pp. 29–33.

8. Nasonov, G. F., Osadchij, G. V., Efanov, D. V., Sedykh, D. V. Radio channel for data transmission in continuous monitoring systems [*Radiokanal dlja peredachi dannyh v sistemah nepreryvnogo monitoringa*]. *Avtomatika, svjaz', informatika*, 2016, Iss. 8, pp. 22–25.

9. SCB devices: Service technology, collection of process charts – the first edition / PKTB TcSh of JSC Russian Railways [*Ustrojstva SCB: Tehnologija obsluzhivanija, sbornik tehnologicheskikh kart – pervaja redakcija / PKTB CSh OAO «RZhD»*]. Moscow, 2010, 423 p.

10. Molodtsov, V. P., Ivanov, A. A. Systems of dispatch control and monitoring of devices of railway automatics and telemechanics: educational guide [*Sistemy dispetcherskogo kontrolja i monitoringa ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2010, 140 p.

11. Efanov, D. V., Some Aspects of Development of Functional Control Systems for Railway Automation and Telemechanics Devices [*Nekotorye aspekty razvitiija sistem funkcional'nogo kontrolja ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki*]. *Transport Urala*, 2015, Iss. 1, pp. 35–40.

12. Efanov, D. V. Functional control and monitoring of railway automation and telemechanics devices: Monograph [*Funkcional'nyj kontrol' i monitoring ustrojstv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemehaniki: Monografija*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2016, 171 p. ●





## Эксплуатационная надёжность крышек цилиндров тепловозного дизеля



Евгения РЯБКО

Evgenia V. RYAVKO

**Operational Reliability of Cylinder Covers of Diesel Engine**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 183)

**Проведен статистический анализ отказов цилиндрических крышек тепловозных дизелей с различными условиями эксплуатации. Построены гистограммы их выхода из строя с последующей интерполяцией для объективной оценки влияния эксплуатационного режима на надёжность проверяемых узлов. Установлено, что при режимах, близких к номинальным, решающей для работоспособности крышки цилиндра становится температурная напряжённость днища. При снижении эксплуатационных нагрузок на первый план выходит влияние температуры окружающей среды. Объективность вывода подтверждается тем, что исследования проводились на одной марке дизеля в различных эксплуатационных условиях.**

*Ключевые слова:* тепловоз, дизель, крышка цилиндра, эксплуатация, статистика отказов, интерполяция, теплонапряжённость, температурные условия, безопасность, надёжность, продление срока службы.

*Рябко Евгения Владимировна – инженер кафедры «Подвижной состав железных дорог» Донецкого института железнодорожного транспорта, Донецк, Украина.*

**Б**езотказность тепловозного дизеля зависит прежде всего от правильной эксплуатации, технического обслуживания и исправности деталей цилиндропоршневой группы. В зоне повышенных температур и механических нагрузок находится цилиндрическая крышка – сложная по конструкции и нагруженная деталь этой группы.

Проведено множество исследований, связанных с повышением ресурса крышек цилиндров тепловозных дизелей и изучением сложных процессов, протекающих в них. В большинстве публикаций рассматривается исключительно влияние конструктивных особенностей на долговечность крышек цилиндров тепловозов. К примеру, в [1] основной причиной выхода из строя крышки цилиндра называется именно сама её конструкция. Нарушение технологии изготовления, ремонта и режима эксплуатации, по мнению автора, достаточно легко идентифицировать. В работе [2] предполагается, что надёжность крышек цилиндров тепловозных дизелей повышается за счет снижения градиента температур непосредственно в огневом днище.

При решении задач теплопроводности и термоупругости крышек цилиндров при-

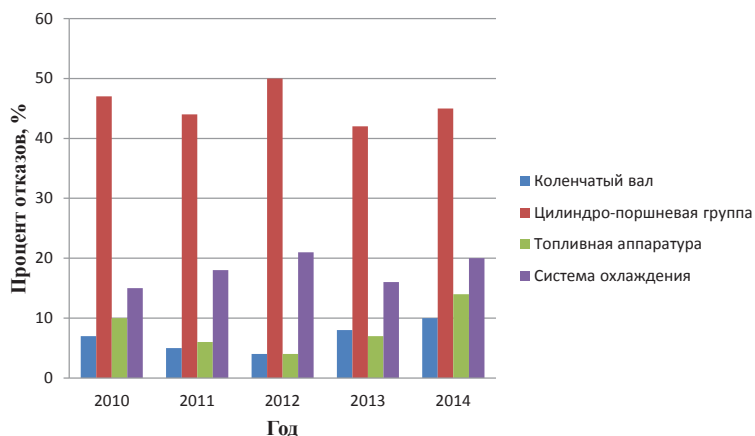


Рис. 1. Распределение неисправностей узлов дизелей и их систем.

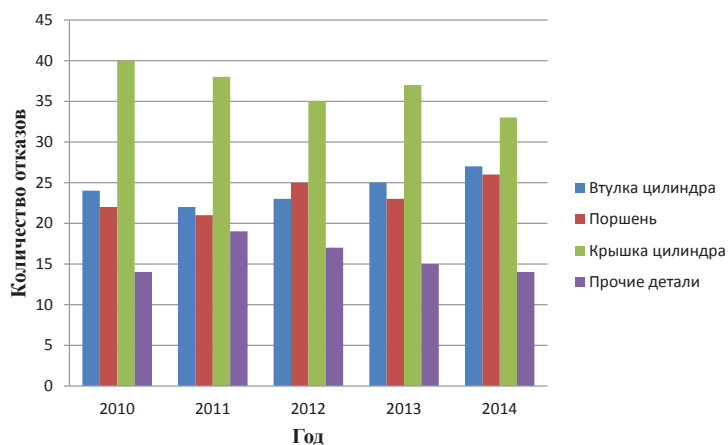


Рис. 2. Распределение неисправностей деталей цилиндро-поршневой группы дизелей типа Д49.

меняются различные аналитические методы, которые позволяют оценить теплонапряженность интересующей нас зоны. Однако в большинстве случаев математические модели не учитывают влияние эксплуатационных факторов.

Анализ публикаций по данной тематике свидетельствует о незначительном влиянии особенностей эксплуатации тепловозов на надежность крышек цилиндров [3–6].

Поставлена задача установить влияние конструкционных особенностей на надежность крышки цилиндров дизеля типа Д49. Определить зависимость между особенностями эксплуатации, типом тепловоза, техническим состоянием, влиянием климатических условий и безотказной работой крышки цилиндра, чтобы разработать комплекс мер, направленных на продление срока службы узлов цилиндро-поршневой группы тепловозного дизеля Д49.

Для получения объективной оценки причин отказов крышек цилиндров проведен

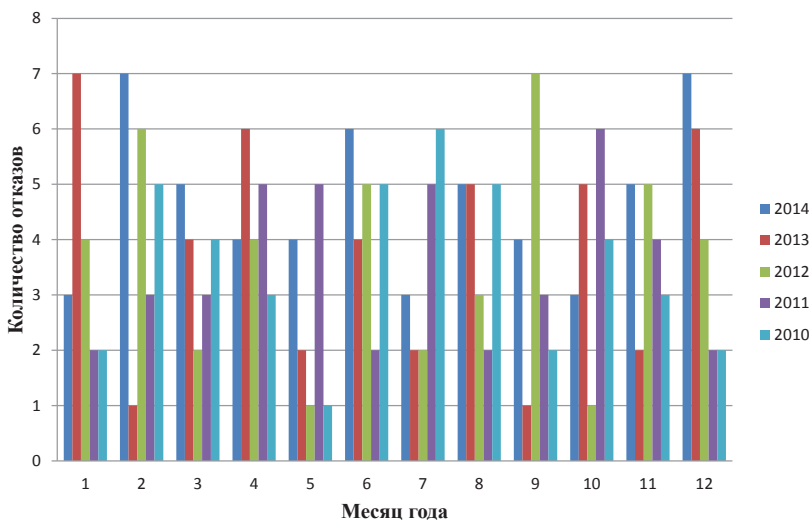
анализ статистических данных в локомотивных депо с различными условиями эксплуатации тепловозов. Были взяты два депо с приписным парком тепловозов 2ТЭ116 в пассажирском и грузовом движении, а также депо с парком тепловозов ТЭМ7 на тяжелой карьерной вывозной работе.

На основании полученных данных в период 2010–2014 годов можно сделать вывод, что наименее надежным узлом тепловозного дизеля является цилиндро-поршневая группа. На её долю приходится до 40–50 % отказов (рис. 1), а в этой доле порядка 40 % повреждений приходится на крышки цилиндров (рис. 2).

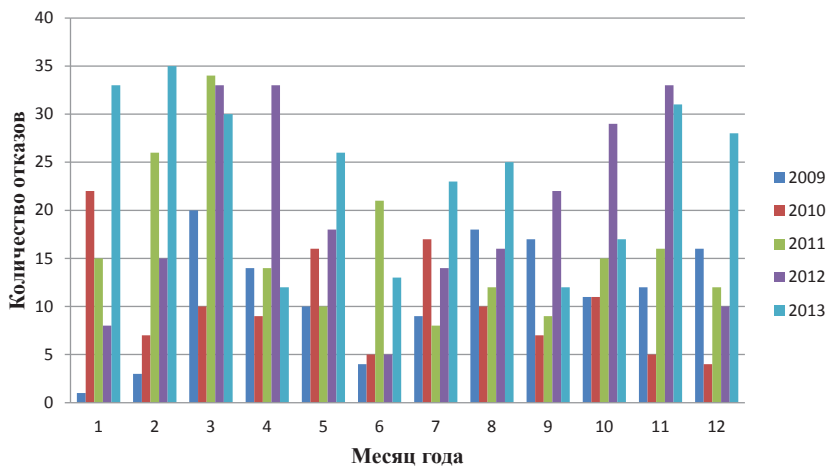
Для объективной оценки причин выхода из строя цилиндровых крышек проанализирован характер отказов в депо Дебальцево-Сортировочная (рис. 3), где преобладает эксплуатация тепловозов в пассажирском движении, и депо Волноваха за период 2009–2013 годов (рис. 4), где тепловозы эксплуатируются преимущественно в грузовом движении.



**Рис. 3. Статистика отказов крышек цилиндров тепловозов 2ТЭ116 депо приписки Дебальцево-Сортировочная.**



**Рис. 4. Статистика отказов крышек цилиндров тепловозов 2ТЭ116 депо приписки Волноваха.**



На гистограммах видно, что основной пик отказов приходится на холодное время года, при максимальном градиенте температур между дизелем и окружающей средой, в отличие от летнего периода, когда градиент температур меньше. Это в достаточной мере подтверждает влияние температуры наружного воздуха на долговечность крышек цилиндров, то есть понижение температуры наружного воздуха приводит к уменьшению срока их службы [7].

Для более достоверной оценки влияния условий эксплуатации на надежность крышек цилиндров был проведен дополнительный анализ отказов на промышленном предприятии «АрселорМиттал Кривой Рог» (2011–2015 гг.). В его локомотивном депо эксплуатируются тепловозы ТЭМ7 с дизелем 2–2Д49, которые находятся в более тяжелых условиях (карьерно-вывозная работа).

Проанализировав гистограмму на рис. 5, можно сделать вывод, что наиболь-

шее число отказов крышек цилиндров происходит в летний период. Это обусловлено повышением температуры окружающей среды и производственных нагрузок, что влечет за собой перегрев дизеля.

Для подтверждения гипотез была проведена интерполяция анализируемых гистограмм.

Сделанная интерполяция статистических данных по депо Дебальцево-Сортировочная (рис. 6), депо Волноваха (рис. 7), депо «АрселорМиттал Кривой Рог» позволяет утверждать, что четко выраженная зависимость отказов крышек цилиндров отсутствует.

В первых двух случаях наибольшее количество выходов из строя приходится на зимний период времени. Можно предположить, что зимой отказ цилиндрических крышек происходит из-за большого перепада температур между дизелем и окружающей средой, ибо это

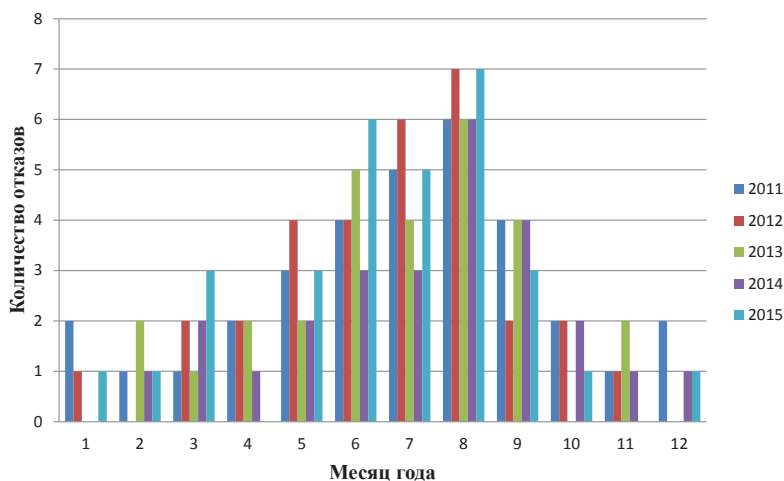


Рис. 5. Статистика отказов крышек цилиндров тепловозов ТЭМ7 депо приписки «АрселорМиттал Кривой Рог».

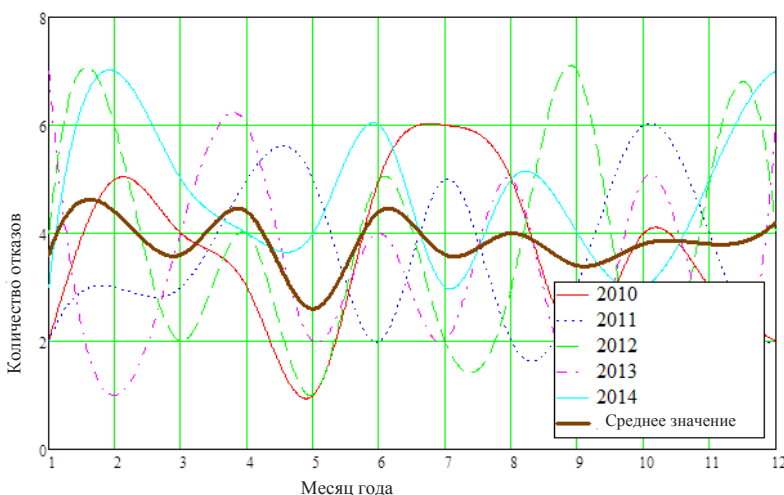


Рис. 6. Интерполяция статистических данных отказов крышек цилиндров тепловозов 2ТЭ116 депо Дебальцево-Сортировочная.

влечет за собой возникновение и развитие микротрещин огневого днища. Летний период характеризуется частыми выходами из строя тех же крышек из-за перегрева дизеля.

Согласно интерполяции статистических данных депо «АрселорМиттал Кривой Рог» наибольшее число выходов из строя крышек цилиндров приходится на летний период (рис. 8). Это, как уже замечено ранее, объясняется перегревом дизеля, который возникает ввиду ряда объективных причин (особенность конструкции кузова тепловоза ТЭМ7, тяжелые условия эксплуатации, неудовлетворительное состояние системы охлаждения).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупность полученных данных свидетельствует о незначительном влиянии конструктивных особенностей крышек цилиндров дизелей тепловозов типа Д49 на

их надёжность, что не подтверждает общепринятую точку зрения.

На основании результатов исследования удалось выявить влияние температуры окружающей среды и нагрузочных режимов работы дизеля на долговечность цилиндрических крышек. Установлено, что при режимах, близких к номинальным, решающую роль здесь играет температурная напряженность днища. При снижении эксплуатационных нагрузок на первый план выходит влияние температурных условий среды, что подтверждается неоднократными исследованиями и перепроверками опытных данных.

На безопасность и надежность работы цилиндрических крышек влияют не только конструктивные особенности, материал изготовления, а в немалой степени и температурный режим среды, особенности эксплуатации и тип локомотива.

Следовательно, необходим дифференцированный подход при определении



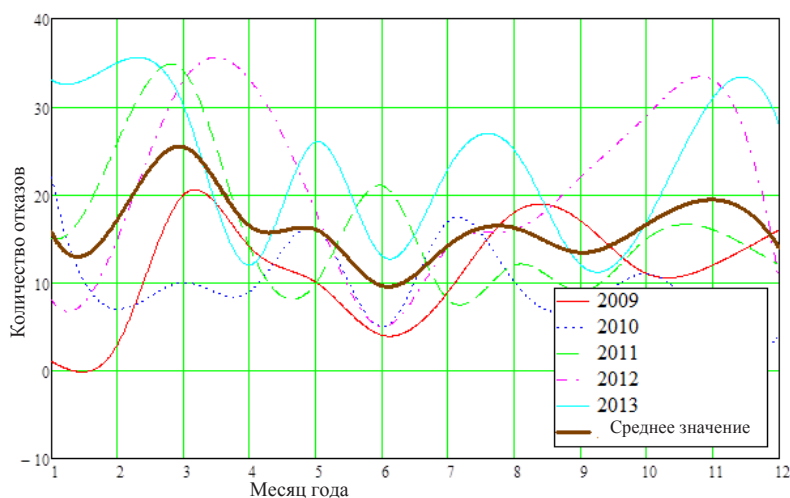


Рис. 7. Интерполяция статистических данных отказов крышек цилиндров тепловозов 2ТЭ116 депо Волноваха.

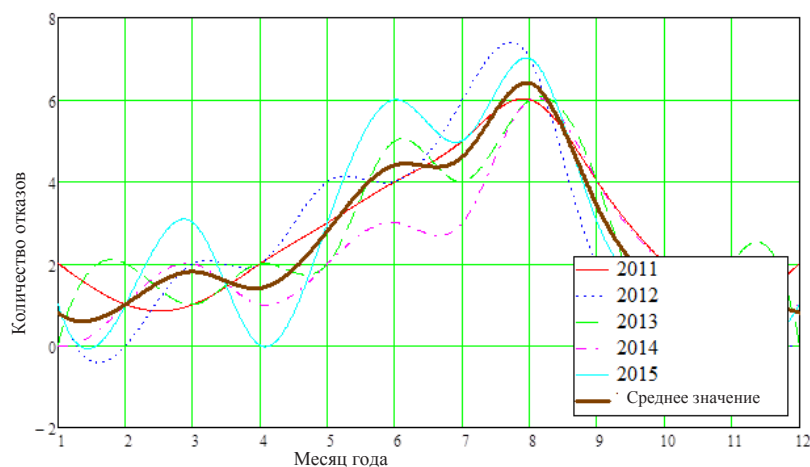


Рис. 8. Интерполяция статистических данных отказов крышек цилиндров тепловозов ТЭМ7 депо «АрселорМиттал Кривой Рог».

факторов, влияющих на долговечность крышек цилиндров. Учет всего комплекса факторов при разработке математической модели теплонапряженного состояния крышек цилиндров позволит более достоверно рассчитать диапазон эксплуатационных условий для деталей цилиндропоршневой группы тепловозных дизелей и продления их службы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ролле И. А. Повышение ресурса крышек цилиндров тепловозных дизелей / Дис... канд. техн. наук. – СПб., 2006. – 130 с.
2. Дульнев Р. А., Котов П. И. Термическая усталость металлов. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.

3. Заорски М. Повышение надёжности составных цилиндровых крышек тепловозных дизелей / Дис... канд. техн. наук. – Л., 1990. – 101 с.

4. Сальников М. А. Оценка долговечности крышек цилиндров тепловозных дизелей в зависимости от уровня теплонапряжённости / Дис... канд. техн. наук. – Коломна, 1984. – 214 с.

5. Мягков С. П. Повышение прочностной надёжности крышек цилиндров транспортных дизелей / Дис... канд. техн. наук. – М., 2009. – 177 с.

6. Маластовский Н. С. Методика определения локальных граничных условий со стороны охлаждения при расчёте температурных полей крышек цилиндров двигателей / Дис... канд. техн. наук. – М., 2011. – 156 с.

7. Горобченко А. Н., Рябко К. А., Рябко Е. В., Гушин А. М. Исследование влияния температуры окружающей среды на работоспособность крышек цилиндров тепловозных дизелей // Вестник РГУПС. – 2016. – № 1. – С. 34–42. ●

Координаты автора: **Рябко Е. В.** – evgeniya.ryabko@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 16.09.2016, актуализирована 20.01.2017, принята к публикации 23.01.2017.

# OPERATIONAL RELIABILITY OF CYLINDER COVERS OF DIESEL ENGINE

Ryabko, Evgenia V., Donetsk Institute of Railway Transport, Donetsk, Ukraine.

## ABSTRACT

A statistical analysis of failures of cylinder covers of diesel engines with different operating conditions was carried out. The histograms of their failures were constructed with subsequent interpolation for an objective assessment of the effect of the operating regime on reliability of the nodes being tested. It was found out that under the conditions

close to nominal, the temperature tension of the bottom becomes decisive for efficiency of the cylinder cover. When the operating loads decrease, the influence of the ambient temperature comes to the fore. The objectivity of the conclusion is confirmed by the fact that the research was carried out on the same brand of diesel engine under various operational conditions.

**Keywords:** diesel locomotive, diesel engine, cylinder cover, operation, failure statistics, interpolation, heat stress, temperature conditions, safety, reliability, prolongation of service life.

**Background.** The failure-free operation of a diesel engine depends primarily on proper operation, maintenance and serviceability of a cylinder-piston group. In the zone of elevated temperatures and mechanical loads there is a cylinder cover – a complex structure and a loaded part of this group.

A lot of research has been carried out to increase the service life of diesel engine cylinder covers and to study complex processes occurring in it. In most publications, only the effect of structural features on the longevity of cylinder covers of locomotives is considered. For example, in [1] the main reason for the failure of the cylinder cover is precisely its design. The violation of technology of manufacturing, repair and operation mode, in the author's opinion, is fairly easy to be identified. In work [2] it is assumed that the reliability of cylinder covers of diesel engines is increased by reducing the temperature gradient directly in the fire bottom.

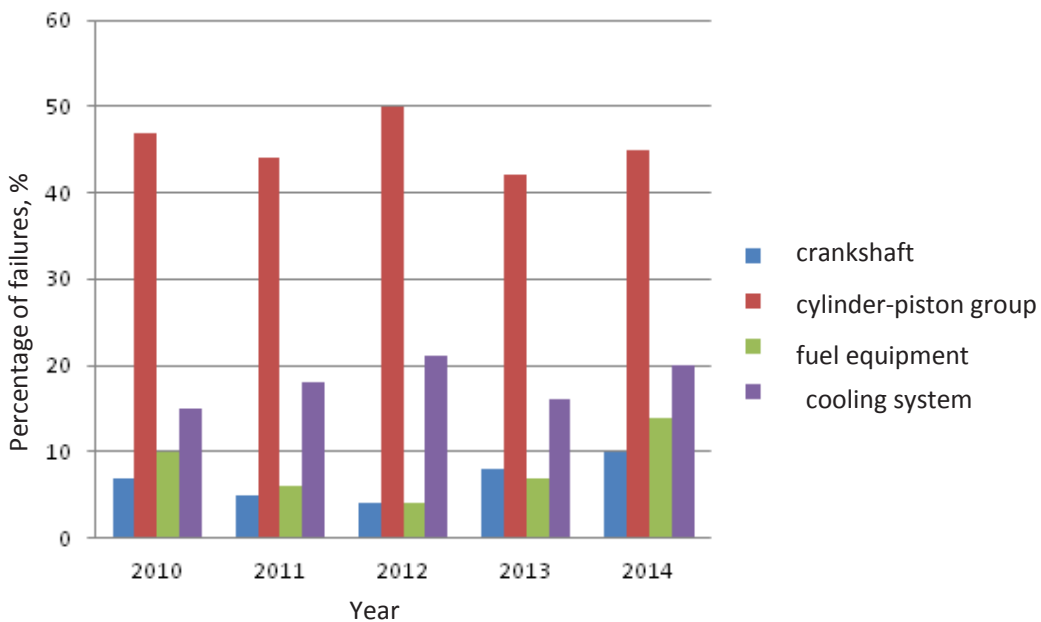
In solving problems of thermal conductivity and thermoelasticity of cylinder covers, various analytical methods are used that allow one to estimate the heat stress of the zone of interest to us. However, in most

cases, mathematical models do not take into account the influence of operational factors.

Analysis of publications on this subject indicates a slight effect of the features of operation of diesel locomotives on the reliability of cylinder covers [3–6].

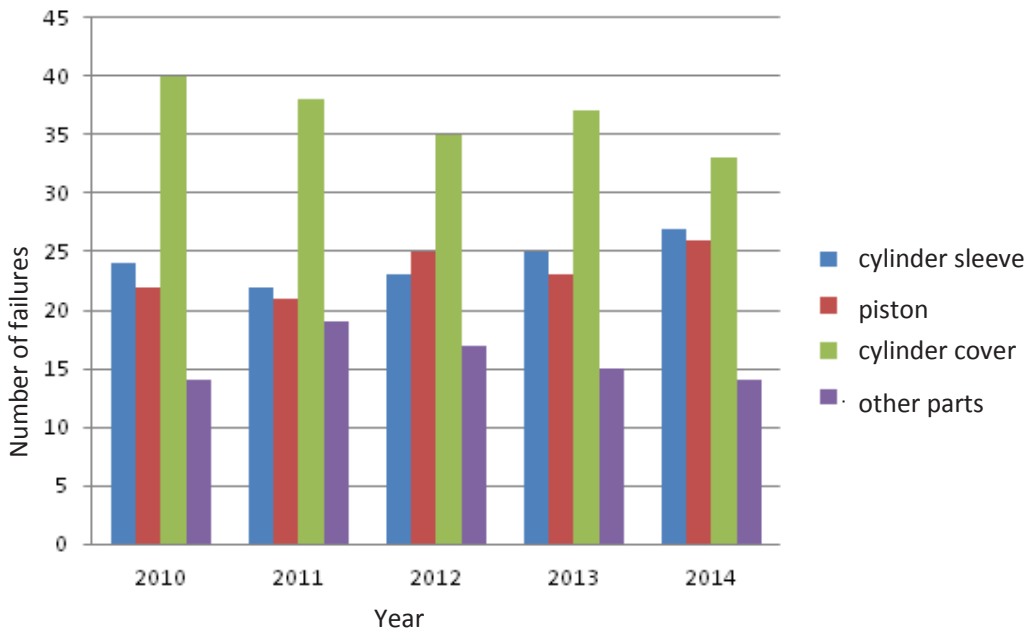
**Objective.** The task was set to determine the effect of structural features on the reliability of the cylinder cover of a D49 diesel engine. To determine the relationship between the operation characteristics, the type of diesel locomotive, the technical condition, the influence of climatic conditions and the trouble-free operation of the cylinder cover, in order to develop a set of measures aimed at extending the life of the nodes of the cylinder-piston group of diesel engine D49.

**Methods.** To obtain an objective assessment of the causes of cylinder covers failures, an analysis of statistical data in locomotive depots with various operating conditions of diesel locomotives was carried out. Two depots with a registered fleet of diesel locomotives 2TE116 were taken in passenger and cargo traffic, as well as a depot with a fleet of diesel locomotives TEM7 on heavy open pit-export work.

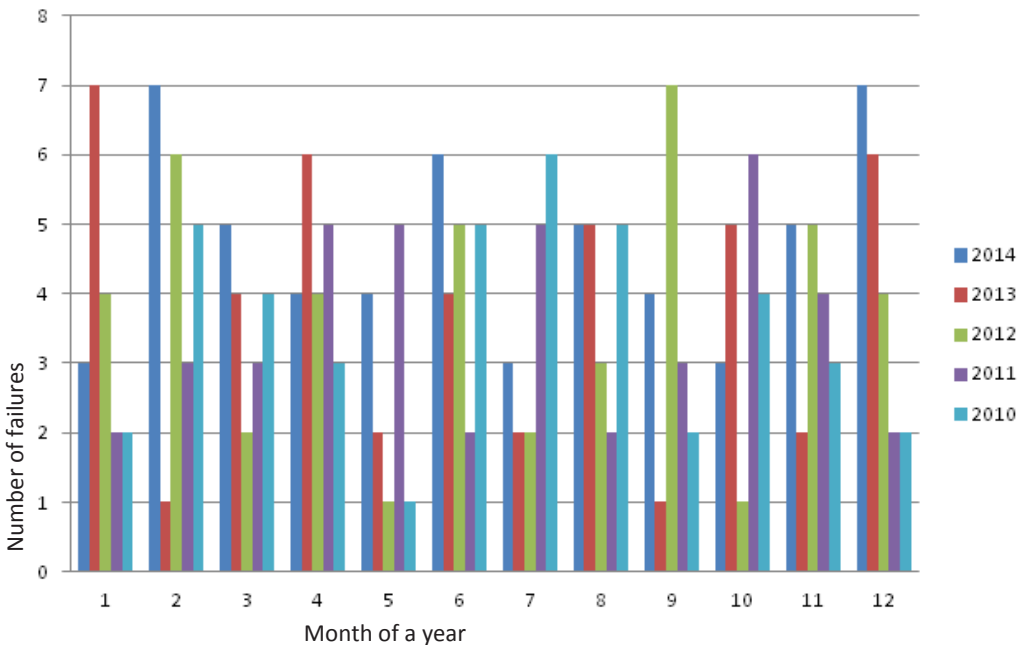


Pic. 1. Distribution of malfunctions of diesel engine nodes and their systems.





**Pic. 2. Distribution of malfunctions of parts of the cylinder-piston group of diesel engine type D49.**



**Pic. 3. Statistics of failures of cylinder covers of diesel locomotives 2TE116 depot of registration Debal'tsevo-Sortirovochnaya.**

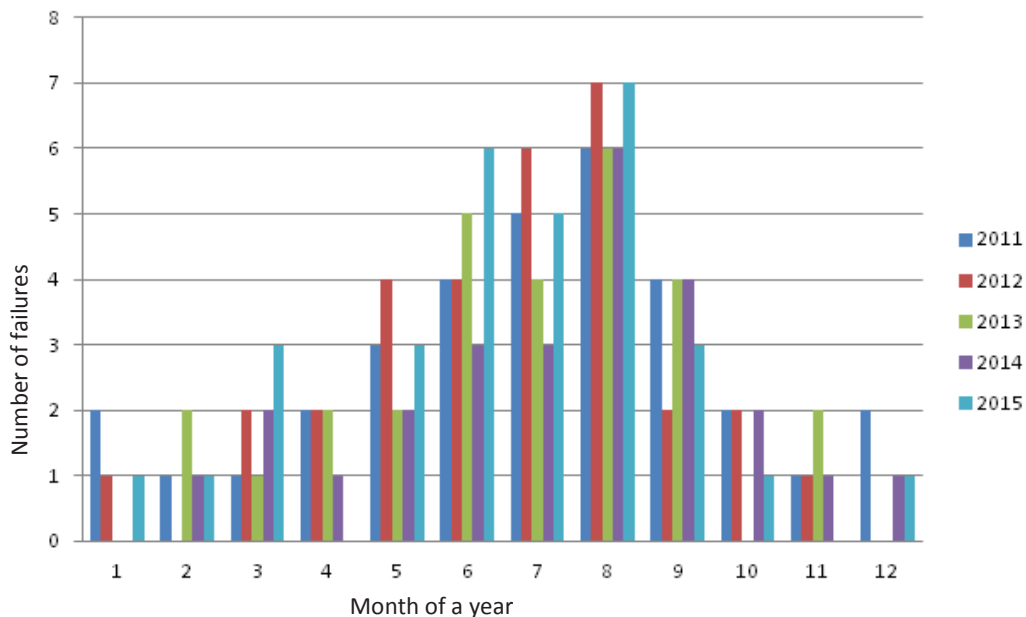
**Results.** Based on the data obtained during the period 2010–2014, it can be concluded that the least reliable node of a diesel engine is a cylinder-piston group. It accounts for up to 40–50 % of failures (Pic. 1), and in this proportion about 40 % of the damage falls on cylinder covers (Pic. 2).

For an objective assessment of the reasons for failures of cylinder covers, the nature of failures was analyzed in Debal'tsevo-Sortirovochnaya

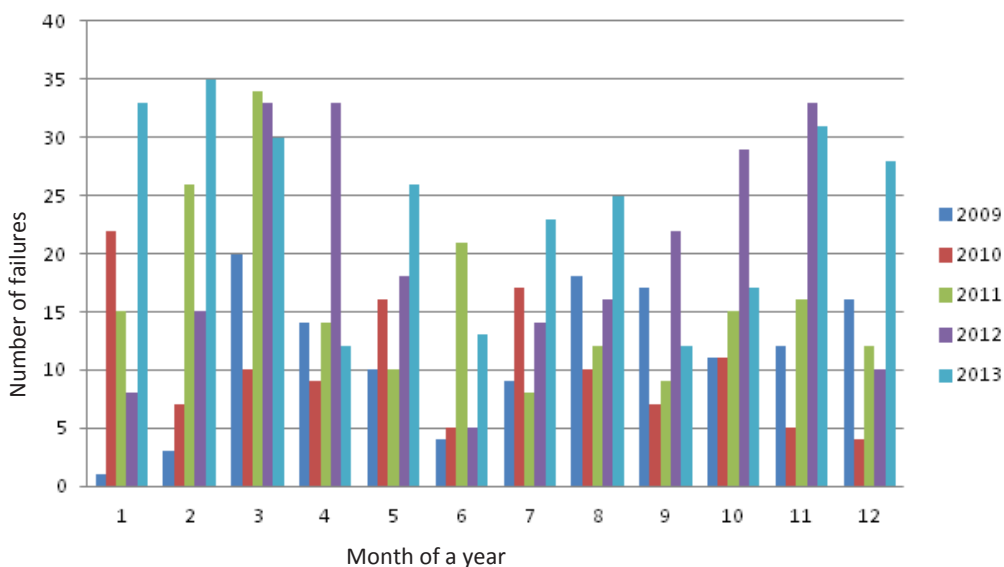
depot (Pic. 3), where diesel locomotives are predominant in passenger traffic, and Volnovakha depot for the period 2009–2013 (Pic. 4), where diesel locomotives are operated predominantly in freight traffic.

The histograms show that the main peak of failure occurs in the cold season, with the maximum temperature gradient between diesel and the environment, in contrast to the summer period, when the temperature gradient is lower. This





**Pic. 5. Statistics of failures of cylinder covers of diesel locomotives TEM7 depot of registration «ArcelorMittal Krivoy Rog».**



**Pic. 4. Statistics of failures of cylinder covers of diesel locomotives 2TE116 depot of registration Volnovakha.**

sufficiently confirms the influence of the outside air temperature on the longevity of cylinder covers, that is, a decrease in the temperature of the outside air leads to a decrease in their service life [7].

For a more reliable assessment of the impact of operating conditions on the reliability of cylinder covers, an additional failure analysis was performed at the «ArcelorMittal Krivoy Rog» industrial enterprise (2011–2015). In its locomotive depot, diesel locomotives TEM7 with diesel engine 2–2D49 are operated, which are in more difficult conditions (open pit and export work).

Analyzing the histogram in Pic. 5, it can be concluded that the greatest number of cylinder

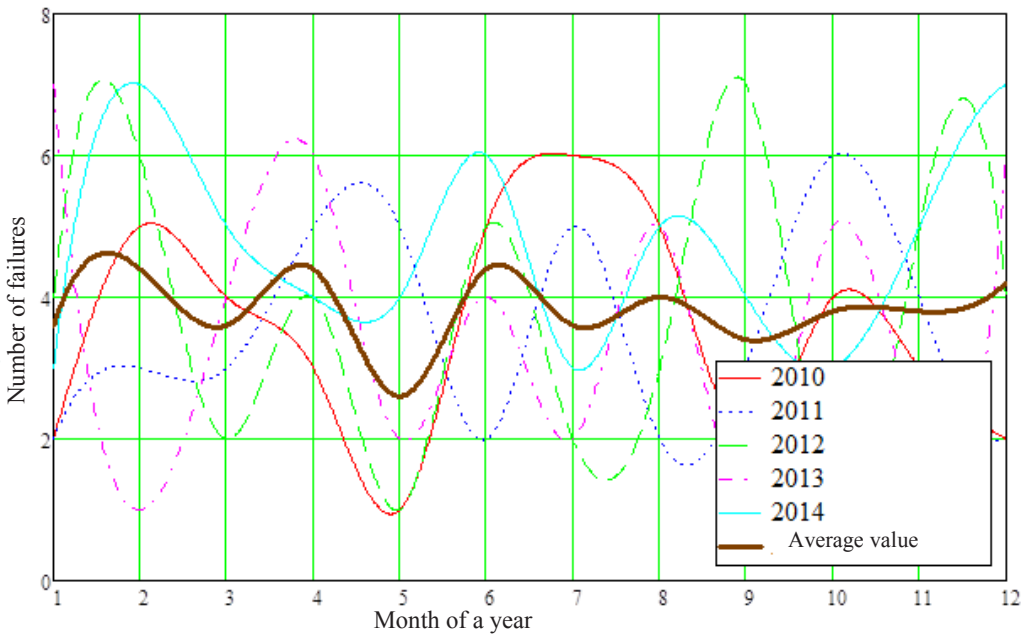
covers failures occurs in the summer. This is due to increased ambient temperature and production loads, which entails overheating of the diesel engine.

To confirm the hypotheses, an interpolation of the analyzed histograms was carried out.

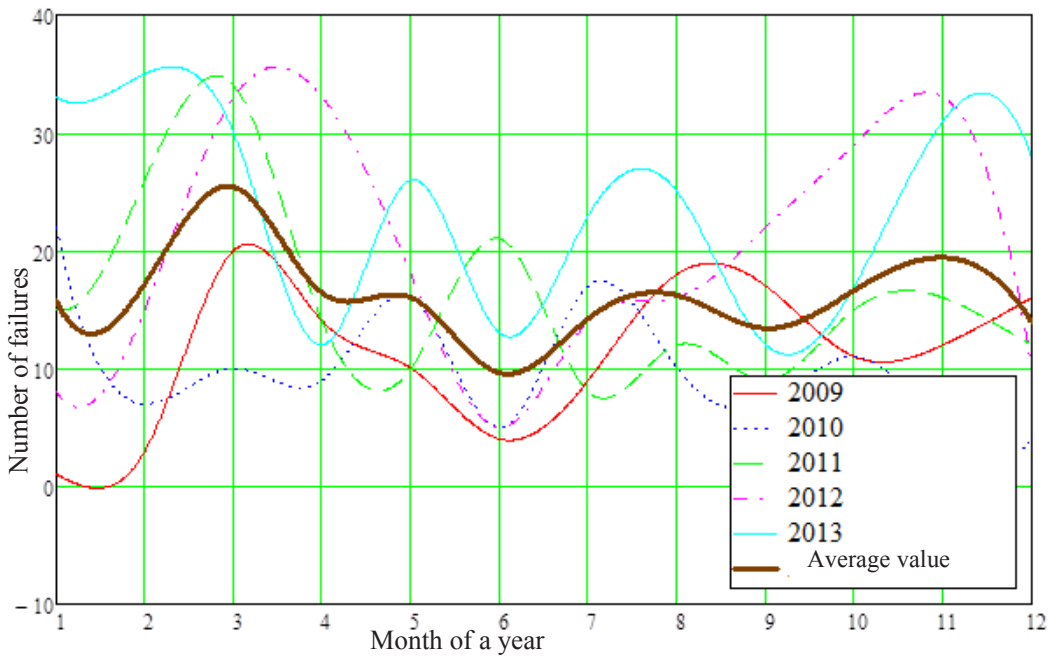
The interpolation of statistical data on Debaltsevo-Sortovo depot (Pic. 6), Volnovakha depot (Pic. 7), «ArcelorMittal Krivoy Rog» depot allows us to state that there is no clearly defined dependence of the cylinder covers failures.

In first two cases, the largest number of failures occurs during the winter period. It can be assumed that in winter the failure of cylinder covers is due





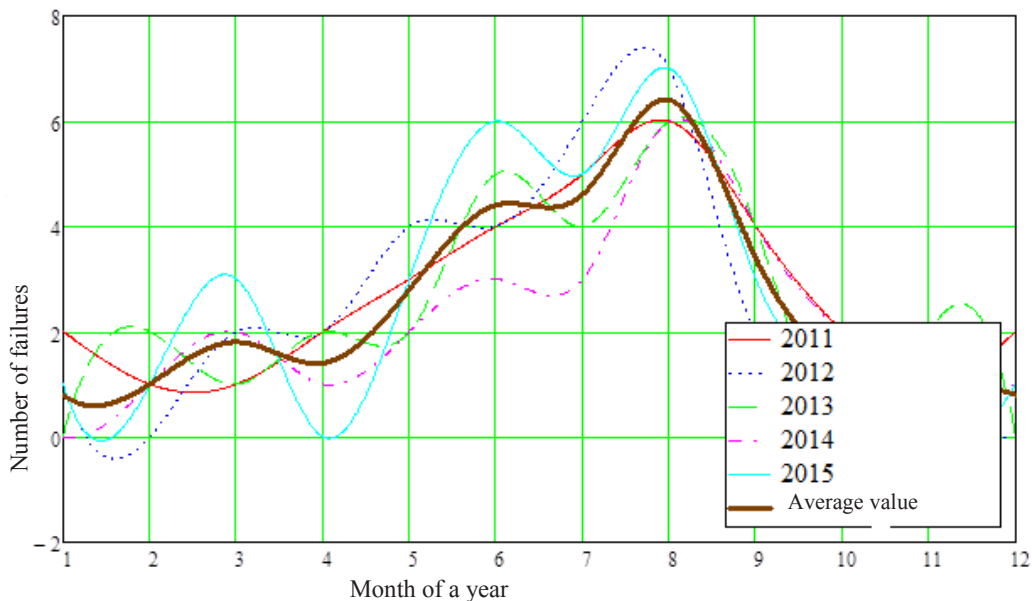
**Pic. 6. Interpolation of statistical data of cylinder cover failures of diesel locomotives 2TE116 depot of registration Debaltsevo-Sortirovochnaya.**



**Pic. 7. Interpolation of statistical data of cylinder covers failures of diesel locomotives 2TE116 of depot Volnovaha.**

to a large temperature difference between the diesel engine and the environment, for this entails the emergence and development of microfractures of the fire bottom. The summer period is characterized by frequent failures of the same cylinder covers due to overheating of the diesel engine.

According to the interpolation of statistical data of «ArcelorMittal Kryvoy Rog» depot, the greatest number of failures of cylinder covers falls on the summer period (Pic. 8). This, as already noted earlier, is due to overheating of the diesel engine, which arises due to a number of objective reasons (the peculiarity of the construction of the body of



**Pic. 8. Interpolation of statistical data of cylinder cover failures of TEM7 locomotives of depot «ArselorMittal Kryvoy Rog».**

the TEM7 locomotive, the severe operating conditions, and the unsatisfactory state of the cooling system).

**Conclusion.** The totality of the received data testifies to insignificant influence of structural features of cylinder covers of diesel locomotives type D49 on their reliability, which does not confirm the generally accepted point of view.

Based on the results of the study, it was possible to determine the influence of the ambient temperature and load conditions of the diesel engine on the longevity of the cylinder covers. It was established that under conditions close to nominal, the temperature tension of the bottom plays a decisive role here. With a decrease in operational loads, the influence of the temperature conditions of the medium comes to the fore, as evidenced by repeated studies and cross-checks of the experimental data.

The safety and reliability of the cylinder covers are affected not only by the design features, the material of manufacture, but also to a large extent by the temperature regime of the environment, operating characteristics and the type of locomotive.

Therefore, a differentiated approach is needed in determining the factors affecting the longevity of the cylinder covers. Taking into account the whole complex of factors in the development of the mathematical model of the heat stress state of the cylinder covers will allow us to more reliably calculate the range of operating conditions for the details of the cylinder-piston group of diesel engines and the extension of their service life.

## REFERENCES

1. Rolle, I. A. Increase in the service life of cylinder covers of diesel engines [Povyshenie resursa kryshek cilindrov teplovoznih dizelej]. Ph.D. (Eng.) thesis. St. Petersburg, 2006, 130 p.
2. Dulnev, P. A., Kotov, P. I. Thermal fatigue of metals [Termicheskaja ustalost' metallov]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1980, 200 p.
3. Zaorski, M. Increasing the reliability of composite cylinder covers of diesel engines [Povyshenie nadjozhnosti sostavnyh cilindrovnyh kryshek teplovoznih dizelej]. Ph.D. (Eng.) thesis. Leningrad, 1990, 101 p.
4. Salnikov, M. A. Estimating the longevity of cylinder covers of diesel engines, depending on the level of heat stress [Ocenka dolgovechnosti kryshek cilindrov teplovoznih dizelej v zavisimosti ot urovnja teplonaprjazhonnosti]. Ph.D. (Eng.) thesis. Kolomna, 1984, 214 p.
5. Myagkov, S. P. Increase of strength reliability of cylinder covers of transport diesels [Povyshenie prochnostnoj nadezhnosti kryshek cilindrov transportnyh dizelej]. Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2009, 177 p.
6. Malastovsky, N. S. Method for determining local boundary conditions on the cooling side when calculating the temperature fields of engine cylinder covers [Metodika opredelenija lokal'nyh granichnyh uslovij so storony ohlazhdenija pri raschete temperaturnyh polej kryshek cilindrov dvigatelej]. Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2011, 156 p.
7. Gorobchenko, A. N., Ryabko, K. A., Ryabko, E. V., Gushchin, A. M. Study of the effect of ambient temperature on the performance of cylinder covers of diesel engines [Issledovanie vlijanija temperatury okruzhajushhej sredy na rabotosposobnost' kryshek cilindrov teplovoznih dizelej]. Vestnik RGUPS, 2016, Iss. 1, pp. 34–42. ●

Information about the author:

**Ryabko, Evgenia V.** – engineer of the department of Railway Rolling Stock of Donetsk Institute of Railway Transport, Donetsk, Ukraine, evgeniya.ryabko@gmail.com.

Article received 16.09.2016, revised 20.01.2017, accepted 23.01.2017.





# Моделирование системы природопользования на железных дорогах



Юлия ТАГИЛЬЦЕВА  
Yulia A. TAGILTSEVA

Никита ДРОЗДОВ  
Nikita A. DROZDOV



*Тагильцева Юлия Аркадьевна – аспирант Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия.*  
*Дроздов Никита Алексеевич – аспирант Ростовского государственного университета путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия.*

## Modeling of the System of Natural Resources Management in Railway Industry

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 193)

**В статье рассмотрена стратегия создания эколого-экономической по своему предназначению системы природопользования на предприятиях железнодорожной отрасли. Процесс управления такой системой раскрывается с помощью теории игр и построения теоретико-игровой модели развития. Предложенная авторами модель может служить основой построения инновационного сценария, в котором математически доказана возможность соединить в стратегической перспективе и при заданных начальных условиях экономическую выгоду и цели государственной экологической политики, корпоративных природоохранных программ.**

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, стратегическое планирование, управление, экономика, система природопользования, железнодорожный транспорт, теория игр, модель развития.

Обязательства России соблюдать установленные правила Всемирной торговой организации неминуемо затронули национальный транспортный комплекс, имеющий по сравнению с развитыми странами невысокие экологические показатели, обусловленные изношенностью технических средств, медленным внедрением «зелёных» инноваций. Вместе с тем повышение экологичности и конкурентоспособности транспорта это неоспоримо взаимосвязанные факторы. Сегодня и в перспективе конкурентные преимущества российской транспортной системы могут быть во многом достигнуты за счёт внедрения инновационных технологий, использования возобновляемых источников энергии, экологически чистых видов транспорта, оказывающих минимальное негативное воздействие на окружающую среду [1].

Сохранение природного богатства, соблюдение экологических норм, обеспечение экологической безопасности и принятие грамотных управленческих природоохранных решений – основные задачи, решение которых возложено в этой сфере на менеджеров транспортных предприятий. Но все

это становится реальным делом лишь на основе единой стратегии, последовательно воплощения в жизнь планируемых экономических результатов.

В логике сложившихся представлений устойчивое функционирование и развитие железнодорожного транспорта России в первую очередь связаны с ОАО «РЖД». Исследования подтверждают: именно наличие единого хозяйствующего субъекта с вертикально интегрированной структурой обеспечивает экономике страны наименьшую себестоимость перевозок [3], что само по себе требует в ответ применения системного подхода, наличия хорошо отлаженной системы стратегического управления.

В настоящее время система сбалансированных показателей Д. П. Нортон и Р. С. Каплана считается одной из наиболее известных и разработанных систем стратегического управления [2]. Однако невозможность в полной мере оценить эффективность принимаемых управленческих решений делает ее уязвимой. Компенсировать такой недостаток с точки зрения экономических задач было бы, видимо, возможно на основе методов морфологического анализа, которые изучались, в частности, П. В. Куренковым, В. А. Макеевым, Э. А. Мамаевым, Е. Л. Кузиной [4, 5], но пока способы комплексного использования методов морфологического анализа и системы сбалансированных показателей отсутствуют.

В этой связи формирование социо-эколого-экономической стратегии устойчивого развития системы природопользования на железнодорожном транспорте должно включать две составляющие, а именно, повышение эффективности его деятельности, рост прибыли и рентабельности и одновременно обеспечение экологически безопасного устойчивого развития территорий.

Для рассмотрения стратегии развития системы природопользования на железнодорожном транспорте охарактеризуем ее как систему обеспечения эколого-экономической безопасности страны с помощью предприятий отрасли и при этом с учетом неизменно находящихся во взаимосвязи и взаимозависимости двух подсистем — железнодорожного транспорта и окружающей среды.

Подсистема железнодорожного транспорта включает хозяйства грузовой и коммерческой работы, пассажирское, пригород-

ное, перевозок, пути, вагонное, водоснабжения и водоотведения, электрификации и электроснабжения, автоматики и телемеханики и др. Каждое и все вместе они оказывают непосредственное влияние на компоненты подсистемы окружающей среды: климат, воздушный бассейн, почву, геологическую среду, водные объекты.

В контексте развития инфраструктуры железнодорожного транспорта можно выделить социально-экономические объекты, финансируемые с участием государственного бюджета; строительство подъездных путей к новым природным месторождениям на основе договоров государственно-частного партнерства; увеличение пропускных способностей железнодорожных линий за счет средств ОАО «РЖД», а также создание путей необщего пользования силами частных инвесторов. Причем особо важной задачей сегодня остается определение объемов финансирования и экономических стимулов для инфраструктурных программ [3].

В ходе решения этой задачи составные элементы управления процессами природопользования можно представить в виде цепочки: планирование—инвестиции—технологии—инфраструктура—природоохранные мероприятия—воздействие на природу—эколого-экономическая эффективность. Исходя из такой схемы, весомую нагрузку берут на себя показатели планирования, к которым относятся инвестиции в новые технологии, инвестиции в природосберегающую инфраструктуру, темпы внедрения новых экологических технологий, полезный эффект от внедрения новых технологий, экономический эффект от природоохранной инвестиционной деятельности [4].

Рассматривая эколого-экономическую эффективность железнодорожного транспорта, необходимо помнить, что система природопользования, как уже подчеркивалось, предполагает жесткую взаимную зависимость двух подсистем: железнодорожного транспорта и окружающей среды [5], поэтому мы будем использовать теорию игр, которая в данном случае позволяет признавать наличие объединяющих стратегий сущностью мирового хозяйства, экономики и политики.

Теория игр делает упор на стратегическое взаимодействие между двумя или более игроками, каждый из них имеет набор доступ-



ных стратегий, и выигрыш любого при этом зависит от выбранных стратегий всеми игроками. В отличие от игры против «мёртвой природы», где игрок максимизирует свой выигрыш в данной фиксированной среде, в теории игр каждый игрок стремится максимизировать свой выигрыш при условии, что все остальные участники также стремятся максимизировать свои соответствующие выплаты. Следовательно, при  $n$ -игроках мы получаем  $n$  одновременно максимально решенных проблем.

Самой известной и наиболее часто используемой концепцией решения в теории игр, которую и мы берем на вооружение, является равновесие Нэша. Суть в ситуации, когда ни один игрок не имеет стимула отклониться в одностороннем порядке от выбранной стратегии. То есть он не может улучшить свой выигрыш, отклоняясь от неё. Кроме того, положение не меняется и в случае, если два игрока одновременно в выигрыше, в то время как третий получает более низкую отдачу. Каждый игрок стремится к балансу вместо того, чтобы максимально увеличить свой собственный выигрыш без учёта получения выигрыша другими. Часто может встречаться более одного равновесия. В таких случаях игроки, как правило, имеют разные предпочтения и пытаются сконцентрироваться на одном варианте [6].

Определим условия игры в рамках социально-эколого-экономической стратегии природоохранной деятельности предприятия железнодорожной отрасли. Качество окружающей среды представляет колоссальный интерес для общества, и оно обеспечивается взаимодействием субъектов экономического (железнодорожный транспорт) и экологического (природная среда). Третьим важнейшим компонентом системы выступает государство, которое определяет характер природопользования, воздействуя на предприятия посредством налоговой политики. Игроками в такой трёхэлементной модели являются железнодорожный транспорт и государство, критерием игры – воздействие на окружающую среду.

Железнодорожный транспорт, используя природные ресурсы, производит услуги, которые продает на рынке. Следовательно, с точки зрения теории игр его интерес в системе природопользования вправе быть обозначен как выигрыш в затратах на природо-

пользование при осуществлении услуг, а полезность для железных дорог может восприниматься как экономический результат осуществления какой-либо из игровых стратегий природопользования. При повышении экономического результата цена на услуги железнодорожного транспорта снижается или остается неизменной, при уменьшении – растет. Это означает, что математически сам результат будет выглядеть как отношение единицы к уровню затрат на природопользование. Помимо чисто экономического показателя здесь присутствует некий коэффициент  $m$ , который связан с экономией в платежах за использование природных ресурсов со стороны государства. При улучшении качества природной среды государство снижает размер выплат, что приводит к дополнительной выгоде транспорта.

Государство, будучи вторым игроком, интересом своим обозначает увеличение сбора платежей за неэффективное природопользование и повышение качества природной среды. Оно может косвенно воздействовать на экологическую политику компаний, определяя размер платежей за природопользование. Полезность в теоретико-игровой модели для государства выражена как сумма размера платежей за природопользование и синергетического коэффициента  $k$ , повышающего полезность для государства в случае снижения количества выплат предприятиями (качество природной среды увеличивается) и понижающего ее в случае ухудшения качества природопользования (загрязнение природной среды).

Таким образом, теоретико-игровая модель в игре «Интересы в системе природопользования на железнодорожном транспорте» предполагает учитывать:

- Количество игроков – два: железнодорожный транспорт (ЖД) и государство (ГОС).
- Количество стратегий – по три для каждого игрока: консервативный сценарий (КОНС), инновационный сценарий (ИННС), кризисный сценарий (КРЗС).
- Единицы полезности каждого из игроков – условный «ютиль». При этом ютили для двух игроков будут различаться, то есть, не имеет смысла сравнивать полезность по числовому показателю. Например, если при реализации какой-либо стратегии  $S$  для лю-

бой пары игроков полезности обоих будут равны одному и тому же числу, это не означает, что у них одинаковые полезности.

Основная задача планирования повышения эколого-экономической эффективности на железнодорожном транспорте — выбор оптимальных действий с точки зрения затрат ресурсов и конечного результата. Поскольку железнодорожный транспорт действует в своих интересах, а государство — в своих, логично предположить, что, используя положения теории игр, можно построить модель взаимодействия игроков, на основании которой удастся сделать выводы о наиболее или наименее эффективных вариантах для того или иного игрока, а значит, спрогнозировать их действия, что поможет математически определить выигрышную для них стратегию природопользования. Итак, рассмотрим более подробно процесс взаимодействия игроков.

Прежде всего необходимо учитывать, что игроки действуют независимо друг от друга. Государство самостоятельно определяет приоритеты политики природопользования, железнодорожный транспорт сам выбирает для себя экономическую политику на стыке с экологией. Следовательно, можно утверждать, что:

- $S_{жд} = (\text{КОНС}, \text{ИННС}, \text{КРЗС})$ ;
- $S_{гос} = (\text{КОНС}, \text{ИННС}, \text{КРЗС})$ ;
- $U_{жд} = \{1; 9\}$ ;
- $U_{гос} = \{1; 9\}$ .

Как уже было сказано, для железнодорожного транспорта выигрышем является сумма экономии затрат на природопользование и выигрыша от экономии на платежах за природопользование. Математически это сводится к формуле:

$$U_{жд} = (4,5 - C) + m, \quad (1)$$

где  $C$  — затраты на повышение эколого-экономической эффективности;  $m$  — коэффициент экономии на платежах за природопользование.

Число 4,5 взято как медиана между 0 и 9, то есть некоторая точка, в которой стартовая полезность для железнодорожного транспорта определяется серединой шкалы. Иными словами, изначально полезность неизменна и равняется середине между минимумом и максимумом. Методика в расчете коэффициента  $m$  также требует комментариев. Шкала его измерения зависит от того, какую политику изберет государство, то есть

коэффициент будет уменьшаться при кризисном сценарии (государство занимается «затыканием дыр» в бюджете, из-за чего не мотивирует природопользователей вкладывать деньги в инновационное развитие) и увеличиваться при инновационном сценарии (государство проводит соответствующую фискальную политику, увеличивая размер платежей за неэффективное природопользование и тем самым побуждая предприятия вкладывать деньги в «зелёное развитие»). Отсюда:

- при кризисном сценарии:  $C \rightarrow \min$ ,  $m \rightarrow \min$ ;
- при консервативном сценарии:  $C = \text{Const}$ ,  $m \rightarrow \min$ ;
- при инновационном сценарии:  $C \rightarrow \max$ ,  $m \rightarrow \max$ .

При консервативном сценарии, неизменной политике природопользования  $m \rightarrow \min$ , поскольку, как показывает практика, в долгосрочной перспективе даже при отсутствии изменения экстерналий составляющая потенциального выигрыша железнодорожного транспорта от сокращения платежей за природопользование будет снижаться, ибо эффективность используемых в процессе деятельности технологий неизбежно упадет, а обновление технологий не будет успевать за требованиями к безопасности природопользования. Тем не менее надо отметить, что в случае сохранения консервативного сценария показатель  $m$  хотя и будет стремиться упасть до минимальных значений, это станет происходить все же существенно медленнее, чем при кризисном сценарии. Анализируя показатели, приходим к выводу, что  $U_{жд} = m - C$ , то есть полезность отклоняется в позитивную сторону при превышении размера сэкономленных платежей за природопользование над финансовыми затратами на модернизацию производства, в негативную — в обратной ситуации.

Теперь о выигрыше государства в игре. Напомним, что для него таковым является сумма финансового показателя улучшения качества природной среды и размера платежей за природопользование. Математически это выглядит следующим образом:

$$U_{гос} = (4,5 + Q) + k, \quad (2)$$

где  $Q$  — агрегированный показатель качества природной среды;  $k$  — коэффициент плат на восстановление разрушенной природной среды. Условно можно сказать, что  $k = 1 / m$ .



Матрица теоретико-игровой модели

	ГОС			
		КОНС	КРЗС	ИННС
ЖД	КОНС	4,5/4,5+	4,5-/4,5	4,5-/4,5
	КРЗС	4,5-/4,5-	4,5-/4,5-	4,5-/4,5-
	ИННС	4,5-/4,5+	4,5-/4,5-	4,5+/4,5+

Агрегированный показатель  $Q$  имеет нематериальную основу для государства и не подлежит количественному измерению. Эффект данного показателя выражается такими составляющими, как уменьшение вреда окружающей среде, повышение качества окружающей среды, рост лояльности избирателей по отношению к государству вследствие улучшения состояния природных ресурсов и пр. Остальные показатели формируются аналогично ситуации с игроком «Железнодорожный транспорт».

Так выглядят следующие зависимости и закономерности:

- при кризисном сценарии:  $Q \rightarrow \min$ ,  $k \rightarrow \max$ ;
- при консервативном сценарии:  $Q = \text{Const}$ ,  $k \rightarrow \max$ ;
- при инновационном сценарии:  $Q \rightarrow \max$ ,  $k \rightarrow \min$ .

Теперь совместим данные по каждому сценарию для каждого из игроков:

- при кризисном сценарии:  $C \rightarrow \min$ ,  $m \rightarrow \min$ ;  $Q \rightarrow \min$ ,  $k \rightarrow \max$ ;
- при консервативном сценарии:  $C = \text{Const}$ ,  $m \rightarrow \min$ ;  $Q = \text{Const}$ ,  $k \rightarrow \max$ ;
- при инновационном сценарии:  $C \rightarrow \max$ ,  $m \rightarrow \max$ ;  $Q \rightarrow \max$ ,  $k \rightarrow \min$ .

Исходя из опыта анализа применения природоохранных решений на железнодорожном транспорте Е. Л. Кузиной, возьмем утверждать, что в долгосрочной перспективе положительный эффект от внедрения природосберегающих технологий выше, чем инвестиций в природоохрану [4], то есть  $m > C$ , и значит, можно определить, как изменятся показатели полезности игроков в разных сценариях. Для этого составим матрицу теоретико-игровой модели для каждого игрока в процессе игры (таблица 1). Знак «+» означает повышение полезности игрока в профиле стратегий, знак «-» — снижение.

В процессе образовалось три равновесия по Нэшу, не все из которых являются Парето-эффективными. Очевидно, что Парето-эффективным вариантом можно считать лишь стратегию «ИННС-ИННС».

Таким образом, математически доказано, что в стратегической перспективе и при заданных начальных условиях (инновационная направленность государственной политики) неизбежно выгодна совместимость инновационности и экологичности в программах развития железнодорожного транспорта. Это обуславливает необходимость стратегического планирования с учетом роста эколого-экономической эффективности деятельности предприятий отрасли в системе природопользования и внедрения природосберегающих технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетянц И. В. Россия в ВТО (требования к экологии транспортного комплекса) // Мир транспорта. — 2013. — № 5. — С. 144–152.
2. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию: Пер. с англ. — М.: Олимп-Бизнес, 2003. — 304 с.
3. Иноземцева С. М. Анализ развития инфраструктуры железных дорог // Мир транспорта. — 2013. — № 5. — С. 68–77.
4. Кузина Е. Л., Дроздов Н. А., Тагильцева Ю. А., Слепцова О. С. Совершенствование подходов к планированию природоохранных мероприятий в системе природопользования на железнодорожном транспорте // Наука и образование: хозяйство и экономика, предпринимательство, право и управление. — 2015. — № 12. — С. 100–103.
5. Кузина Е. Л. Подходы к стратегическому планированию в системе природопользования на железнодорожном транспорте // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2014». — Ростов-н/Д: РГУПС, 2014. — С. 184–186.
6. Hausken, Kjell, Plumper Thomas. Hegemons, Leaders and Followers: A Game-Theoretic Approach to the Postwar Dynamics of International Political Economy. // Journal of World-Systems Research (1997). № 3. [Электронный ресурс]: <http://jwsr.pitt.edu/ojs/index.php/jwsr/article/view/118>. Доступ 20.12.2016. ●

Координаты авторов: **Тагильцева Ю. А.** – 79185065822@ya.ru, **Дроздов Н. А.** – dharmaface@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 18.07.2016, принята к публикации 20.12.2016.



## MODELING OF THE SYSTEM OF NATURAL RESOURCES MANAGEMENT IN RAILWAY INDUSTRY

*Tagiltseva, Yulia A., Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia.  
Drozdov, Nikita A., Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia.*

### ABSTRACT

The article considers the strategy of creation of ecological and economic system of nature management at enterprises of the railway industry. The process of managing such a system is revealed with the help of game theory and the construction of a game-theoretic model of development. The model

proposed by the authors can serve as a basis for constructing an innovative scenario in which the possibility of combining, in a strategic perspective and under given initial conditions, the economic benefits and goals of state environmental policy, corporate environmental programs, is mathematically proven.

*Keywords:* ecological safety, strategic planning, management, economy, nature management system, railway transport, game theory, development model.

**Background.** *Russia's obligations to observe the established rules of the World Trade Organization inevitably affected the national transport complex, which, in comparison with the developed countries, has low environmental indicators due to deterioration of technical means, and the slow introduction of «green» innovations. At the same time, increasing the environmental friendliness and competitiveness of transport is undeniably interrelated factors. Today and in the long term, the competitive advantages of the Russian transport system can be largely achieved through introduction of innovative technologies, use of renewable energy sources, and environmentally friendly modes of transport that have a minimal negative impact on the environment [1].*

*Preservation of natural wealth, compliance with environmental standards, ensuring environmental safety and adoption of competent environmental management solutions are the main tasks, the solution of which is assigned to managers of transport enterprises in this area. But all this becomes a real thing only on the basis of a unified strategy, consistent implementation of planned economic results.*

*In the logic of existing ideas, the stable functioning and development of Russia's railway transport is primarily connected with JSC Russian Railways. Research confirms: it is the presence of a single economic entity with a vertically integrated structure that provides the country's economy with the lowest cost of transportation [3], which in itself requires a systematic approach and availability of a well-established system of strategic management.*

*At present, the system of balanced indicators of D. P. Norton and R. S. Kaplan is considered as one of the most well-known and developed systems of strategic management [2]. However, the inability to fully assess the effectiveness of management decisions makes it vulnerable. It would probably be possible to compensate for this shortcoming from the point of view of economic tasks on the basis of methods of morphological analysis, which were studied in particular by P. V. Kurenkov, V. A. Makeev, E. A. Mamaev, E. L. Kuzina [4, 5], but so far there are no methods of complex use of methods of morphological analysis and a system of balanced indicators.*

*In this regard, the formation of a socio-ecological and economic strategy for sustainable development of the nature management system in rail transport should include two components, namely, improving its efficiency, increasing profit and profitability, while ensuring environmentally sound sustainable development of the territories.*

**Objective.** *The object of the authors is to consider the issue of modeling of nature management system on railways.*

**Methods.** *The authors use general scientific and engineering methods, game theory methods, comparative analysis, scientific description.*

**Results.** *To consider the strategy for development of the nature management system in railway transport, we will characterize it as a system for ensuring the country's environmental and economic safety with the help of the industry's enterprises, and at the same time, taking into account two subsystems invariably interconnected and interdependent – railway transport and the environment.*

*The subsystem of railway transport includes the economy of freight and commercial work, passenger, suburban, transportation, track, car, water supply and water disposal, electrification and power supply, automation and telemechanics, etc. Each and all together they have a direct impact on the components of the subsystem of the environment: climate, air basin, soil, geological environment, water objects.*

*In the context of development of the railway transport infrastructure, it is possible to single out socio-economic objects financed with participation of the state budget; construction of access roads to new natural deposits on the basis of public-private partnership agreements; increase in the capacity of railway lines at the expense of JSC Russian Railways funds, as well as creation of tracks for non-private use by private investors. And the most important task today is to determine the amount of financing and economic incentives for infrastructure programs [3].*

*In the course of solving this task, the elements of management of nature management processes can be presented in the form of a chain: planning–investment–technology–infrastructure–nature protection measures–impact on nature–eco-economic efficiency. Based on such a scheme, the planning parameters, such as investments in new technologies, investments in environmentally friendly infrastructure, the pace of introduction of new environmentally friendly technologies, the beneficial effect from introduction of new technologies, the economic effect of environmental investment activity [4] take on a weighty load.*

*Considering the ecological and economic efficiency of rail transport, it must be remembered that the nature management system, as already stressed, assumes a rigid mutual dependence of two subsystems: railway transport and the environment [5], so we will use the theory of games, which in this case allows us to recognize the existence of unifying strategies of the world economy, economy and politics.*



The matrix of the game-theoretic model

	ST			
		CONS	CRIS	INNS
RAIL	CONS	4,5/4,5+	4,5-/4,5	4,5-/4,5
	CRIS	4,5-/4,5-	4,5-/4,5-	4,5-/4,5-
	INNS	4,5-/4,5+	4,5-/4,5-	4,5+/4,5+

The game theory emphasizes the strategic interaction between two or more players, each of them has a set of available strategies and the winnings of any one depends on the chosen strategies of all players. Unlike the game against the «dead nature», where the player maximizes his winnings in this fixed environment, in game theory, each player seeks to maximize his winnings, provided that all other participants also tend to maximize their respective payouts. Therefore, with *n*-players, we get *n* simultaneously maximally resolved problems.

The most famous and most commonly used concept of the solution in game theory, which we are also using, is the Nash equilibrium. The bottom line is in a situation where no player has the incentive to deviate unilaterally from the chosen strategy. That is, he cannot improve his winnings by deviating from it. In addition, the situation does not change if two players win simultaneously, while the third receives a lower return. Each player seeks to balance, rather than maximizing his own winnings without taking into account winning of others. Often there can be more than one equilibrium. In such cases, players tend to have different preferences and try to concentrate on one option [6].

Let's determine the conditions of the game within the framework of the socio-ecological and economic strategy of the nature protection activity of the railway enterprise. The quality of the environment is of enormous interest to society, and it is ensured by the interaction of economic entities (rail transport) and environmental (natural environment). The third most important component of the system is the state, which determines the nature of nature management, influencing enterprises through tax policy. The players in this three-element model are railway transport and the state, the game criterion is the impact on the environment.

Railway transport, using natural resources, produces services that are sold on the market. Hence, from the point of view of game theory, its interest in the system of nature management is entitled to be designated as a gain in environmental management costs in provision of services, and utility for railways can be perceived as an economic result of implementation of any of the game's nature use strategies. With an increase in the economic result, the price for railway transport services is reduced or remains unchanged, with a decrease – is increasing. This means that mathematically the result itself will look like a ratio of one to the level of the costs of nature management. In addition to the purely economic indicator, there is a certain coefficient *m*, which is associated with savings in payments for the use of natural resources by the state. When improving the quality of the natural environment, the state reduces the amount of payments, which leads to additional benefits of transport.

The state, being the second player, denotes via its interest an increase in collection of payments for inefficient use of natural resources and improvement of the quality of the natural environment. It can indirectly affect the environmental policy of companies, determining the amount of payments for nature

management. The usefulness in the game-theoretic model for the state is expressed as the sum of payments for the use of natural resources and the synergistic coefficient *k* that increases utility for the state in the event of a decrease in the number of payments by enterprises (the quality of the natural environment increases) and decreasing it in the event of deterioration in the quality of nature use (pollution of the natural environment).

Thus, the game-theoretic model in the game «Interests in the system of nature management in rail transport» assumes that:

- Number of players – two: railway transport (RAIL) and state (ST).

- Number of strategies – three for each player: conservative scenario (CONS), innovative scenario (INNS), crisis scenario (CRIS).

- Units of utility of each player – a conditional «utile».

At the same time utilities for two players will differ, that is, it makes no sense to compare the utility by the numerical value. For example, if in the implementation of any strategy *S* for any pair of players, the utility of both will be equal to the same number, this does not mean that they have the same utility.

The main task of planning of the improvement of environmental and economic efficiency in railway transport is the selection of optimal actions in terms of resource costs and the final result. Since rail transport operates in its own interests and the state operates in its own interests, it is logical to assume that, using the provisions of game theory, it is possible to build a model of players' interaction, on the basis of which it will be possible to draw conclusions about the most or less effective options for a particular player, predict their actions, which will help mathematically determine the winning strategy for nature management. So, let's consider in more detail the process of interaction between players.

First of all, it is necessary to take into account that the players act independently of each other. The state independently determines the priorities of the nature use policy, the railway transport chooses for itself an economic policy at the interface with the environment. Therefore, it can be argued that:

- $S_{rail} = (CONS, INNS, CRIS)$ ;
- $S_{st} = (CONS, INNS, CRIS)$ ;
- $U_{rail} = \{1; 9\}$ ;
- $U_{st} = \{1; 9\}$ .

As it was already said, for railway transport the gain is the sum of economy of expenses on nature management and a gain from economy on payments for nature management. Mathematically, this reduces to the formula:

$$U_{rail} = (4,5 - C) + m, \tag{1}$$

where *C* is cost of improving environmental and economic efficiency; *m* is coefficient of saving on payments for nature management.

The number 4.5 is taken as the median between 0 and 9, that is, a point where the starting utility for rail transport is determined by the middle of the scale. In other words, initially the utility is unchanged and equals the middle between the minimum and the

maximum. The methodology for calculating the coefficient  $m$  also requires comments. The scale of its measurement depends on what kind of policy the state chooses, that is, the coefficient will decrease in the crisis scenario (the state is engaged in «shutting holes» in the budget, which is why it does not motivate nature users to invest in innovative development) and increase under the innovative scenario (the state carries out a corresponding fiscal policy, increasing the amount of payments for inefficient use of natural resources and thereby encouraging enterprises to invest in «green development»). From here:

- in the crisis scenario:  $C \rightarrow \min, m \rightarrow \min$ ;
- in the conservative scenario:  $C = \text{Const}, m \rightarrow \min$ ;
- in the innovative scenario:  $C \rightarrow \max, m \rightarrow \max$ .

In the conservative scenario, the unchanged nature management policy  $m \rightarrow \min$ , since, as practice shows, in the long term, even if there is no change in externalities, the component of the potential winnings of rail transport from a reduction in payments for the use of natural resources will decrease, because the effectiveness of the technologies used in the process will inevitably fall, technologies will not keep pace with the requirements for environmental management. Nevertheless, it should be noted that if the conservative scenario is preserved, the indicator  $m$ , although it tends to fall to the minimum values, it will still happen much more slowly than in the crisis scenario. Analyzing the indicators, we come to the conclusion that  $U_{\text{rail}} = m - C$ , that is, the utility deviates in the positive direction when the amount of the saved payments for the use of natural resources exceeds the financial expenses for the modernization of production, in the negative – in the reverse situation.

Now about winning of the state in the game. Recall that for the state, this is the sum of the financial indicator of improving the quality of the natural environment and the amount of payments for nature management. Mathematically, it looks like this:

$$U_{\text{st}} = (4,5 + Q) + k, \quad (2)$$

where  $Q$  is an aggregated indicator of the quality of the natural environment;  $k$  is coefficient of payment for restoration of the destroyed natural environment. Conditionally, we can say that  $k = 1/m$ .

The aggregated indicator  $Q$  has an intangible basis for the state and is not quantifiable. The effect of this indicator is expressed by such components as harm reduction to the environment, improving the quality of the environment, increasing voter loyalty to the state due to the improvement of the state of natural resources, etc. Other indicators are formed in a similar way to the situation with the player «Railway Transport».

So the following dependencies and patterns look:

- in the crisis scenario:  $Q \rightarrow \min, k \rightarrow \max$ ;
- in the conservative scenario:  $Q = \text{Const}, k \rightarrow \max$ ;
- in the innovative scenario:  $Q \rightarrow \max, k \rightarrow \min$ .

Let's now combine data for each scenario for each player:

- in the crisis scenario:  $C \rightarrow \min, m \rightarrow \min$ ;  $Q \rightarrow \min, k \rightarrow \max$ ;
- in the conservative scenario:  $C = \text{Const}, m \rightarrow \min$ ;  $Q = \text{Const}, k \rightarrow \max$ ;

- in the innovative scenario:  $C \rightarrow \max, m \rightarrow \max$ ;  $Q \rightarrow \max, k \rightarrow \min$ .

Based on the experience of analyzing the application of environmental solutions in railway transport by E. L. Kuzina, let's say that in the long term, the positive effect of implementing environmental technologies is higher than investments in environmental protection [4], that is,  $m > C$ , and therefore it is possible to determine how the players' performance indicators in different scenarios will change. To do this, we will compose a matrix of the game-theoretic model for each player in the game process (Table 1). The sign «+» means an increase in the utility of the player in the profile of strategies, the sign «-» – decrease.

In the process, three Nash equilibriums were formed, not all of which are Pareto-efficient. It is obvious that only the strategy of INNS-INNS can be considered a Pareto-effective option.

**Conclusion.** Thus, it is mathematically proven that in the strategic perspective and under given initial conditions (innovative orientation of state policy), the compatibility of innovation and environmental compatibility in the programs of railway transport development is inevitably beneficial. This determines the need for strategic planning, taking into account the growth of the ecological and economic efficiency of the enterprises of the industry in the system of nature management and the introduction of environmentally friendly technologies.

## REFERENCES

1. Karapetyants, I. V. Russia and WTO (Requirements concerning Ecology of Transport Complex). *World of Transport and Transportation*, Vol.11, 2013, Iss. 5, pp. 144–152.
2. Kaplan, R. S., Norton, D. P. Balanced system of indicators. From strategy to action [*Sbalansirovannaja sistema pokazatelej. Ot strategii k dejstvuju: Transl. from English*]. Moscow, Olimp-Business publ., 2003, 304 p.
3. Inozemtseva, S. M. Analysis of Infrastructure Development of Railways. *World of Transport and Transportation*, Vol.11, 2013, Iss. 5, pp. 68–77.
4. Kuzina, E. L., Drozdov, N. A., Tagiltseva, Yu. A., Sleptsova, O. S. Improvement of approaches to environmental planning in the system of nature management in railway transport [*Sovershenstvovanie podhodov k planirovaniju prirodoohrannyh meroprijatij v sisteme prirodopol'zovanija na zheleznodorozhnom transporte*]. *Nauka i obrazovanie: hozjajstvo i ekonomika, predprinimatel'stvo, pravo i upravlenie*, 2015, Iss. 12, pp. 100–103.
5. Kuzina, E. L. Approaches to strategic planning in the system of nature management in rail transport [*Podhody k strategicheskomu planirovaniju v sisteme prirodopol'zovanija na zheleznodorozhnom transporte*]. *Proceedings of the international scientific and practical conference «Transport-2014»*. Rostov-on-Don, RSTU publ., 2014, pp. 184–186.
6. Hausken, Kjell, Plumper, Thomas Hegemons, Leaders and Followers: A Game-Theoretic Approach to the Postwar Dynamics of International Political Economy. *Journal of World-Systems Research*, 1997, Iss. 3. <http://jwsr.pitt.edu/ojs/index.php/jwsr/article/view/118>. Last accessed 20.12.2016. ●

Information about the authors:

**Tagiltseva, Yulia A.** – Ph.D. student of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, 79185065822@ya.ru.

**Drozdov, Nikita A.** – Ph.D. student of Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, dharmaface@yandex.ru.

Article received 18.07.2016, accepted 20.12.2016.





# Вероятностный метод нормирования ЭМС железнодорожной автоматики



Константин БОЧКОВ  
Konstantin A. BOCHKOV

Дмитрий КОМНАТНЫЙ  
Dmitry V. KOMNATNY



*Бочков Константин Афанасьевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Беларусь. Комнатный Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Беларусь.*

## Probabilistic Method for Rationing of EMC of Railway Automatics

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 200)

**Рассматривается научно-техническая проблема нормирования уровня помехоустойчивости и жёсткости испытаний железнодорожной автоматики и телемеханики. Проблема остается актуальной в связи с широким внедрением микропроцессорных и компьютерных систем автоматики, обеспечивающих безопасность движения поездов. Поставлена задача найти нормы помехоустойчивости на основе учёта вероятностного характера уровня помех и уровня помехоустойчивости элементной базы аппаратуры. Методом «нагрузка-устойчивость» получены уравнения для определения нормируемого значения помехозащищенности. Рассчитанные по предлагаемой методике нормы позволяют оптимизировать жёсткость испытаний и сопутствующие им конструкторские решения.**

*Ключевые слова:* железная дорога, системы автоматики и телемеханики, электромагнитная совместимость, нормирование, вероятностный подход, методы испытаний, вероятность сбоя, безопасность движения поездов.

**М**икроэлектронные и микропроцессорные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) выполняют ответственные функции обеспечения безопасности движения поездов. Поэтому к ним предъявляются высокие требования по электромагнитной совместимости (ЭМС), отраженные в нормативно-технической документации.

В этой документации по сложившейся практике нормы на ЭМС выбираются по принципу наихудших условий, класс жёсткости испытаний определяется набором качественных признаков окружающей электромагнитной обстановки (ЭМО), а степень жёсткости испытаний взята с целью воспроизводства максимального уровня помех. Основными стандартизированными величинами для описания ЭМС выступают «уровень электромагнитной совместимости», то есть максимальный уровень помех, действующих в условиях эксплуатации, и «уровень невосприимчивости». Для таких величин в нормативно-технической документации задаются фиксированные значения. Поэтому данный подход к установлению норм на ЭМС по принципу построения является детерминистским.

С другой стороны, в современной теории СЖАТ [1–3] уровень безопасности и электромагнитной совместимости выражается вероятностью сбоя аппаратуры во время её эксплуатации.

Следовательно, задача нормирования ЭМС таких систем должна решаться с позиций обеспечения требуемой вероятности сбоя аппаратуры в ЭМО и с учётом вероятностных свойств воздействующих помех и уровней помехоустойчивости. При этом необходимо обращать внимание и на особенности построения микроэлектронных и микропроцессорных СЖАТ. Для обеспечения требуемого уровня безопасности они строятся по принципу «два из двух» или «два из трёх» и включают в себя, помимо собственно вычислительных каналов, блоки схем сравнения и блоки схем отключения. Первые выполняют функцию обнаружения сбоев, вторые – функцию блокировки вычислительного канала в защитном состоянии при обнаружении сбоя. Согласно [2], вероятность сбоя аппаратуры  $P_{mf}$  определяется вероятностью сбоя вычислительного канала  $P_{mfch}$ , вероятностью обнаружения этого сбоя  $P_{dt}$  и вероятностью перевода канала в защитное состояние  $P_{dsch}$ :  $P_{mf} = P_{mfch}(1 - P_{dt}P_{dsch})$ .

Так как блоки схем сравнения и блоки схем отключения оказывают существенное влияние на безопасность системы и работают по принципу самопроверки, то логично считать заданными величины вероятностей  $P_{dt}$  и  $P_{dsch}$  наряду с  $P_{mfch}$ . Причем вероятности  $P_{dt}$  и  $P_{dsch}$  должны быть весьма высокими и являются вероятностями безотказной работы соответствующих блоков в данной ЭМО. Тогда для нормирования используются величины вероятностей отказов своего вычислительного канала:  $Q_{dt} = 1 - P_{dt}$ ,  $Q_{dsch} = 1 - P_{dsch}$ ,  $P_{mfch} = P_{mf} / (1 - P_{dt}P_{dsch})$ .

Поскольку электромагнитная обстановка в месте эксплуатации СЖАТ бывает зачастую заданной, то задача нормирования ЭМС может быть поставлена в следующей форме: по заданной вероятности сбоя определить нормированное значение уровня помехозащищенности блока аппаратуры системы при известных параметрах закона распределения плотности вероятности уровня помех и заданных ограничениях на стандартные отклонения помехозащищенности.

Решение этой задачи дает ответ на вопрос, каковы должны быть характеристики уровней помехозащищенности аппаратуры, чтобы она работала с заданной вероятностью сбоя в ЭМО на месте ее эксплуатации.

Для получения решения необходимо иметь математическое выражение, связывающее статистические параметры закона распределения плотности вероятности помех, фиксированное значение среднеквадратического отклонения помехозащищенности, неизвестное математическое ожидание уровня помехозащищенности, которое и является нормированным, а также вероятность сбоя. Такое выражение, аналогично [4], называется функцией связи и имеет вид  $P_{mfch} = f(\mu_R, \sigma_R, \mu_N, \sigma_N)$ . В этом соотношении  $\mu_R$  – математическое ожидание помехоустойчивости электронной аппаратуры,  $\sigma_R$  – среднеквадратическое отклонение ее помехоустойчивости,  $\mu_N$  – математическое ожидание уровня помех в ЭМО на месте эксплуатации,  $\sigma_N$  – среднеквадратическое отклонение уровня помех.

Функции связи получены известным методом «нагрузка–устойчивость» [5]. В [3] приведены результаты применения метода для нормального распределения помехоустойчивости, что соответствует выводам центральной предельной теоремы и наиболее распространенных законов распределения помех [6].

При распределении помех по нормальному закону функция связи имеет вид

$$P_{mf} = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\mu_R - \mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}\right), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – интеграл вероятностей.

При распределении помех по закону Рэлея

$$P_{mf} = \exp\left(-\frac{\mu_R^2}{2(\sigma_R^2 + \sigma_N^2)}\right) \frac{\sigma_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}} \cdot \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\mu_R \sigma_N}{\sigma_R \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}\right)\right]. \quad (2)$$

При экспоненциальном распределении помех с показателем  $\lambda$

$$P_{mf} = \exp\left(-\frac{1}{2}(2\mu_R\lambda - \lambda^2\sigma_R^2)\right) \cdot \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\mu_R - \lambda\sigma_R^2}{\sigma_R}\right)\right]. \quad (3)$$



При логонормальном распределении помех

$$P_{mf} = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\mu_R - \ln\mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{\ln N}^2}}\right). \quad (4)$$

На практике возможные значения уровня помех и уровня помехозащищенности ограничены сверху и снизу. Поэтому представляет интерес случай, когда уровни помех и помехозащищенности распределены по усечённому нормальному закону с параметрами  $a, b, c, d$ . Для этого случая функция связи имеет вид

$$P_{mf} = 1 - \frac{\Phi\left(\frac{b-c-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right) - \Phi\left(\frac{-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right)}{\Phi\left(\frac{b-c-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right) - \Phi\left(\frac{a-d-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right)}. \quad (5)$$

При этом неизвестное математическое ожидание уровня помех входит в аргумент функции интеграла вероятности, то есть находится в пределах интегрирования неопределенного интеграла. Поэтому для упрощения расчётных соотношений в функции связи выполняется замена переменной.

Для (1) новая переменная  $z = \frac{\mu_R - \mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}$ .

В (2) новая переменная  $z = \frac{\mu_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}$ .

В (3) новая переменная  $z = \mu_R - \lambda\sigma_R^2$ .

В (4) соответственно  $z = \frac{\mu_R - \ln\mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{\ln N}^2}}$ .

И в (5)  $z = \frac{\mu_R - \mu_N}{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}$ .

Тогда для отыскания неизвестной переменной  $z$  нужно решить трансцендентные уравнения.

При распределении помех по нормальному закону

$$\Phi(z) = \frac{1}{2} - P_{mf}. \quad (6)$$

При распределении помех по закону Рэлея

$$P_{mf} = \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \frac{\sigma_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}} \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\sigma_N z}{\sigma_R}\right)\right]. \quad (7)$$

При распределении помех по экспоненциальному закону

$$P_{mf} = \exp\left(-\frac{1}{2}\lambda(2z - \lambda\sigma_R^2)\right) \cdot \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{z}{\sigma_R}\right)\right]. \quad (8)$$

При распределении помех по логонормальному закону уравнение для  $z$  аналогично (6).

При распределении уровней помех и помехоустойчивости по нормальному усечённому закону уравнение для  $z$

$$P_{mf} = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\mu_R - \mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}\right). \quad (9)$$

Для решения уравнений целесообразно применить метод последовательных приближений. Разложение интеграла вероятности в ряд некорректно, поскольку аргумент интеграла вероятности в задачах ЭМС имеет порядок  $10^2$  [3]. Применение асимптотических приближений приводит к алгебраическим уравнениям высокого порядка для неизвестной величины [7]. Решить такие уравнения можно только численными методами. Таким образом, происходит неконтролируемое накопление погрешности, полученное решение оказывается непригодным для СЖАТ. Поэтому для решения приведённых трансцендентных уравнений используется метод последовательных приближений, который реализован в программе EMSCap, разработанной в лаборатории «Безопасность и ЭМС» НИИЖТ при Белорусском государственном университете транспорта.

Выведенные в статье соотношения позволяют по заданным вероятности сбоя системы и вероятностям безотказной работы схем контроля в составе этой системы вычислить требуемые уровни помехозащищённости электронной аппаратуры. После чего возможен выбор элементной базы схемных и конструктивных решений, обеспечивающих нужный уровень. При этом будут фигурировать показатели уровня безопасности как отдельных схем и блоков



в составе аппаратуры СЖАТ, так и всей системы, с учетом влияния безопасности отдельных схем и блоков на уровень безопасности системы в целом.

Полученные по предлагаемой методике нормы на величину помехозащищенности аппаратуры СЖАТ являются согласованными, а контроль соответствия им помогает поддерживать заданный уровень надежности функционирования микроэлектронных и микропроцессорных СЖАТ в ЭМО. Применение вероятностного метода нормирования позволяет оптимизировать конструкторские мероприятия и жесткость испытаний, направленных на обеспечение ЭМС и безопасности функционирования СЖАТ. Это дает оптимизацию затрат на такое обеспечение и экономический эффект от внедрения современных систем автоматики и телемеханики на железных дорогах России и СНГ.

Иллюстрацией этого вывода является следующий пример. Пусть  $P_{mch} = 10^{-6}$ ,  $\mu_N = 1000$  В,  $\sigma_N = 100$  В,  $\sigma_R = 10$  В. Уровни помехозащищенности и помех распределены по нормальному закону. Тогда  $\Phi(Z) = 0,5 - 10^{-6} = 0,499999$ . По таблице функции Лапласа  $Z = 4,76$ . С учетом замены переменной значение  $\mu_R = 1478,37$  В.

По существующим нормативам в данном случае была бы назначена жесткость испытания 1000 В или 2000 В. Первое значение является заниженным и приведет к неудовлетворительным результатам испытаний или эксплуатации устройства автоматики и телемеханики. Второе значение существенно завышено. Из примера следует,

что завышение требований по параметрам ЭМС ведет к неоправданному росту стоимости аппаратуры за счет дополнительных конструктивных мер для обеспечения помехозащищенности. Занижение же этих требований недопустимо по соображениям условий безопасности.

Достоинством предлагаемого вероятностного подхода является и то, что в нем используются числовые характеристики помех в ЭМО на месте эксплуатации системы, полученные путем сбора статистической информации и последующей её обработки. В этом случае выработанные нормы помехоустойчивости максимально соответствуют условиям эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожников В. В. и др. Станционные системы автоматики и телемеханики. — М.: Транспорт, 2000. — 431 с.
2. Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. — М.: Транспорт, 1992. — 160 с.
3. Бочков К. А., Рязанцева Н. В. Вероятностный метод определения уровней ЭМС микроэлектронных систем обеспечения безопасности // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость: Материалы междунар. семинара. — Гомель: БелГУТ, 2001. — С. 20–29.
4. Чеканов А. Н. Расчёты и обеспечение надёжности электронной аппаратуры. — М.: КноРус, 2014. — 438 с.
5. Капур К., Ламберсон Л. Надёжность и проектирование систем. — М.: Мир, 1980. — 604 с.
6. Фомин А. Ф., Ваванов Ю. В. Помехоустойчивость систем железнодорожной радиосвязи. — М.: Транспорт, 1987. — 295 с.
7. Крот А. М. Статистическая теория формирования гравитирующих космогонических тел. — Минск: Беларуская навука, 2012. — 448 с.

Координаты авторов: **Бочков К. А.** — bochkov1999@mail.ru, priemnay@belsut.gomel.by, **Комнатный Д. В.** — toe4031@gstu.by.

Статья поступила в редакцию 23.12.2016, принята к публикации 21.01.2017.



Bochkov, Konstantin A., Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus.

Komnatny, Dmitry V., Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus.

### ABSTRACT

The scientific and technical problem of rationing of noise immunity level and rigidity of tests of railway automation and telemechanics is considered. The problem remains topical in connection with the widespread introduction of microprocessor and computer automation systems that ensure train traffic safety. The task is to find the norms of noise immunity

on the basis of taking into account the probabilistic nature of the level of interference and the level of noise immunity of the hardware element base. The «load-stability» method was used to obtain equations for determining the normalized value of noise immunity. The norms calculated by the proposed method allow optimizing rigidity of tests and associated design solutions.

**Keywords:** railway, automation and telemechanics systems, electromagnetic compatibility, rationing, probabilistic approach, test methods, probability of failure, train traffic safety.

**Background.** Microelectronic and micro-processor systems of railway automation and telemechanics (RATS) perform the responsible functions of ensuring the safety of train traffic. Therefore, they have to meet high requirements for electromagnetic compatibility (EMC), reflected in the regulatory and technical documentation.

In this documentation, EMC standards are chosen based on the worst-case conditions, the test stiffness class is determined by a set of qualitative characteristics of the surrounding electromagnetic environment (EME), and rigidity of tests is taken to reproduce the maximum level of interference. The main standardized values for the description of EMC are «the level of electromagnetic compatibility», that is, the maximum level of interference in operating conditions and the «immunity level». For such quantities, the normative and technical documentation sets fixed values. Therefore, this approach to establishment of norms on EMC based on the construction principle is deterministic.

**Objective.** The objective of the authors is to consider probabilistic method for rationing of EMC of railway automation.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, probabilistic methods, comparative analysis.

**Results.** On the other hand, in the modern theory of RATS [1–3], the level of safety and electromagnetic compatibility is expressed by the probability of failure of equipment during its operation.

Consequently, the problem of rationing EMC of such systems should be solved from the standpoint of ensuring the required probability of equipment failure in EME and taking into account the probabilistic properties of the interference and noise immunity levels. At the same time, it is necessary to pay attention to the peculiarities of construction of microelectronic and microprocessor RATS. To ensure the required level of security, they are built on the principle of «two of two» or «two of three» and include, in addition to the actual computational channels, blocks of comparison schemes and blocks of shutdown schemes. The first perform the function of detecting failures, the second – the function of blocking the computational channel in the protective state when a failure is detected. According to [2], the probability of a hardware failure  $P_{mlf}$  is determined by the probability of failure of the computational channel  $P_{mfch}$ , the probability of detection of this failure  $P_{dt}$  and the probability of the channel transfer to the protective state  $P_{dsch}$ :  $P_{mlf} = P_{mfch} (1 - P_{dt} P_{dsch})$ .

Since the blocks of the comparison circuits and the blocks of the shutdown circuits have a significant effect on the security of the system and work on the principle of self-checking, it is logical to assume the probabilities  $P_{dt}$  and  $P_{dsch}$  along with  $P_{mfch}$ . And the probabilities  $P_{dt}$  and  $P_{dsch}$  should be very high and are the probabilities of failure-free operation of the corresponding blocks in this EME. Then, for rationing, the failure probability of its computational channel is used:  $Q_{dt} = 1 - P_{dt}$ ,  $Q_{dsch} = 1 - P_{dsch}$ ,  $P_{mlf} = P_{mfch} / (1 - P_{dt} P_{dsch})$ .





Since the electromagnetic situation at the place of operation of RATS is often specified, the problem of EMC rationing can be put in the following form: for a given failure probability, to determine the normalized value of the noise immunity level of the system equipment block with known parameters of the law of distribution of the probability density of the interference level and the specified limits on standard deviations of noise immunity.

The solution of this problem gives an answer to the question, what should be the characteristics of the noise immunity levels of the equipment, so that it works with a given probability of failure in EME at the site of its operation.

To obtain a solution it is necessary to have a mathematical expression connecting the statistical parameters of the law of distribution of the probability density of interference, the fixed value of the standard deviation of noise immunity, the unknown mathematical expectation of the level of noise immunity, which is normalized, and the probability of failure. Such an expression, like [4], is called the coupling function and has the form  $P_{mif} = f(\mu_{Rf}, \sigma_{Rf}, \mu_N, \sigma_N)$ . In this ratio  $\mu_{Rf}$  is the mathematical expectation of noise immunity of electronic equipment,  $\sigma_{Rf}$  is the standard deviation of its noise immunity,  $\mu_N$  is the mathematical expectation of the interference level in the EME at the site of operation,  $\sigma_N$  is the standard deviation of the interference level.

The coupling functions are obtained by the known «load-stability» method [5]. In [3] the results of applying the method for the normal distribution of noise immunity are presented, which corresponds to the conclusions of the central limit theorem and the most widespread laws of interference distribution [6].

When the interference is distributed according to the normal law, the coupling function has the form

$$P_{mif} = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\mu_R - \mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}\right), \quad (1)$$

where  $\Phi$  is probability integral.

In the distribution of interference according to the Rayleigh law

$$P_{mif} = \exp\left(-\frac{\mu_R^2}{2(\sigma_R^2 + \sigma_N^2)}\right) \frac{\sigma_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}} \cdot \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\mu_R \sigma_N}{\sigma_R \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}\right)\right]. \quad (2)$$

With an exponential distribution of interference with the exponent  $\lambda$

$$P_{mif} = \exp\left(-\frac{1}{2}(2\mu_R \lambda - \lambda^2 \sigma_R^2)\right) \cdot \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\mu_R - \lambda \sigma_R^2}{\sigma_R}\right)\right]. \quad (3)$$

With the lognormal distribution of interference

$$P_{mif} = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\mu_R - \ln \mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{lnN}^2}}\right). \quad (4)$$

In practice, the possible values of the interference level and the level of interference immunity are limited from above and from below. Therefore, the case where the interference and noise immunity levels are distributed according to the truncated normal law with parameters  $a, b, c, d$  is of interest. For this case, the coupling function has the form

$$P_{mif} = 1 - \frac{\Phi\left(\frac{b-c-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right) - \Phi\left(\frac{-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right)}{\Phi\left(\frac{b-c-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right) - \Phi\left(\frac{a-d-(\mu_R-\mu_N)}{\sigma_R^2+\sigma_N^2}\right)}. \quad (5)$$

In this case, the unknown mathematical expectation of the noise level enters into the argument of the probability integral function, that is, is within the limits of integration of the indefinite integral. Therefore, to simplify the calculation relationships in the coupling function, the variable is replaced.

For (1), the new variable  $z = \frac{\mu_R - \mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}$ .

In (2), the new variable  $z = \frac{\mu_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}}$ .

In (3), the new variable  $z = \mu_R - \lambda \sigma_R^2$ .

In (4) respectively  $z = \frac{\mu_R - \ln \mu_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{lnN}^2}}$ .

And in (5)  $z = \frac{\mu_R - \mu_N}{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}$ .

Then to find the unknown variable  $z$  it is necessary to solve transcendental equations.

When distributing interference according to the normal law

$$\Phi(z) = \frac{1}{2} - P_{mif}. \quad (6)$$

In the distribution of interference according to the Rayleigh law

$$P_{mif} = \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \frac{\sigma_N}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_N^2}} \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\sigma_N z}{\sigma_R}\right)\right]. \quad (7)$$

When distributing noise according to an exponential law

$$P_{mif} = \exp\left(-\frac{1}{2}\lambda(2z - \lambda \sigma_R^2)\right) \cdot \left[\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{z}{\sigma_R}\right)\right]. \quad (8)$$

In the distribution of noise by the lognormal law, the equation for  $z$  is analogous to (6).

In the distribution of noise levels and noise immunity, according to the normal truncated law, the equation for  $z$

$$1 - P_{mif} = \frac{\Phi\left(\frac{b-c}{\sigma_R^2 + \sigma_N^2} - z\right) - \Phi(-z)}{\Phi\left(\frac{b-c}{\sigma_R^2 + \sigma_N^2} - z\right) - \Phi\left(\frac{a-d}{\sigma_R^2 + \sigma_N^2} - z\right)}. \quad (9)$$

To solve the equations, it is expedient to apply the method of successive approximations. The expansion of the probability integral in a series is incorrect, since the argument of the probability integral in EMC tasks is of the order of  $10^2$  [3]. The application of asymptotic approximations leads to higher-order algebraic equations for an unknown quantity [7]. Such equations can be solved only by numerical methods. Thus, an uncontrolled accumulation of error occurs, the solution obtained is rendered unsuitable for RATS. Therefore, the method of successive approximations is used to solve the above transcendental equations, which was implemented in the EMCPAR program developed in the laboratory





«Safety and EMC» of NIIZHT at Belarusian State University of Transport.

The relations deduced in the article allow us to calculate the required levels of noise immunity of the electronic apparatus of RAT according to the given probability of a system failure and the probabilities of failure-free operation of control circuits in the composition of this system. After that, it is possible to select the element base of the circuit and design solutions that provide the required level. At the same time, the indicators of the level of security of both individual circuits and units within the RATS equipment and the entire system will be included, taking into account the security effect of individual circuits and blocks on the security level of the system as a whole.

**Conclusion.** Received by the proposed methodology, the norms for the interference immunity of the RATS equipment are consistent, and compliance control helps to maintain a specified level of reliability of the microelectronic and microprocessor-based RATS in EME. The application of the probabilistic method of rationing makes it possible to optimize the design activities and rigidity of tests aimed at ensuring EMC and the safety of the operation of RATS. This gives an optimization of the costs of such provision and the economic effect of the introduction of modern automation and telemechanics systems on the railways of Russia and the CIS.

An illustration of this conclusion is the following example. Let  $P_{mfch} = 10^{-6}$ ,  $\mu_N = 1000$  V,  $\sigma_N = 100$  V,  $\sigma_r = 10$  V. The levels of noise immunity and interference are distributed according to the normal law. Then  $\Phi(Z) = 0,5 - 10^{-6} = 0,499999$ . According to the table of the Laplace function,  $Z = 4,76$ . Taking into account the change of variable, the value of  $\mu_r = 1478,37$  V.

According to the existing regulations, the test rigidity of 1000 V or 2000 V would be assigned in this case. The first value is underestimated and will lead to unsatisfactory results of testing or operation of the automation and telemechanics device. The second value is significantly overestimated. It follows from the example that overstating the requirements for EMC parameters leads to an unjustified increase in the cost of the equipment

due to additional constructive measures to ensure noise immunity. Underestimation of these requirements is unacceptable for reasons of security.

The advantage of the proposed probabilistic approach is that it uses the numerical characteristics of interference in EME at the site of operation of the system, obtained by collecting statistical information and its subsequent processing. In this case, the developed norms of noise immunity as much as possible correspond to the operating conditions.

## REFERENCES

1. Sapozhnikov, V. V. *et al.* Station systems of automation and telemechanics [Stacionnyye sistemy avtomatiki i telemehaniki]. Moscow, Transport publ., 2000, 431 p.
2. Lisenkov, V. M. Safety of technical means in the systems of train traffic control [Bezopasnost' tehnikeskikh sredstv v sistemah upravleniya dvizheniem poezdov]. Moscow, Transport publ., 1992, 160 p.
3. Bochkov, K. A., Ryazantseva, N. V. Probabilistic method for determining EMC levels of microelectronic safety systems [Veroyatnostnyj metod opredelenija urovnej EMS mikroelektronnykh sistem obespechenija bezopasnosti]. Tests of railway automation and telemechanics systems on safety and electromagnetic compatibility: Proceedings of the international seminar. Gomel, BelGUT publ., 2001, pp. 20–29.
4. Chekanov, A. N. Calculations and ensuring the reliability of electronic equipment [Raschety i obespechenie nadezhnosti elektronnoj apparatury]. Moscow, KnoRus publ., 2014, 438 p.
5. Kapur, K., Lamberson, L. Reliability and design of systems [Nadezhnost' i proektirovanie sistem]. Moscow, Mir publ., 1980, 604 p.
6. Fomin, A. F., Vavanov, Yu. V. Interference immunity of railway radio communication systems [Pomehoustojchivost' sistem zheleznodorozhnoj radiosvjazi]. Moscow, Transport publ., 1987, 295 p.
7. Krot, A. M. Statistical theory of formation of gravitating cosmogonic bodies [Statisticheskaja teorija formirovanija gravitirujushhih kosmogonicheskikh tel]. Minsk, Belaruskaya Navuka publ., 2012, 448 p. ●

Information about the authors:

**Bochkov, Konstantin A.** – D.Sc. (Eng.), professor, vice-rector for scientific work of the Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus, bochkov1999@mail.ru, priemnay@belsut.gomel.by.

**Komnatny, Dmitry V.** – Ph.D. (Eng.), associate professor of automatics and telemechanics department of Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus, toe4031@gstu.by.

Article received 23.12.2016, accepted 21.01.2017.

# T

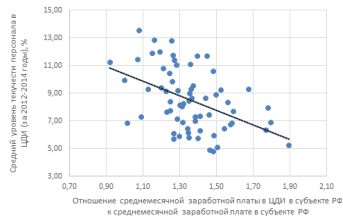
## СОТРУДНИЧЕСТВО 204

*О традициях  
межуниверситетских обменов  
в Болгарии.*



## ПЕРСОНАЛ 210

*Региональные аспекты  
текучести кадров.*



## COOPERATION 204

*On the traditions of inter-  
University links in Bulgaria.*



## PERSONNEL 210

*Regional aspects of personnel's  
turn-over.*



ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • HRM, EDUCATION & TRAINING





# Развитие на основе межуниверситетского сотрудничества



Петр КОЛЕВ  
Petar KOLEV

Даниела ТОДОРОВА  
Daniela TODOROVA



*Петр Колев – доктор технических наук, почетный доктор наук, профессор, проректор по науке и международным связям Университета транспорта (Высшего транспортного училища) им. Тодора Каблешкова, София, Болгария.*

*Даниела Тодорова – кандидат экономических наук, профессор, ректор Университета транспорта (Высшего транспортного училища им. Тодора Каблешкова), София, Болгария.*

## **Development Based on Inter-University Cooperation**

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 208)

**Интернационализация высшего образования представляет собой одну из важнейших тенденций общественного развития.**

**В статье характеризуются рынок образовательных услуг в условиях его высокой мобильности и основные формы, в которых реализуется процесс. Особое внимание обращается на сотрудничество университетов, обмен опытом, повышение качества знаний, что имеет решающее значение для конкурентоспособности нации и государства. Рассматриваются возможности транспортного образования, его специфика и узловые проблемы на фоне глобальных вызовов современности.**

**Ключевые слова:** высшее образование, качество, интернационализация, университет, транспорт, мобильность, сотрудничество.

**П**рогресс образования и науки – основной элемент устойчивого экономического развития. Знание играет ключевую роль как для отдельного человека, так и общества в целом. Структуры, вобравшие в себя большее количество знаний, закономерно занимают более выгодные рыночные ниши, а нации, имеющие в своем распоряжении достаточный арсенал знаний, более конкурентоспособны.

## **1. МИССИЯ БУДИТЕЛЕЙ**

Образование можно рассматривать как инфраструктуру, состоящую из образовательных учреждений, предлагающих знания, и специалистов, ведущих подготовку кадров для рынка труда.

Соответственно все мы, преподаватели и научные работники, в качестве участников рынка образовательных услуг принимаем посильное участие в реализации отведенной нам миссии и принятой государством политики в сфере образования.

В Болгарии 1 ноября отмечается День народных будителей. «Будитель» – это человек, который всю свою жизнь популяризирует и считает основным приоритетом знание национальной истории, воспитывает любовь

к родному языку, а также преклонение перед родной культурой и духом нации. В более широком смысле будителями являются все бывшие и настоящие деятели науки и образования, которые, будучи даже и неизвестными общественности, вносят свой вклад в духовное и интеллектуальное развитие молодого человека. В этом смысле мы, преподаватели, с учётом нашей ответственности перед обществом являемся будителями, нам выпала почетная миссия посвящения идущих нам на смену молодых людей в мир знания. Как гласит надпись времен болгарского владетеля Омуртага, высеченная на колонне в древней столице Болгарии городе Плиска: *«Как бы хорошо ни жил человек, он умирает, и рождается другой»*. И этому другому надо суметь передать накопленное предыдущими поколениями.

Вот почему наша политика в сфере образования так важна. Причем не только потому, что мы её проводим, но и потому, что мы принимаем участие в ее выработке.

Наличие рыночной экономики создает сильную конкуренцию между различными высшими учебными заведениями как на национальном, так и на международном рынках образовательных услуг.

При оценке конкурентоспособности вуза существенное значение имеет представление о его ценности как субъекта рынка и ценности предлагаемых продуктов. Конкурентные преимущества, которые высшее учебное заведение формирует и поддерживает, становятся определяющими. И складываются они, учитывая внешние и внутренние факторы. По крайней мере ценность образовательных услуг вуза зависит как от оценки потребителей, так и от самого процесса обучения и его результатов.

В условиях рыночной экономики и постоянного дефицита государственного финансирования высшего образования возрастает необходимость эффективного управления вузами и их приспособления к особенностям рынка труда. Специальности выпускников должны удовлетворять запросы экономики, привлекать интерес, обеспечивать обладателям диплома возможность успешного профессионального роста и высокий уровень жизни.

Окружающая нас экономическая среда и состояние рынка труда требуют непрерывного совершенствования и повышения квалификации людей, а также приобретения

новых знаний и умений. Нарращивание инвестиций в образование приносит самые большие дивиденды, и поэтому следует сосредоточить усилия на создании современной, гибкой образовательной системы. Это само по себе уже серьезный вызов, так как речь идет об условиях, обеспечивающих человеку обучение на протяжении всей жизни.

## 2. МОБИЛЬНОСТЬ И РОТАЦИЯ

Интернационализация в сфере высшего образования стала одной из устойчивых современных тенденций.

Глобализация и интернационализация экономики и бизнеса выдвигают новые цели перед высшим образованием — обеспечение подготовки профессиональных кадров, способных эффективно работать в постоянно меняющихся условиях глобального рынка.

Сотрудничество между университетами в международном аспекте связано с организацией обмена студентами и преподавателями, предложением специальных программ для иностранных студентов, разработкой научно-исследовательских проектов.

Основные формы, в которых реализуется этот процесс, следующие:

- мобильность студентов и преподавателей;
- совместимость учебных планов и программ;
- создание и расширение региональных и международных университетских сетей;
- качество образования;
- обмен знаниями;
- международное признание и др.

Характерным признаком меняющихся ориентиров и ценностей является студенческая мобильность, в рамках которой наблюдается ежегодное возрастание числа студентов, обучающихся за рубежом. Сам факт мобильности поддерживается различными программами (международными, национальными, региональными), что приводит к необходимости заключения двусторонних и многосторонних соглашений в сфере образования. Одна из приоритетных европейских программ академического обмена — это «Erasmus», которая сейчас трансформировалась в «Erasmus+». Её начало было заложено в 1987 году, а основная цель сводилась к созданию общего европейского образовательного рынка. Программа позволила расширить контакты и со странами, не входящими в состав Европейского союза.



Академический обмен стал серьезным средством для укрепления рынка, целевого использования специалистов и квалифицированных кадров. Ротация знаний, повышение компетентности обуславливают развитие общества в целом.

Многие университеты заключают соглашения о сотрудничестве, которые касаются разных аспектов преподавания и исследовательской деятельности. Часто объектом этих соглашений являются обмен студентами и/или преподавателями, предложение совместных программ обучения.

### 3. ПОДГОТОВКА ТРАНСПОРТНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Транспорт — одна из самых быстро развивающихся отраслей экономики, и она остро нуждается в специализированной подготовке кадров, которые отвечали бы этим растущим потребностям. Транспортный университет им. Тодора Каблешкова — государственное высшее учебное заведение с 94-летними традициями в сфере транспортного образования в Болгарии. Обучение студентов ведется по 16 специальностям бакалавриата, 23 специальностям магистратуры в двух основных областях высшего образования:

- социальные, экономические и юридические науки;
- технические науки.

В семи аккредитованных профессиональных направлениях обучения:

- экономика;
- машинное инженерство;
- электротехника, электроника и автоматика;
- коммуникационная и компьютерная техника;
- транспорт, судоходство и авиация;
- архитектура, строительство и геодезия;
- общее инженерство;

а также в рамках 22 программ обучения на образовательную и научную степень «доктор».

Университет обладает серьезной конкурентоспособностью как на национальном, так и на международном образовательном рынках, является участником хартии университетов «Erasmus», которая обеспечивает студенческую мобильность в целях обучения более чем в 40 европейских университетах-партнерах и мобильность в целях проведения стажировки в зарубежных учреждениях-партнерах. В 2016 году был разработан проект по програм-

ме «Erasmus+», в рамках которого будут проводиться студенческие и преподавательские обмены в России, Сербии и Китае.

Подготовка высококвалифицированных транспортных специалистов в условиях интернационализации зависит от сотрудничества, налаженного между образовательными учреждениями. Обмен опытом и лучшими практиками, квалифицированный преподавательский состав, развитие и использование научной инфраструктуры, лабораторий, стендов обеспечивают возможности достижения высокого уровня обучения. Один из аспектов качества обучения связан с зависимостью между образовательным процессом и профессиональной реализацией специалистов.

Объектом пристального внимания и наблюдения является соответствие теоретических знаний и практических умений студентов требованиям рынка и потребителей кадров, так как от этого зависит успешная профессиональная деятельность выпускников в системе транспорта, логистики, разного рода организационно-производственных отраслевых и административных структурах.

Транспортный университет им. Тодора Каблешкова поддерживает партнерские отношения с 52 зарубежными университетами, с которыми заключены договоры об обмене преподавателями и студентами, об организации стажировок студентов, проведении научных исследований и др.

Партнерство с Московским государственным университетом путей сообщения (МИИТ) длится уже много лет. Университет со 120-летней историей, занимающий ведущие позиции на российском и международном образовательном рынках — важнейший партнер единственного в Болгарии транспортного университета. Плодотворное сотрудничество между нами направлено на реализацию целого ряда задач:

- Мы делимся опытом в разработке учебных планов и программ по различным дисциплинам.
- Создаем совместные научные проекты, издаем учебную и научную литературу.
- Принимаем участие в работе научных конференций обоих университетов.
- Обмениваемся преподавателями для чтения лекций и организации обучения.
- Ученые наши состоят членами редколлегии научных журналов и программных комитетов научных конференций.

- Оказываем друг другу поддержку в карьерном росте преподавателей, многие из которых прошли путь от должности ассистента до должностей доцента и профессора.

- Развиваем совместную научную и научно-прикладную исследовательскую деятельность по основным эксплуатационным и инфраструктурным направлениям современной транспортной науки.

- Публикуем совместные научные разработки в специализированных изданиях.

- Осуществляем ежегодный обмен студентами, докторантами и преподавателями для проведения международных практик.

Опыт и знания, накопленные в процессе организации образовательных и научных национальных и международных форумов, дают прекрасную возможность для создания масштабных научных сетей, кластеров, способствующих формированию общества знаний.

Перспективы развития транспортного образования в условиях интернационализации предполагают:

- Углубление сотрудничества и обмен опытом в целях популяризации достижений в научных исследованиях, проводимых в партнерстве между бизнесом и университетами разных стран.

- Инновационную устойчивость с акцентом на практические результаты.

- Разработку механизма формирования совместных коллективов экспертов на основе создания эффективной и долгосрочной модели сотрудничества между университетами, бизнесом и исследовательскими институтами.

- Трансферт научных и технологических достижений.

- Поддержку совместных программ обучения с взаимным признанием дипломов.

- Формирование международных научных групп для оценки воздействия и интернализации внешних расходов, связанных с трафиком, уровнем выбросов парниковых газов, локальным и шумовым загрязнением.

- Развитие научно-исследовательской и разработочной деятельности, направленной на сохранение позиций в производстве транспортного оборудования, использовании специфических инженерных технологий и наращивании инвестиций в инфраструктуру.

Подготовка транспортных специалистов сопряжена с немалыми трудностями ввиду её сложности и специфики, но мы глубоко убеждены, что правильный путь к качественному и эффективному обучению проходит через сотрудничество между университетами, применение гибких и аттрактивных образовательных форм, развитие научной инфраструктуры на основе совместных проектов.

Забота о молодых специалистах – серьёзный вызов для наших стран, потому что создание благоприятных условий для получения ими образования и профессионального развития одновременно работает и на улучшение демографической ситуации, и на повышение качества жизни.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Будучи специализированными университетами в области транспорта, мы добиваемся стимулирования процесса обучения на протяжении всей жизни и возможности непрерывного совершенствования профессиональных умений и компетентности. Подготовка студентов и докторантов в университетах транспорта является не только гарантией получения современного образования, но и надежной базой для профессиональной реализации в одном из самых динамичных и перспективных секторов экономики.

Многостороннее сотрудничество и дружба университетов – выигрышная формула для развития образования в процессе интернационализации. Не случайно в жизни мы ценим дружбу превыше всех благ и считаем, что нити дружбы не следует разрывать ни при каких обстоятельствах. Тесные университетские связи на уровне наших стран подтверждают взаимную пользу от интеграции интересов и подходов к обучению, подготовке транспортных кадров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия за развитие на висшето образование в Република България за периода 2014–2020 г., <https://www.mon.bg/>.

2. ВТУ «Тодор Каблешков», <http://www.vtu.bg/>.

3. Московский государственный университет путей сообщения, <http://www.miiit.ru/>.

Координаты авторов: **Петр Колев** – [rector@vtu.bg](mailto:rector@vtu.bg), **Даниела Тодорова** – [dtodorova@vtu.bg](mailto:dtodorova@vtu.bg).

Статья поступила в редакцию 17.07.2016, принята к публикации 27.10.2016.



## DEVELOPMENT BASED ON INTER-UNIVERSITY COOPERATION

**Kolev, Petar**, Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, Bulgaria.  
**Todorova, Daniela**, Todor Kableshkov Higher Transport School, Sofia, Bulgaria.

### ABSTRACT

The internationalization of higher education is one of the most important trends in social development. The article describes the market of educational services in the context of its high mobility and the main forms in which the process is implemented. Particular attention is drawn to

cooperation of universities, exchange of experience, improvement of quality of knowledge, which is crucial for competitiveness of the nation and the state. The possibilities of transport education, its specificity and key problems against the background of global challenges of the present are considered.

*Keywords:* higher education, quality, internationalization, university, transport, mobility, cooperation.

**Background.** The progress of education and science is the main element of sustainable economic development. Knowledge plays a key role both for the individual and society as a whole. Structures that have absorbed more knowledge naturally occupy more profitable market niches, and nations that have at their disposal a sufficient arsenal of knowledge are more competitive.

**Objective.** The objective of the authors is to consider development of transport education based on inter-university cooperation.

**Methods.** The authors use general scientific methods, comparative analysis, scientific description, evaluation approach.

### Results.

#### 1. Mission of buditels

Education can be viewed as an infrastructure consisting of educational institutions offering knowledge and specialists training personnel for the labor market.

Accordingly, all of us, teachers and scientists, as participants in the market of educational services, take an active part in implementation of the mission assigned to us and the state policy in the field of education.

The first day of November in Bulgaria marks the Day of National Buditels. «Buditel» is a person who during his entire life popularizes and considers knowledge of national history as his main priority, fosters love for his native language, as well as his admiration for the native culture and spirit of the nation. In a broader sense, buditels are all former and true figures of science and education who are even unknown to the public contribute to the spiritual and intellectual development of the young person. In this sense, we, the teachers, taking into account our responsibility to society, are awakening, we have the honorable mission of dedicating the young people who are coming to replace us in the world of knowledge. According to the inscription of the times of the Bulgarian ruler Omurtag, carved on a column in the ancient capital of Bulgaria, the city of Pliska: «No matter how well a person lives, he dies and another is born». And it is necessary to transfer to this other all the accumulated by previous generations.

That is why our policy in the field of education is so important. And not only because we are conducting it, but also because we are participating in its development.

The presence of market economy creates a strong competition between various higher educational institutions both on the national and international markets for educational services.

In assessing the competitiveness of a university, it is essential to understand its value as a market entity and the value of the products offered. The competitive advantages that higher education institutions form and support, become decisive. And they develop, taking into account external and internal factors. At least the value of the educational services of the university depends both on the evaluation of consumers, and on the learning process itself and its results.

In the conditions of market economy and a constant deficit of public funding for higher education, there is a growing need for effective management of higher education institutions and their adaptation to the characteristics of the labor market. Specialties of graduates should satisfy the demands of the economy, attract interest, provide the holders of the diploma the

opportunity for successful professional growth and a high standard of living.

The economic environment surrounding us and the state of the labor market require continuous improvement and improvement of people's skills, as well as the acquisition of new knowledge and skills. Increasing investment in education brings the greatest dividends, and therefore, efforts should be focused on creating a modern, flexible educational system. This in itself is already a serious challenge, as it deals with the conditions that provide a person with lifelong learning.

#### 2. Mobility and rotation

Internationalization in the field of higher education has become one of the most stable modern trends.

Globalization and internationalization of the economy and business put forward new goals for higher education – providing training for professional staff able to work effectively in the ever-changing global market conditions.

Cooperation between universities in the international aspect is connected with organization of exchange of students and teachers, the offer of special programs for foreign students, development of research projects.

The main forms in which this process is implemented are the following:

- mobility of students and teachers,
- compatibility of curricula and programs,
- creation and expansion of regional and international university networks,
- quality of education,
- sharing knowledge,
- international recognition, etc.

A characteristic sign of changing benchmarks and values is student mobility, within which an annual increase in the number of students studying abroad is observed. Mobility itself is supported by various programs (international, national, regional), which leads to the need for concluding bilateral and multilateral agreements in the field of education. One of the priority European academic exchange programs is Erasmus, which has now been transformed into Erasmus+. Its beginning was laid in 1987, and the main goal was to create a common European educational market. The program allowed to expand contacts with countries that are not members of the European Union. Academic exchange has become a serious means for strengthening the market, targeted use of specialists and qualified personnel. Rotation of knowledge, increase of competence determine the development of society as a whole.

Many universities enter into cooperation agreements that deal with different aspects of teaching and research. Often the objects of these agreements are exchange of students and/or teachers, offer of joint training programs.

#### 3. Training of transport specialists

Transport is one of the fastest growing sectors of the economy, and it urgently needs specialized training to meet these growing needs. Todor Kableshkov Transport University is a state higher education institution with 94-year-old traditions in the field of transport education in Bulgaria. The students are trained in 16 specialties of the bachelor's degree, 23 specialties of the master's degree in two main areas of higher education:

- social, economic and legal sciences,
- technical sciences,



in seven accredited professional directions of study:

- economics,
- machine engineering,
- electrical engineering, electronics and automation,
- communication and computer equipment,
- transport, navigation and aviation,
- architecture, construction and geodesy,
- general engineering,

and also within the framework of 22 educational programs for the educational and scientific degree «doctor».

The university has a strong competitiveness both in the national and international education markets, is a member of the Erasmus University Charter, which provides student mobility for training in more than 40 European partner universities and mobility for internships in foreign partner institutions. In 2016, a project was developed for the Erasmus + program, within which student and teacher exchanges will be conducted in Russia, Serbia and China.

Training of highly qualified transport specialists in the conditions of internationalization depends on the cooperation established between educational institutions. Exchange of experience and best practices, qualified teaching staff, development and use of scientific infrastructure, laboratories, stands provide opportunities to achieve a high level of education. One aspect of the quality of education is related to the dependence between the educational process and the professional realization of specialists.

The object of close attention and observation is the correspondence of theoretical knowledge and practical skills of students to the requirements of the market and consumers of staff, since this determines the successful professional activity of graduates in the transport system, logistics, various organizational and industrial branch and administrative structures.

Todor Kableshev Transport University maintains partnership relations with 52 foreign universities, with which agreements have been concluded on the exchange of teachers and students, on the organization of student internships, scientific research, and others.

Partnership with Moscow State University of Railway Engineering (MIIT) has been going on for many years. A university with a 120-year history, occupying leading positions in the Russian and international education markets, is the most important partner of the only transport university in Bulgaria. Fruitful cooperation between us is aimed at the realization of a number of tasks:

- We share our experience in development of curricula and programs in various disciplines.
- We create joint scientific projects, publish educational and scientific literature.
- We take part in the scientific conferences of both universities.
- We exchange teachers for lecturing and organizing training.
- Our scientists are members of the editorial boards of scientific journals and program committees of scientific conferences.
- We support each other in the career development of teachers, many of whom have passed from the position of assistant to the positions of associate professor and professor.
- We develop joint scientific and applied research activities on the main operational and infrastructural areas of modern transport science.
- We publish joint scientific developments in specialized publications.
- We carry out an annual exchange of students, doctoral students and teachers for international internships.

Experience and knowledge accumulated in the process of organizing educational and scientific national and international forums provide an excellent opportunity to create large-scale scientific networks, clusters that contribute to the formation of a knowledge society.

Prospects for development of transport education in conditions of internationalization include:

- Deepening of cooperation and exchange of experience in order to popularize achievements in scientific research conducted in partnership between business and universities of different countries.
- Innovative sustainability with an emphasis on practical results.
- Development of a mechanism for formation of joint teams of experts based on creation of an effective and long-term model of cooperation between universities, business and research institutes.
- Transfer of scientific and technological achievements.
- Support of joint training programs with mutual recognition of diplomas.
- Formation of international scientific groups to assess the impact and internalization of external costs associated with traffic, greenhouse gas emissions, local and noise pollution.
- Development of research and development activities aimed at maintaining positions in the production of transport equipment, using specific engineering technologies and increasing investment in infrastructure.

Training of transport specialists is difficult due to its complexity and specifics, but we are deeply convinced that the right way to quality and effective training is through cooperation between universities, the use of flexible and attractive educational forms, development of scientific infrastructure on the basis of joint projects.

Caring for young specialists is a serious challenge for our countries, because creating favorable conditions for their education and professional development simultaneously works to improve the demographic situation and improve the quality of life.

**Conclusion.** As specialized universities in the field of transport, we seek to stimulate the process of lifelong learning and the possibility of continuous improvement of professional skills and competence. The training of students and doctoral students in transport universities is not only a guarantee of obtaining modern education, but also a reliable basis for professional implementation in one of the most dynamic and promising sectors of the economy.

Multilateral cooperation and friendship between universities is a winning formula for development of education in the process of internationalization. It is not by chance that in life we value friendship above all good and believe that the threads of friendship should not be ripped under any circumstances. Close university ties at the level of our countries confirm the mutual benefit from integration of interests and approaches to education, training of transport personnel.

## REFERENCES

1. Strategy for development of higher education in the Republic of Bulgaria for the period 2014–2020 [*Strategia razvitiya vysshogo obrazovaniya v Respublike Bolgaria na period 2014–2020*], <https://www.mon.bg/>.
2. HTS «Todor Kableshev», <http://www.vtu.bg/>.
3. Moscow State University of Railway Engineering, <http://www.miit.ru/>.

Information about the authors:

**Kolev, Petar** – Doctor of Technical Sciences, Doctor honoris causa, Professor, vice-rector for Science and International Relations of Todor Kableshev University of Transport (Higher Transport School), Sofia, Bulgaria, [rector@vtu.bg](mailto:rector@vtu.bg).

**Todorova, Daniela** – Ph.D. (Economics), associate professor, professor, rector of Todor Kableshev University of Transport (Higher Transport School), Sofia, Bulgaria, [dtodorova@vtu.bg](mailto:dtodorova@vtu.bg).

Article received 17.07.2016, accepted 27.10.2016.





# «Не зарплатой единой жив железнодорожник»...



Илья ЕПИШКИН  
Ilya A. EPISHKIN

Владимир НИКИТИН  
Vladimir N. NIKITIN



Александр ФРОЛОВИЧЕВ  
Alexander I. FROLOVICHEV

*Епишкин Илья Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экономика труда и управление человеческими ресурсами», МИИТ, Москва, Россия.*

*Никитин Владимир Николаевич – кандидат экономических наук, Начальник Департамента по организации, оплате и мотивации труда ОАО «РЖД», Москва, Россия. Фроловичев Александр Иванович – старший преподаватель МИИТ, Москва, Россия.*

## Railwayman Shall not Live by Wages and Salary Alone

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 219)

**Статья посвящена исследованию региональных особенностей социально-экономических отношений на железнодорожном транспорте, которые напрямую связаны со стабильностью трудовых коллективов, качеством человеческих ресурсов. Предложена система факторов, влияющих на текучесть персонала, рассмотрены методы анализа влияния этих факторов с учётом региональных аспектов, рассмотрены подходы к моделированию функциональных зависимостей и использованию корреляционных матриц на примере структурных подразделений Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД».**

**Ключевые слова:** железная дорога, дирекция инфраструктуры, субъект РФ, трудовые отношения, региональные особенности, рынок труда, текучесть персонала, факторы текучести.

Одна из ключевых экономических проблем в сфере трудовых отношений на железнодорожном транспорте – обеспечение стабильности трудовых коллективов. Индикатором, позволяющим получить количественную характеристику движения персонала в организации, является уровень текучести кадров [6]. Это комплексный результирующий показатель, на который оказывают влияние различные факторы.

### I.

Уровень текучести кадров в крупнейших функциональных филиалах ОАО «РЖД» имеет существенную дисперсию, что обусловлено особенностями корпоративной культуры, структуры персонала, его квалификации и уровня оплаты труда. Однако общим для всех фактором, существенно влияющим на уровень текучести, остается региональный рынок труда [11]. И с учётом этой значимости к оценке связанных с ним процессов нужны сбалансированный подход, особо строгая дифференциация рыночной конъюнктуры [12].

В этой связи для объективной экономической оценки последствий текучести персонала необходимо анализировать прежде всего данные сотрудников, увольнение которых принесло потери компании.

В результате исследований, включавших консультации с экспертами, анализ управленческой отчетности ОАО «РЖД», изучение отечественных и зарубежных публикаций по проблемам текучести [9, 10], была сформирована модель взаимосвязи уровня текучести персонала и факторов, влияющих на этот уровень. С нашей точки зрения, к таким факторам следует отнести:

$Z_{cp}$  – уровень средней заработной платы, руб.;

$K_{з/п}$  – отношение средней заработной платы в ОАО «РЖД» к средней заработной плате по региону;

$T_{зп}$  – темпы роста заработной платы в ОАО «РЖД», %;

$C_{зон}$  – средний размер зональной (региональной) надбавки, руб./чел.<sup>1</sup>;

$C_{раб.}$  – средний размер социальных выплат, руб./чел.;

$U$  – уровень удовлетворённости сотрудников, % (измеряется с помощью социологических исследований);

$I_a$  – индекс вовлеченности сотрудников, % (измеряется с помощью социологических исследований);

$I_{усл.}$  – интегральный индекс условий труда, ед.;

$I_{ppm}$  – индекс конкурентоспособности структурного подразделения ОАО «РЖД» (железнодорожной, региональной дирекции, линейного подразделения) на региональном рынке труда.

Из предложенных в модели параметров наибольшую сложность представляют производные показатели: интегральный индекс условий труда и индекс конкурентоспособности структурного подразделения ОАО «РЖД» на региональном рынке труда.

Интегральный индекс условий труда – количественная характеристика в широком понимании этого слова, включающая такие факторы, как график работы, температурный

режим, климатические особенности, напряженность труда, степень ответственности, вредные и опасные условия труда и т.п.

Индекс конкурентоспособности структурного подразделения ОАО «РЖД» на региональном рынке труда, по мнению авторов, должен учитывать влияние местных особенностей трудовых отношений на уровень текучести персонала. Для корректного определения индекса в регионе необходимо знать количество рабочих мест по сопоставимым профессиям, возможности трудоустройства железнодорожников у конкурентов, уровень заработных плат, их динамику, условия труда на других предприятиях и прочие сведения, характеризующие конъюнктуру региональных рынков труда.

Таким образом, модель функциональной зависимости уровня текучести от влияющих на нее факторов будет выглядеть следующим образом:

$$T = f(Z_{cp}, K_{з/п}, T_{зп}, C_{зон}, C_{раб.}, U, I_a, I_{усл.}, I_{ppm}). \quad (1)$$

## II.

Результаты исследования, изложенные в ранее опубликованных работах [2, 4], показали, что в Центральной дирекции инфраструктуры – крупнейшем филиале ОАО «РЖД» (далее – ЦДИ) уровень заработной платы лишь в 30 % случаев влияет на уровень текучести персонала. Остальное – зона действия других факторов, где свою роль выполняет специальный экономико-математический инструментарий.

Наиболее распространенными методами анализа и прогнозирования трудовых показателей являются:

1. Методы корреляционно-регрессионного анализа, которые используются для исследования форм связи, устанавливающих количественные соотношения между случайными величинами изучаемого процесса. В социально-экономическом прогнозировании эти методы применяют для построения условных прогнозов и прогнозов, основанных на оценке устойчивых причинно-следственных связей [3].

2. Анализ временных рядов с учётом сезонности.

3. Балансовый метод анализа трудовых показателей.

В частности, с помощью корреляционно-регрессионного анализа было изучено

<sup>1</sup> Зональная надбавка применяется в системе оплаты труда ОАО «РЖД» для регулирования величины средней заработной платы с учётом уровня напряженности по формированию профессионального кадрового состава, особенностей региональных рынков труда.



**Усредненные показатели по заработной плате и текучести персонала в ЦДИ в разрезе субъектов Российской Федерации за 2012–2014 годы**

Региональные дирекции	Средне-списочная численность работников ЦДИ, чел.	Средний уровень текучести персонала в ЦДИ, %	Средняя зарплата в ЦДИ, руб.	Средняя зарплата в субъекте РФ, руб.	Среднее отношение средней зар. платы в ЦДИ к средней зар. плате в субъекте РФ
г. Москва	9272	11,24	50439	55174	0,92
Тверская область	3453	7,35	31229	22187	1,41
г. Санкт-Петербург	7916	7,29	39916	36825	1,09
Ленинградская область	4766	9,31	32766	29173	1,12
Новгородская область	1148	5,81	31426	23339	1,35
Псковская область	2151	5,74	27395	19650	1,40
Вологодская область	3499	7,14	31884	24842	1,28
Республика Карелия	3865	6,32	38359	27223	1,41
Мурманская область	2741	5,69	50465	39930	1,27
Калининградская область	1649	8,47	32690	24333	1,35
Московская область	4606	6,12	44864	35530	1,26
Владимирская область	2561	10,61	30463	20617	1,48
Рязанская область	2671	6,87	34258	21725	1,58
Калужская область	1605	6,47	34768	25905	1,34
Орловская область	1338	6,93	34067	19015	1,79
Смоленская область	3520	6,35	35892	20373	1,77
Тульская область	2211	5,93	33978	23008	1,48
Брянская область	3871	5,27	35450	18805	1,89
Курская область	1817	5,08	31481	21008	1,50
Нижегородская область	6950	8,24	30736	23343	1,32
Кировская область	3243	9,27	28909	19067	1,52
Республика Татарстан	4733	11,46	27534	25854	1,07
Чувашская Республика + Республика Марий Эл	1101	11,69	26356	18973	1,39
Удмуртская Республика	2362	7,28	28696	20845	1,38
Свердловская область	12349	12,86	31768	27413	1,16
Пермский край	6595	9,15	29983	24546	1,22
Республика Коми	3889	7,77	46390	37303	1,25
Архангельская область (без Ненецкого АО)	5497	6,15	40046	29901	1,34
Ярославская область	3872	8,88	34211	22945	1,49
Костромская + Ивановская области	2707	8,65	25763	18945	1,36
ЯНАО+ХМАО	2935	9,93	58458	58812	1,00
Республика Дагестан	1210	4,92	23563	16230	1,46
Ставропольский край	2101	12,82	25740	20570	1,25
Краснодарский край + Республика Адыгея	9354	11,93	27108	23642	1,15
Ростовская область + Республика Калмыкия	8955	11,07	27530	21566	1,28

влияние уровня средней заработной платы в ЦДИ и соотношения уровней заработной платы в региональных дирекциях инфраструктуры и заработной платы в субъектах РФ, тяготеющих к этим дирекциям.

Однако региональные дирекции весьма неоднородны по своему составу. Рынок труда в зонах таких крупных региональных дирекций, как Красноярская, Свердловская, Московская, Октябрь-

Таблица 1 (окончание)

**Усредненные показатели по заработной плате и текучести персонала в ЦДИ в разрезе субъектов Российской Федерации за 2012–2014 годы**

Региональные дирекции	Средне-списочная численность работников ЦДИ, чел.	Средний уровень текучести персонала в ЦДИ, %	Средняя зарплата в ЦДИ, руб.	Средняя зарплата в субъекте РФ, руб.	Среднее отношение средней зар. платы в ЦДИ к средней зар. плате в субъекте РФ
Республики Чечня+ Ингушетия + Северная Осетия+Кабардино-Балкария+Карачаево-Черкессия	1495	8,15	24497	18919	1,30
Белгородская область	2833	7,64	27060	22069	1,23
Липецкая область	2573	8,38	26516	21314	1,25
Тамбовская область	2757	8,03	24736	18893	1,31
Саратовская область	7731	9,56	28039	20494	1,37
Воронежская область	6127	9,21	27998	21788	1,29
Пензенская область	2518	10,81	24989	20721	1,21
Волгоградская область	4732	10,47	25773	20819	1,24
Астраханская область	2648	6,90	29207	22278	1,31
Республика Мордовия	1488	11,10	24097	17877	1,36
Ульяновская область	2349	11,77	24099	19189	1,26
Самарская область	7254	12,00	27787	23385	1,19
Оренбургская область	5210	7,01	29615	21444	1,38
Челябинская область	11877	9,84	31756	25278	1,26
Республика Башкортостан	5241	11,41	28498	22543	1,27
Тюменская область (без автономных округов)	3704	13,57	33764	31441	1,08
Омская область	5069	9,43	29141	24328	1,20
Курганская область	3415	7,68	30540	19254	1,59
Новосибирская область	8337	9,32	34355	25329	1,36
Алтайский край	4755	9,31	29754	17826	1,67
Кемеровская + Томская области	9429	9,03	34407	25432	1,35
Красноярский край	10526	5,90	40568	31371	1,29
Республика Хакасия	1860	4,82	38731	26207	1,48
Иркутская область	12545	6,44	44300	28780	1,54
Республика Бурятия	4333	7,93	45530	25626	1,78
Забайкальский край	12394	8,37	41987	26939	1,56
Амурская область+ Республика Якутия	11154	11,69	44483	30836	1,45
Приморский край	6058	8,65	43113	29951	1,44
Хабаровский край	8937	7,44	49482	33996	1,46
Сахалинская область	1417	6,85	49841	49370	1,01
Еврейская АО	1856	6,75	42963	27288	1,57
<b>Среднее</b>		<b>8,51</b>	<b>33821</b>	<b>25600</b>	<b>1,35</b>
<b>Коэффициент вариации</b>		<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,32</b>	<b>0,14</b>

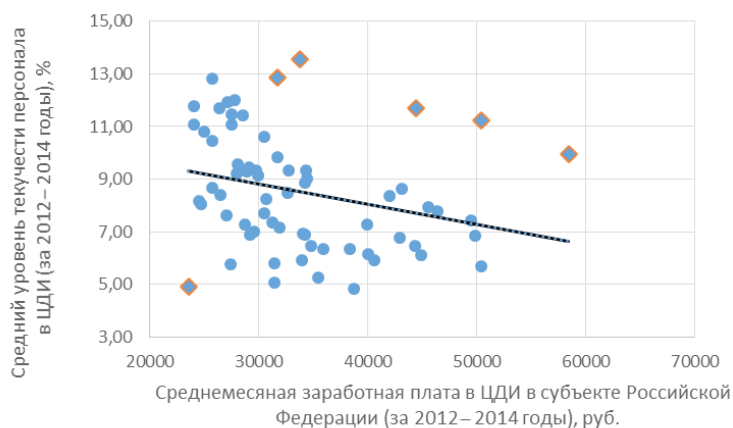
ская, характеризуется значительной дифференциацией по уровню конкуренции, заработных плат и другим показателям. Поэтому важно в гораздо большей степени знать региональные особенности

при выборе инструментов управления текучестью персонала [11].

Учитывая тот факт, что численность персонала подразделений ОАО «РЖД» в разных субъектах РФ существенно отли-



**Рис. 1. Зависимость уровня текучести (в %) от средней заработной платы (в руб.) в ЦДИ в субъекте РФ (в среднем за 2012–2014 годы).**



чается друг от друга, для повышения надёжности результатов анализа представляется целесообразным объединение показателей некоторых субъектов либо с учётом географического фактора, либо с учётом особенностей их экономики (см. таблицу 1).

### III.

Рассмотрим следующий набор исследуемых показателей: результирующая переменная — уровень текучести персонала ЦДИ в субъекте РФ ( $T$ , %), средняя заработная плата в ЦДИ в субъекте РФ ( $Z_{cp}$ , руб.), отношение средней заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к средней заработной плате по субъекту РФ ( $K_{3/n}$ ). Отметим, что первоначально набор был шире. В частности, брались средняя заработная плата в субъекте РФ и уровень безработицы по субъектам. Однако расчеты показали, что связь уровня текучести персонала со средней заработной платой по РФ практически отсутствует. С уровнем безработицы более сложная ситуация. С одной стороны, её влияние на текучесть персонала оказалось слабым, с другой — обнаружилась тенденция к усилению этой связи с течением времени. Учитывая усложнение экономической обстановки в стране, можно предположить, что в 2016–2017 годах показатель безработицы в субъектах РФ окажет более существенное влияние на текучесть персонала.

Для более детального анализа зависимостей между показателями используем матрицу парных коэффициентов корреляции. Несмотря на то, что значения коэффициентов, характеризующих силу связи между уровнем текучести и двумя выбранными факторами, кажутся не очень высокими

(равны  $-0,274$  и  $-0,452$ ), влияние этих факторов признается статистически значимым на 5 %-ном уровне. Кроме того, матрица указывает на отсутствие связи между самими факторами, так как коэффициент корреляции между ними практически равен 0.

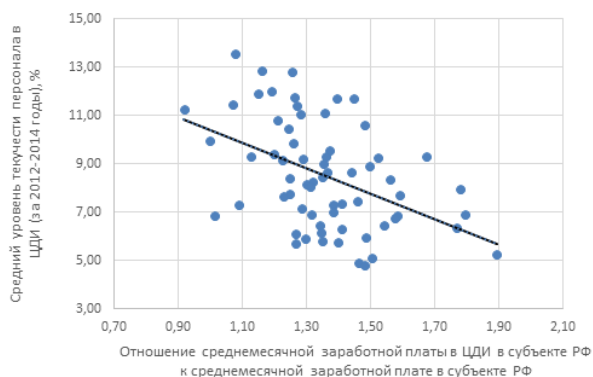
Корреляционный анализ дает возможность построения трех различных моделей:

- зависимости уровня текучести персонала  $T$  от средней заработной платы в ЦДИ по субъектам РФ ( $Z_{cp}$ );
- зависимости уровня текучести персонала  $T$  от отношения средней заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к средней заработной плате по субъекту РФ ( $K_{3/n}$ );
- зависимости уровня текучести персонала  $T$  от средней заработной платы в ЦДИ по субъектам РФ ( $Z_{cp}$ ) и отношения средней заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к средней заработной плате по субъекту РФ ( $K_{3/n}$ ) (двухфакторная модель);

Рассмотрим каждую модель в отдельности.

Корреляционное поле, отражающее зависимость среднего уровня текучести от средней заработной платы в ЦДИ (см. рис. 1), показывает, с одной стороны, очевидную обратную зависимость между указанными показателями, с другой — некоторую неоднородность выборки (чего не наблюдалось в аналогичном исследовании в разрезе региональных дирекций).

В частности, есть ряд субъектов РФ, которые «оторвались» от корреляционного облака (им соответствуют маркеры в виде ромбиков на диаграмме). Это Москва, Амурская область с Республикой Якутией, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, Тюменская и Свердловская



**Рис. 2. Зависимость уровня текучести персонала от отношения среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ.**

области, в которых при относительно высоких заработных платах сохраняются относительно высокие показатели текучести. С другой стороны — Республика Дагестан, где при едва ли не самой низкой заработной плате в ЦДИ уровень текучести один из самых низких по Российской Федерации. Кроме того, наблюдается причудливая форма корреляционного поля, отклоняющаяся от линейного тренда весьма существенно. Это еще раз говорит, что абсолютная величина заработной платы — фактор, который нельзя считать единственным в объяснении уровня текучести. Но, как уже было замечено, линейная связь между выбранными показателями статистически обоснована, а попытки использования нелинейных форм к заметному улучшению качества модели не привели.

Связь между средним уровнем текучести в субъекте РФ и средней заработной платой в ЦДИ в субъекте РФ описывается с помощью линейного регрессионного уравнения  $T = 11,09 - 0,000076 \cdot Z_{cp}$ . (2)

На уровне значимости 5 % это уравнение в целом является статистически значимым согласно F-критерию Фишера. Оба его параметра статистически значимы согласно t-критерию Стьюдента, средняя ошибка аппроксимации составляет 22 %. Это говорит о надежности полученного уравнения и возможности его использования для прогнозирования уровня текучести в ЦДИ по субъектам в зависимости от средней заработной платы в ЦДИ.

Некоторые практические выводы из уравнения (2):

- с увеличением средней заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ  $Z_{cp}$  на 1000 руб. средний уровень текучести персонала в ЦДИ в субъекте  $T$  снижается на 0,076 пункта;

- средний коэффициент эластичности равен  $-0,30$  (колеблется в диапазоне от  $-0,193$  для Республики Дагестан до  $-0,673$  в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах), то есть при увеличении средней заработной платы сотрудников ЦДИ в определенном субъекте  $Z_{cp}$  в среднем на 1 % уровень текучести  $T$  снижается в среднем на 0,3 % от своего среднего значения.

#### IV.

Связь между уровнем текучести персонала  $T$  и отношением среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ ( $K_{3/n}$ ) вначале рассмотрим на корреляционном поле (рис. 2).

Визуальный анализ корреляционного поля позволяет сделать вывод о более высоком качестве связи по сравнению с предыдущим случаем. Кроме того, можно отметить, что выборка достаточно однородна, что повышает качество модели.

Описанная связь задается уравнением парной линейной регрессии

$$T = 15,64 - 5,26 \cdot K_{3/n} \quad (3)$$

Качество уравнения (3) на уровне значимости 5 % подтверждают и F-критерий Фишера (для уравнения в целом), и t-критерий Стьюдента (для каждого из параметров), средняя относительная ошибка аппроксимации составила 21 %. Можно отметить, что фактор  $K_{3/n}$  объясняет 20 % дисперсии текучести персонала  $T$ . Полученное уравнение можно применять для прогнозирования.

Уравнение (3) позволяет утверждать:

- с увеличением отношения среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ ( $K_{3/n}$ ) на 0,1 средний уровень



текучести персонала в ЦДИ ( $T$ ) снижается на 0,526 пункта;

- средний коэффициент эластичности равен -0,84 (колеблется в диапазоне от -0,446 для Москвы до -1,755 в Брянской области), то есть при увеличении отношения среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ ( $K_{3/n}$ ) в среднем на 1 % уровень текучести в ЦДИ в субъекте ( $T$ ) снижается в среднем на 0,84 % от своего среднего значения.

Построим уравнение множественной линейной регрессии, описывающее зависимость уровня текучести персонала  $T$  от средней заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ ( $Z_{cp}$ ) и от отношения  $K_{3/n}$  среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ:

$$T = 18,39 - 0,000079 \cdot Z_{cp} - 5,33 \cdot K_{3/n} \quad (4)$$

Сведя два фактора в одно уравнение, удается существенно повысить его качество, что подтверждается F-критерием Фишера. Коэффициент детерминации для этого уравнения равен 0,28, то есть оно объясняет 28 % дисперсии уровня текучести. Одновременно с этим t-критерий Стьюдента подтверждает значимость каждого параметра уравнения. Средняя ошибка аппроксимации составила 20 %.

Следует отметить, что значения параметров регрессии при факторах  $K_{3/n}$  и  $Z_{cp}$ , по сути, не изменились в сравнении с уравнениями (2) и (3). Это произошло во многом благодаря практически полному отсутствию корреляции между факторами.

Проведя интерпретацию параметров, делаем обобщающие выводы:

- с увеличением отношения среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ ( $K_{3/n}$ ) на 0,1 средний уровень текучести персонала в ЦДИ в субъекте РФ ( $T$ ) снижается на 0,533 пункта при неизменной средней заработной плате в ЦДИ;

- с увеличением средней заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ ( $Z_{cp}$ ) на 1000 руб. средний уровень текучести персонала в ЦДИ в субъекте ( $T$ ) снижается на 0,079 пункта при неизменном отношении среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ, закрепленном на среднем уровне;

- средний коэффициент эластичности по отношению  $K_{3/n}$  равен -0,85 (колеблется в диапазоне от -0,451 для Москвы до -1,788 в Брянской области), то есть при увеличении отношения среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ ( $Z_{cp}$ ) в среднем на 1 % уровень текучести в ЦДИ в субъекте падает в среднем на 0,85 % от своего среднего значения при неизменной средней заработной плате в ЦДИ;

- средний коэффициент эластичности по заработной плате  $Z_{cp}$  равен -0,31 (колеблется в диапазоне от -0,199 для Республики Дагестан до -0,702 в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах), то есть при увеличении средней заработной платы в региональной дирекции инфраструктуры в среднем на 1 % уровень текучести  $T$  снижается в среднем на 0,31 % от своего среднего значения при неизменном отношении среднемесячной заработной платы в ЦДИ в субъекте РФ к среднемесячной заработной плате в субъекте РФ, закрепленном на среднем уровне;

- используя относительные отклонения наблюдаемых значений текучести от расчётных, можно провести разделение субъектов Российской Федерации по их чувствительности к зарплатным факторам (см. таблицу 2).

## V.

Текучесть персонала в субъектах РФ, входящих во вторую группу и имеющих наименьшие отклонения от тренда, на наш взгляд, будет наиболее чутко реагировать на изменения двух представленных зарплатных факторов. Безусловно, нельзя утверждать, что текучесть у них в пределах нормы. Возьмем, например, Ленинградскую область. Средний уровень текучести персонала за три рассматриваемых года в ней составляет 9,31 %, это достаточно высокий уровень. Рассчитаем, как изменится текучесть в данном субъекте РФ при увеличении заработной платы по ЦДИ в нем на 15 % от средних показателей за 2012–2014 годы (или на 5,8 % от зарплаты 2014 года), т.е. на 2052 руб. Будем считать, что в среднем по области заработная плата вырастет на 10 % от средних показателей за 2012–2014 годы и составит 31215 руб. – в прогнозном периоде отношение  $K_{3/n} = 1,21$ . Подставив данные в формулу (4), получим



### Относительные отклонения наблюдаемых значений текучести от расчётных, полученных с помощью уравнения (4)

Субъекты РФ, в которых уровень текучести в ЦДИ значительно выше расчетного (в скобках отклонение в %)	Субъекты РФ, в которых уровень текучести в ЦДИ незначительно отклоняется от расчетного (в скобках отклонение в %)	Субъекты РФ, в которых уровень текучести в ЦДИ значительно ниже расчетного (в скобках отклонение в %)
Амурская область + Республика Якутия (63 %)	Республика Татарстан (9 %)	Республика Дагестан (-44 %)
Республика Бурятия (49 %)	Пензенская область (8 %)	Курская область (-36 %)
Тюменская область без авт. окр. (36 %)	Саратовская область (8 %)	Республика Хакасия (-35 %)
Свердловская область (33 %)	Волгоградская область (7 %)	Псковская область (-35 %)
Ставропольский край (32 %)	Челябинская область (7 %)	Новгородская область (-33 %)
Республика Чувашия + Республика Марий Эл (31 %)	Кемеровская + Томская области (7 %)	Красноярский край (-29 %)
Владимирская область (31 %)	Смоленская область (3 %)	Мурманская область (-26 %)
Алтайский край (30 %)	Еврейская АО (2 %)	Московская область (-25 %)
Забайкальский край (24 %)	Курганская область (2 %)	Сахалинская область (-24 %)
Самарская область (22 %)	Воронежская область (-1 %)	Тульская область (-24 %)
Республика Башкортостан (22 %)	Калининградская область (-2 %)	Астраханская область (-24 %)
Ульяновская область (20 %)	Омская область (-3 %)	Калужская область (-24 %)
Республика Мордовия (20 %)	Иркутская область (-4 %)	Архангельская область (-24 %)
Приморский край (18 %)	Пермский край (-4 %)	г. Санкт-Петербург (-23 %)
г. Москва (18 %)	Республика Коми (-4 %)	Белгородская область (-21 %)
Ростовская область + Республика Калмыкия (18 %)	Брянская область (-4 %)	Вологодская область (-21 %)
Краснодарский край + Республика Адыгея (18 %)	Костромская + Ивановская области (-5 %)	Республика Карелия (-20 %)
ЯНАО + ХМАО (17 %)	Ленинградская область (-5 %)	Оренбургская область (-19 %)
Кировская область (16 %)	Рязанская область (-5 %)	Удмуртская республика (-17 %)
Ярославская область (15 %)	Нижегородская область (-8 %)	Тамбовская область (-15 %)
Орловская область (13 %)		Республики Чечня+ Ингушетия + Северная Осетия+ Кабардино-Балкария+ Карачаево-Черкессия (-15 %)
Хабаровский край (11 %)		Липецкая область (-13 %)
Новосибирская область (10 %)		Тверская область (-13 %)

прогнозное значение текучести 8,99 %. Таким образом, для региона предполагаемое изменение зарплатных показателей приведет к снижению текучести на 0,32 процентных пункта при игнорировании остальных неучтенных факторов.

Оценим затраты, необходимые для снижения текучести кадров. Среднесписочная численность в ЦДИ по Ленинградской области в 2014 году была 5677 человек. Если численность уменьшится, например, на 4 %, то для снижения текучести в области на 0,3 % потребуется  $5677 \cdot 0,96 \cdot 2052 \cdot 12 = 134$  млн руб. Можно сравнить этот результат, допустим, с затратами на выплату зональных надбавок по Амурской области<sup>2</sup>: в размере более

1,2 млрд руб. при среднесписочной численности 3247 человек в 2014 году.

Аналогичным образом можно найти в данной группе те субъекты РФ, которые не имеют проблем с текучестью, и для них также построить прогноз, позволяющий сэкономить ФОТ.

Амурская область (вместе с Республикой Якутией) лидирует в группе субъектов, для которых показатель текучести существенно превышает расчетный. Хотя при фиксируемом уровне заработных плат в этой группе уровень текучести должен был быть гораздо ниже.

Применять формулу (4) к таким субъектам РФ, особенно к «лидерам» первой группы, следует весьма осторожно, а ведь большинство из них имеют высокую текучесть персонала. Но обусловлена эта

<sup>2</sup> Текучесть в Амурской области остаётся одной из самых высоких по ЦДИ в Российской Федерации.



текущее скорее всего не зарплатными причинами. И даже если текучесть в таких регионах имеет приемлемый показатель, следует обратить внимание на внутренние и внешние факторы, которые «отрывают» их от тренда и в будущем могут усугубить проблемы.

Субъекты РФ, входящие в третью группу, имеют реальные показатели текучести, существенно отстающие от расчетных значений. Это не говорит о том, что в следующем году в них можно снизить заработную плату. Причинами низкой текучести могут быть факторы, связанные с экономикой региона, особенностями рынка труда. Но, безусловно, в этой группе есть и такие субъекты, в которых можно несколько «придержать» рост заработной платы, не боясь катастрофических последствий.

Таким образом, согласно регрессионному уравнению (4) пока только 28 % текучести объясняется влиянием двух факторов, имеющих общую «зарплатную» природу. Дальнейшие исследования будут заключаться в поиске дополнительных внутренних (в ЦДИ) и внешних факторов (уровень безработицы пока не смог стать таковым). Возможно разделение субъектов РФ на кластеры по качественным показателям (географическое положение, промышленное развитие и др.). Но уже сейчас с помощью уравнения (4) можно давать некоторые рекомендации по управлению текучестью в каждом из субъектов РФ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для управления текучестью персонала важно научиться определять ее критический уровень применительно к каждой массовой профессии. При этом следует учесть, что текучесть кадров оказывает влияние на безопасность движения, затраты на обучение, переобучение и повышение квалификации персонала, на социально-экономическую обстановку в регионе и многие другие показатели.

Для выявления причин отклонения показателя текучести от среднего в от-

дельных субъектах РФ, на отдельных предприятиях в дальнейших исследованиях предполагается использование так называемых таблиц дожития, процедур Каплана–Майера и регрессии Кокса. Эти методики позволяют не только определять средний срок работы персонала на предприятии и прогнозировать возможные увольнения сотрудников, но и выявлять факторы, влияющие на сопутствующие процессы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Епишкин И. А. Управление человеческими ресурсами: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2013. – 242 с.
2. Епишкин И. А., Тихомиров А. Н., Фроловичев А. И. Применение экономико-математических методов при анализе показателей по труду и заработной плате на железнодорожном транспорте // Сб. научных трудов конференции «Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономической суверенитет». – М.: МИИТ, 2015. – С. 40–44.
3. Дэвенпорт Т., Хо Ким Джин. О чем говорят цифры. Как понимать и использовать данные. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 224 с.
4. Епишкин И. А. Современные научные подходы к оплате труда как важнейшему элементу управления человеческими ресурсами // Сб. научных трудов конференции «Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономической суверенитет». – М.: МИИТ, 2015. – С. 99–102.
5. Белкин М. В. Организация, нормирование и оплата труда: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2011. – 160 с.
6. Шапиро С. А., Самраилова Е. К., Баландина О. В., Вешкурова А. Б. Концепции управления человеческими ресурсами. – М.: Берлин. Директ-Медиа, 2015. – 340 с.
7. Turnover and Retention Research: A Glance at the Past, a Closer Review of the Present, and a Venture into the Future. Brooks C. Holtom, Terence R. Mitchell, Thomas W. Lee, Marion B. Eberly. The Academy of Management Annals. Vol. 2, No. 1, 2008, pp. 231–274.
8. Essays on employee turnover. Peterson, Jonathan R. Cornell University, ProQuest Dissertations Publishing, 2011, 147 pages.
9. Munasinghe, Lalith. Wage Growth and the Theory of Turnover. Lalith Munasinghe. Journal of Labor Economics Apr 2000, Vol. 18, Iss. 2, pp. 204–220.
10. Is Job Turnover Countercyclical? Tito Boeri. Journal of Labor Economics Oct 1996, Vol. 14, Iss. 4, pp. 603–625.
11. Костюк Л. Д. Рынок труда: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2013. – 161 с.
12. Ермаков Д. Н., Матвеева А. С. Актуальные аспекты совершенствования деятельности региональных комиссий по регулированию социально-трудовых отношений // Право и государство: теория и практика. – 2016. – № 2. – С. 88–93. ●

Координаты авторов: **Епишкин И. А.** – i.epishkin@myief.ru, **Никитин В. Н.** – nikitin\_vladimir@list.ru, **Фроловичев А. И.** – a.frolovichev@myief.ru.

Статья поступила в редакцию 26.04.2016, принята к публикации 10.11.2016.

# RAILWAYMAN SHALL NOT LIVE BY WAGES AND SALARY ALONE

**Epishkin, Ilya A.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

**Nikitin, Vladimir N.**, Head of Department for Organization, Payment and Motivation of Labor, JSC Russian Railways, Moscow.

**Frolovichev, Alexander I.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

## ABSTRACT

The article is devoted to the study of regional features of social and economic relations in railway transport, which are directly related to stability of labor collectives, quality of human resources. A system of factors influencing staff turnover is offered,

methods for analyzing the impact of these factors are considered taking into account regional aspects, approaches to modeling of functional dependencies and the use of correlation matrices are exemplified by the structural subdivisions of Central Directorate of Infrastructure, a branch of JSC Russian Railways.

**Keywords:** railway, infrastructure directorate, subject of the Russian Federation, labor relations, regional features, labor market, staff turnover, turnover factors.

**Background.** One of the key economic problems in the sphere of labor relations in railway transport is ensuring stability of labor collectives. An indicator that allows to obtain a quantitative characteristic of movement of personnel in the organization is the level of staff turnover [6]. This is a complex result indicator, influenced by various factors.

**Objective.** The objective of the authors is to consider issues of staff turnover: management in the light of regional peculiarities.

**Methods.** The authors use general scientific methods, comparative analysis, economic evaluation, scientific description, graph construction.

### Results.

#### I.

The level of staff turnover in the largest functional branches of JSC Russian Railways has a significant variance, which is due to the peculiarities of corporate culture, the structure of personnel, its qualifications and the level of labor remuneration. However, the regional labor market remains a common factor that significantly affects the level of turnover [11]. And taking into account this significance, a balanced approach, especially strict differentiation of market conditions, is needed to evaluate the processes connected with it [12].

In this regard, for an objective economic assessment of the consequences of staff turnover, it is necessary to analyze, first of all, the data of employees whose dismissal has brought losses to the company.

As a result of studies that included consultations with experts, an analysis of management reports of JSC Russian Railways, a study of domestic and foreign publications on the problems of turnover [9, 10], a model was developed for the relationship between the level of staff turnover and factors affecting this level. From our point of view, such factors include:

$S_{av}$  – average level of salary, rub.;

$K_{sal}$  – ratio of average salary in JSC Russian Railways to average salary in the region;

$T_{sal}$  – rates of growth of salary in JSC Russian Railways, %;

$C_{zon}$  – average size of the zonal (regional) supplement, rub./person<sup>1</sup>;

$C_{soc}$  – average size of social payments, rub. / person;

$SL$  – level of employee satisfaction, % (measured by sociological research);

<sup>1</sup> The zonal supplement is applied in the system of labor remuneration of JSC Russian Railways to regulate the value of the average salary, taking into account the level of tension in the formation of professional staff, the peculiarities of regional labor markets.

$I_{in}$  – index of employee involvement, % (measured by sociological research);

$I_{con}$  – integral index of working conditions, units;

$I_{rlm}$  – competitiveness index of the structural division of JSC Russian Railways (railway, regional directorate, linear division) in the regional labor market.

Of the parameters proposed in the model, the most complex indicators are represented by the derived indicators: integral index of working conditions and competitiveness index of the structural division of JSC Russian Railways in the regional labor market.

The integral index of working conditions is a quantitative characteristic in the broad sense of the word, including such factors as the work schedule, temperature regime, climatic characteristics, labor intensity, the degree of responsibility, harmful and dangerous working conditions, etc.

The index of competitiveness of the structural division of JSC Russian Railways in the regional labor market, according to the authors, should take into account the impact of local features of labor relations on the level of staff turnover. For the correct definition of the index in the region, it is necessary to know the number of jobs in comparable professions, the possibilities for finding jobs for railway workers from competitors, the level of salaries, their dynamics, working conditions at other enterprises and other information that characterize the conjuncture of regional labor markets.

Thus, the model of the functional dependence of the level of turnover on the factors affecting it will look like this:

$$T = f(S_{av}, K_{sal}, T_{sal}, C_{zon}, C_{soc}, SL, I_{in}, I_{con}, I_{rlm}). \quad (1)$$

#### II.

The results of the research, stated in previously published works [2, 4], showed that in Central Directorate of Infrastructure – the largest branch of JSC Russian Railways (hereinafter – CDI), the salary level in only 30 % of cases affects the staff turnover level. The rest is the zone of action of other factors, where a special economic and mathematical tool performs its role.

The most common methods of analyzing and forecasting labor indicators are:

1. Methods of correlation-regression analysis, which are used to study the forms of connection, establishing quantitative relationships between the random variables of the process being studied. In socio-economic forecasting, these methods are used to construct conditional forecasts and forecasts based on the evaluation of stable cause-effect relationships [3].



**Average indicators on salary and staff turnover in CDI in the context of the subjects of the Russian Federation for 2012–2014**

Regional directorates	Average number of employees of CDI, people	Average level of staff turnover in CDI, %	Average salary in CDI, rub.	Average salary in the subject of the Russian Federation, rub.	Average ratio of average salary in CDI to average salary in the subject of the Russian Federation
Moscow	9272	11,24	50439	55174	0,92
Tver region	3453	7,35	31229	22187	1,41
St. Petersburg	7916	7,29	39916	36825	1,09
Leningrad region	4766	9,31	32766	29173	1,12
Novgorod region	1148	5,81	31426	23339	1,35
Pskov region	2151	5,74	27395	19650	1,40
Vologda region	3499	7,14	31884	24842	1,28
Karelia Republic	3865	6,32	38359	27223	1,41
Murmansk region	2741	5,69	50465	39930	1,27
Kaliningrad region	1649	8,47	32690	24333	1,35
Moscow region	4606	6,12	44864	35530	1,26
Vladimir region	2561	10,61	30463	20617	1,48
Ryazan region	2671	6,87	34258	21725	1,58
Kaluga region	1605	6,47	34768	25905	1,34
Oryol region	1338	6,93	34067	19015	1,79
Smolensk region	3520	6,35	35892	20373	1,77
Tula region	2211	5,93	33978	23008	1,48
Bryansk region	3871	5,27	35450	18805	1,89
Kursk region	1817	5,08	31481	21008	1,50
Nizhny Novgorod region	6950	8,24	30736	23343	1,32
Kirov region	3243	9,27	28909	19067	1,52
Tatarstan Republic	4733	11,46	27534	25854	1,07
Chuvashia Republic + Mariy El Republic	1101	11,69	26356	18973	1,39
Udmurtia Republic	2362	7,28	28696	20845	1,38
Sverdlovsk region	12349	12,86	31768	27413	1,16
Perm region	6595	9,15	29983	24546	1,22
Komi Republic	3889	7,77	46390	37303	1,25
Arkhangelsk region (without Nentsky AD)	5497	6,15	40046	29901	1,34
Yaroslavl region	3872	8,88	34211	22945	1,49
Kostroma + Ivanovo regions	2707	8,65	25763	18945	1,36
YaNAD+KhMAD	2935	9,93	58458	58812	1,00
Dagestan Republic	1210	4,92	23563	16230	1,46
Stavropol region	2101	12,82	25740	20570	1,25
Krasnodar region+Adygea Republic	9354	11,93	27108	23642	1,15
Rostov region + Kalmykia Republic	8955	11,07	27530	21566	1,28

2. Analysis of time series taking into account seasonality.

3. Balance method of analyzing labor indicators.

In particular, using the correlation-regression analysis, the effect of the average salary level in CDI and the ratio of salary levels in regional directorates of infrastructure and salary in subjects of the Russian Federation that gravitate toward these directorates was studied.

However, regional directorates are very heterogeneous in their composition. The labor market in the zones of such large regional directorates as Krasnoyarsk, Sverdlovsk, Moscow, October, is characterized by considerable differentiation in terms of competition, salary and other indicators. Therefore, it is important to know the regional peculiarities in a much greater degree when choosing tools to manage staff turnover [11].

Taking into account the fact that the number of personnel of JSC Russian Railways divisions in different subjects of the Russian Federation differs significantly from each other, to increase reliability of the results of analysis, it seems advisable to combine the indicators of some subjects either taking into account the geographical factor or taking into account the peculiarities of their economy (see Table 1).

### III.

Let's consider the following set of researched indicators: the resulting variable – the level of staff turnover of CDI in the subject of the Russian Federation ( $T$ , %), average salary in CDI in the subject of the Russian Federation ( $S_{\text{avg}}$ , rub.), ratio of average salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average salary in the subject of the Russian Federation ( $K_{\text{sal}}$ ). Note that the original set was wider. In particular, average salary in the subject of the

Table 1

**Average indicators on salary and staff turnover in CDI in the context of the subjects  
of the Russian Federation for 2012–2014**

Regional directorates	Average number of employees of CDI, people	Average level of staff turnover in CDI, %	Average salary in CDI, rub.	Average salary in the subject of the Russian Federation, rub.	Average ratio of average salary in CDI to average salary in the subject of the Russian Federation
Republics Chechnya+ Ungeshetia + Severnaya Osetia+Kabardino-Balkaria+Karachaevo-Cherkessia	1495	8,15	24497	18919	1,30
Belgorod region	2833	7,64	27060	22069	1,23
Lipetsk region	2573	8,38	26516	21314	1,25
Tambov region	2757	8,03	24736	18893	1,31
Saratov region	7731	9,56	28039	20494	1,37
Voronezh region	6127	9,21	27998	21788	1,29
Penza region	2518	10,81	24989	20721	1,21
Volgograd region	4732	10,47	25773	20819	1,24
Astrakhan region	2648	6,90	29207	22278	1,31
Mordovia Republicа	1488	11,10	24097	17877	1,36
Ulyanovsk region	2349	11,77	24099	19189	1,26
Samara region	7254	12,00	27787	23385	1,19
Orenburg region	5210	7,01	29615	21444	1,38
Chelyabinsk region	11877	9,84	31756	25278	1,26
Bashkortostan Republic	5241	11,41	28498	22543	1,27
Tyumen region (without aut. districts)	3704	13,57	33764	31441	1,08
Omsk region	5069	9,43	29141	24328	1,20
Kurgan region	3415	7,68	30540	19254	1,59
Novosibirsk region	8337	9,32	34355	25329	1,36
Altai region	4755	9,31	29754	17826	1,67
Kemerovo + Tomsk regions	9429	9,03	34407	25432	1,35
Krasnoyarsk region	10526	5,90	40568	31371	1,29
Khakasia Republic	1860	4,82	38731	26207	1,48
Irkutsk region	12545	6,44	44300	28780	1,54
Buryatia Republic	4333	7,93	45530	25626	1,78
Zabaikalsky region	12394	8,37	41987	26939	1,56
Amur region+ Yakutia Republic	11154	11,69	44483	30836	1,45
Primorsky region	6058	8,65	43113	29951	1,44
Khabarovsk region	8937	7,44	49482	33996	1,46
Sakhalin region	1417	6,85	49841	49370	1,01
Jewish AR	1856	6,75	42963	27288	1,57
Average		8,51	33821	25600	1,35
Variation coefficient		0,26	0,23	0,32	0,14

Russian Federation and unemployment rate in the subjects were taken. However, calculations have shown that there is practically no connection between the level of staff turnover and average salary in the Russian Federation. The unemployment level is more complicated. On the one hand, its impact on staff turnover was weak, on the other, there was a tendency to strengthen this connection over time. Given the increasing economic situation in the country, we can assume that in 2016–2017, the unemployment rate in the subjects of the Russian Federation will have a more significant impact on staff turnover.

For a more detailed analysis of dependencies between the indicators, we use the matrix of pair correlation coefficients. Despite the fact that the values of coefficients characterizing the strength of the relationship between the turnover level and two selected factors seem to be not very high (-0,274 and -0,452), the influence of these factors is recognized

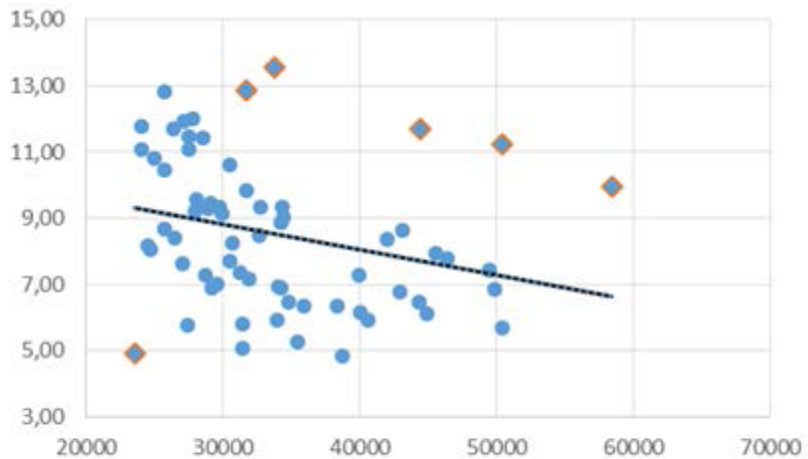
as statistically significant at the 5 % level. In addition, the matrix indicates the absence of a connection between the factors themselves, since the correlation coefficient between them is practically equal to 0.

Correlation analysis makes it possible to construct three different models:

- dependence of the level of staff turnover  $T$  on average salary in CDI in the subjects of the Russian Federation ( $S_{av}$ );
- dependence of the level of staff turnover  $T$  on the ratio of average salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average salary in the subject of the Russian Federation ( $K_{sal}$ );
- dependence of staff turnover level  $T$  on average salary in CDI in the subjects of the Russian Federation ( $S_{av}$ ) and the ratio of average salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average salary in the subject of the Russian Federation ( $K_{sal}$ ) (two-factor model);



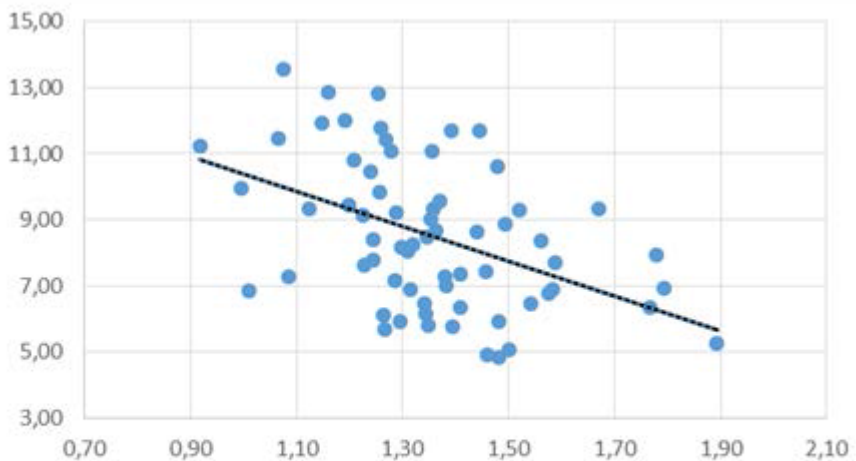
Average staff turnover level in CDI (for 2012–2014 years), %



Average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation (for 2012–2014 years), rub.

**Pic. 1. Dependence of the level of turnover (in%) on average salary (in rubles) in CDI in the subject of the Russian Federation (average for 2012–2014).**

Average level of staff turnover in CDI (for 2012–2014 years), %



Ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian Federation

**Pic. 2. Dependence of the level of staff turnover on the ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian Federation.**

Let's consider each model separately.

The correlation field, reflecting the dependence of the average level of turnover on average salary in CDI (see Pic. 1), shows, on the one hand, an obvious inverse relationship between these indicators, on the other – some heterogeneity in the sample (which was not observed in a similar study in the section of regional directorates).

In particular, there are a number of subjects of the Russian Federation, which «broke away» from the correlation cloud (they correspond to markers in the form of diamonds on the diagram). This is Moscow, Amur region with Republic of Yakutia, Yamalo-Nenetsky and the Khanty-Mansiysky Autonomous Districts, Tyumen region and Sverdlovsk region, where relatively high rates of turnover remain along with relatively high salary. On the other hand – the Republic of Dagestan, where, with almost the lowest salary in CDI, the turnover level is one of the lowest in

the Russian Federation. In addition, there is a bizarre form of the correlation field, deviating from the linear trend very significantly. This once again says that the absolute value of salary is a factor that cannot be considered unique in explaining the level of turnover. But, as already noted, a linear relationship between the selected indicators is statistically justified, and attempts to use nonlinear forms have not resulted in noticeable improvement in the quality of the model.

$$T = 11,09 - 0,000076 \cdot S_{av} \quad (2)$$

At a significance level of 5 %, this equation as a whole is statistically significant according to the F-criterion of Fisher. Both of its parameters are statistically significant according to Student's t-test,

Table 2

**Relative deviations of the observed values of turnover from the calculated values obtained with the aid of equation (4)**

Subjects of the Russian Federation, in which the level of turnover in DI is significantly higher than the calculated level (in brackets, deviation in %)	Subjects of the Russian Federation, in which the level of turnover in DI slightly deviates from the calculated (in brackets deviation in %)	Subjects of the Russian Federation, in which the level of turnover in DI is significantly lower than the calculated (in brackets deviation in %)
Amur region + Yakutia Republic (63 %)	Tatarstan Republic (9 %)	Dagestan Republic (-44 %)
Buryatia Republic (49 %)	Penza region (8 %)	Kursk region (-36 %)
Tyumen region without aut. Districts (36 %)	Saratov region (8 %)	Khakasia Republic (-35 %)
Sverdlovsk region (33 %)	Volgograd region (7 %)	Pskov region (-35 %)
Stavropol region (32 %)	Chelyabinsk region (7 %)	Novgorod region (-33 %)
Chuvashia Republic + Mariy El Republic (31 %)	Kemerovo + Tomsk region (7 %)	Krasnoyarsk region (-29 %)
Vladimir region (31 %)	Smolensk region (3 %)	Murmansk region (-26 %)
Altai region (30 %)	Jewish AR (2 %)	Moscow region (-25 %)
Zabaikalsky region (24 %)	Kurgan region (2 %)	Sakhalin region (-24 %)
Samara region (22 %)	Voronezh region (-1 %)	Tula region (-24 %)
Bashkortastan Republic (22 %)	Kaliningrad region (-2 %)	Astrakhan region (-24 %)
Ulyanovsk region (20 %)	Omsk region (-3 %)	Kaluga region (-24 %)
Mordovia Republic (20 %)	Irkutsk region (-4 %)	Arkhangelsk region (-24 %)
Primorsky region (18 %)	Perm region (-4 %)	St. Petersburg (-23 %)
Moscow (18 %)	Komi Republic (-4 %)	Belgorod region (-21 %)
Rostov region + Kalmykia Republic (18 %)	Bryansk region (-4 %)	Vologda region (-21 %)
Krasnodar region + Adygea Republic (18 %)	Kostroma + Ivanovo regions (-5 %)	Karelia Republic (-20 %)
YaNAD + KhMAD (17 %)	Leningrad region (-5 %)	Orenburg region (-19 %)
Kirov region (16 %)	Ryazan region (-5 %)	Udmurtia Republic (-17 %)
Yaroslavl region (15 %)	Nizhny Novgorod region (-8 %)	Tambov region (-15 %)
Oryol region (13 %)		Republics Chechnya+ Ingushetia + Severnaya Osetia+Kabardino-Balkaria+Karachaevo-Cherkessia (-15 %)
Khabarovsk region (11 %)		Lipetsk region (-13 %)
Novosibirsk region (10 %)		Tver region (-13 %)

the average error of approximation is 22 %. This indicates the reliability of the obtained equation and the possibility of its use for predicting the level of turnover in CDI in the regions, depending on average salary in CDI.

Some practical conclusions from equation (2):

- with an increase in average salary in CDI in the subject of the Russian Federation,  $S_{av}$  by 1000 rubles average level of staff turnover in CDI in the subject  $T$  is reduced by 0,076 points;

- average coefficient of elasticity is -0,30 (varies from -0,193 for the Republic of Dagestan to -0,673 in Yamalo-Nenetsky and Khanty-Mansiysky Autonomous Districts), that is, with an increase in average salary of employees of CDI in a certain subject  $S_{av}$  by on average 1 %, the turnover level  $T$  is reduced by an average of 0,3 % of its mean value.

#### IV.

The relationship between the level of staff turnover  $T$  and the ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian

Federation ( $K_{sal}$ ) will first be considered on the correlation field (Pic. 2).

Visual analysis of the correlation field allows us to conclude that the quality of the connection is higher than in the previous case. In addition, it can be noted that the sample is fairly uniform, which increases the quality of the model.

The described connection is given by the equation of pairwise linear regression

$$T = 15,64 - 5,26 \cdot K_{sal} \quad (3)$$

The quality of equation (3) at the significance level of 5 % is confirmed by Fisher's  $F$ -criterion (for the equation as a whole), and Student's  $t$ -test (for each of the parameters), the average relative error of approximation was 21 %. It can be noted that the factor  $K_{sal}$  accounts for 20 % of the variance of staff turnover  $T$ . The equation obtained can be used for forecasting.

Equation (3) allows us to state:

- with an increase in the ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian



Federation ( $K_{sal}$ ) by 0,1 the average level of staff turnover in CDI ( $T$ ) is reduced by 0,526 points;

- average coefficient of elasticity is -0,84 (varies from -0,446 for Moscow to -1,755 in Bryansk region), that is, when the ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian Federation ( $K_{sal}$ ) on average 1 % the level of turnover in CDI in the subject ( $T$ ) is reduced by an average of 0,84 % of its average value.

Let's construct the multiple linear regression equation describing the dependence of staff turnover level  $T$  on average salary in CDI in the subject of the Russian Federation ( $S_{av}$ ) and on the ratio  $K_{sal}$  of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian Federation:

$$T = 18,39 - 0,000079 \cdot S_{av} - 5,33 \cdot K_{sal} \quad (4)$$

By reducing two factors into one equation, it is possible to significantly improve its quality, which is confirmed by the  $F$ -criterion of Fisher. The coefficient of determination for this equation is 0,28, that is, it accounts for 28 % of the variance of turnover level. At the same time Student's  $t$ -test confirms the significance of each parameter of the equation. The average error of approximation was 20 %.

It should be noted that the values of the regression parameters for the factors  $K_{sal}$  and  $S_{av}$ , in fact, did not change in comparison with equations (2) and (3). This was largely due to the almost complete lack of correlation between the factors.

Having carried out interpretation of the parameters, we make conclusions summarizing the analysis:

- with an increase in the ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian Federation ( $K_{sal}$ ) by 0,1, the average level of staff turnover in CDI in the subject of the Russian Federation ( $T$ ) is reduced by 0,533 points with the same average salary in CDI;

- with an increase in average salary in CDI in the subject of the Russian Federation ( $S_{av}$ ) by 1000 rubles the average level of staff turnover in CDI in the subject ( $T$ ) is reduced by 0,079 points with the same ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian Federation fixed at the average level;

- average coefficient of elasticity with respect to  $K_{sal}$  is -0,85 (varies from -0,451 for Moscow to -1,788 in Bryansk region), that is, when the ratio of average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation to average monthly salary in the subject of the Russian Federation ( $S_{av}$ ), on the average by 1 %, the level of turnover in CDI in the subject falls, on average, by 0,85 % of its average value with the same average salary in CDI;

- average coefficient of elasticity for salary  $S_{av}$  is -0,31 (varies from -0,199 for the Republic of Dagestan to -0,702 in the Yamalo-Nenetsky and Khanty-Mansiysky Autonomous Districts), that is, with an increase in the average salary in the regional infrastructure directorate by an average of 1 %, the level of turnover  $T$  is reduced by an average of 0,31 % of its average value, while the average monthly salary in CDI in the subject of the Russian Federation is constant against average monthly salary in the subject of the Russian Federation fixed at the average level;

- using relative deviations of the observed turnover values from the calculated values, it is

possible to divide the subjects of the Russian Federation according to their sensitivity to salary factors (see Table 2).

## V.

The staff turnover in the subjects of the Russian Federation, which are part of the second group and having the least deviations from the trend, in our opinion, will be the most sensitive to the changes in two presented salary factors. Of course, one cannot say that their turnover is within the norm. Let's take, for example, Leningrad region. The average level of staff turnover in three years under review is 9,31 %, which is a fairly high level. Let's calculate how the turnover in a given subject of the Russian Federation will change with an increase in salary in CDI in it by 15 % of the average for 2012–2014 (or 5,8 % of the salary for 2014), i.e. by 2052 rubles. We assume that the average salary in the region will grow by 10 % of the average for the years 2012–2014 and will be 31215 rubles. – in the forecast period, the ratio  $K_{sal} = 1,21$ . Substituting the data in the formula (4), we get the predicted value of the turnover of 8,99 %. Thus, for the region, the expected change in salary indicators will lead to a decrease in turnover by 0,32 percentage points, while ignoring the remaining unaccounted factors.

Let's estimate the costs necessary to reduce staff turnover. The average number of employees in CDI in Leningrad region in 2014 was 5677 people. If the number decreases, for example, by 4 %, then to reduce the turnover in the area by 0,3 % it will be necessary to  $5677 \cdot 0,96 \cdot 2052 \cdot 12 = 134$  million rubles. You can compare this result, say, with the costs of paying zonal supplements in Amur region<sup>2</sup>: more than 1,2 billion rubles with an average number of 3447 people in 2014.

Similarly, one can find in this group those subjects of the Russian Federation that do not have turnover problems, and for them also build a forecast that will save payroll expenses.

Amur region (together with the Republic of Yakutia) is the leader in the group of subjects for which the turnover rate is much higher than the estimated one. Although at a fixed level of salary in this group, the level of turnover should have been much lower.

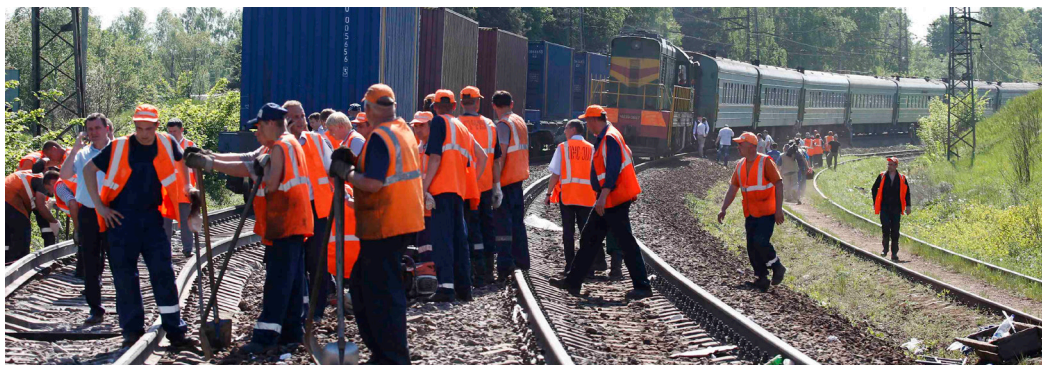
Application of the formula (4) to such subjects of the Russian Federation, especially to the «leaders» of the first group, should be very cautious, and in fact most of them have a high staff turnover. But this turnover is due to the most likely non-salary reasons. And even if the turnover in such regions has an acceptable figure, attention should be paid to internal and external factors that «tear» them from the trend and in the future can exacerbate the problems.

The subjects of the Russian Federation, which are part of the third group, have real indicators of turnover, which are substantially lagging behind the calculated values. This does not mean that in the next year salary can be reduced in them. Causes of low turnover may be factors associated with the economy of the region, the characteristics of the labor market. But, certainly, in this group there are also such subjects in which it is possible to «hold» salary increase, without fear of catastrophic consequences.

Thus, according to the regression equation (4) so far only 28 % of turnover is due to the influence of two factors having a common «salary» nature. Further research will be to find additional internal (in CDI) and

<sup>2</sup> Turnover in Amur region remains one of the highest in CDI in the Russian Federation.





external factors (unemployment rate has not yet been able to become such). It is possible to divide the subjects of the Russian Federation into clusters by qualitative indicators (geographical location, industrial development, etc.). But already now with the help of equation (4) it is possible to give some recommendations on management of turnover in each of the subjects of the Russian Federation.

**Conclusion.** To manage staff turnover it is important to learn to determine its critical level in relation to each mass profession. At the same time, one should take into account that staff turnover affects the safety of movement, the costs of training, retraining and upgrading the skills of personnel, the social and economic situation in the region, and many other indicators.

To determine the reasons for deviation of the index of turnover from the average in some regions of the Russian Federation, at some enterprises in future studies it is proposed to use the so-called survival tables, Kaplan–Mayer procedures and Cox regression. These methods allow not only to determine the average term of work of personnel at the enterprise and to forecast possible dismissals of employees, but also to identify factors that affect the related processes.

## REFERENCES

1. Epishkin, I. A. Management of Human Resources: Educational guide [Upravlenie chelovecheskimi resursami: Ucheb. posobie]. Moscow, MIIT publ., 2013, 242 p.
2. Epishkin, I. A., Tikhomirov, A. N., Frolovichev, A. I. Application of economic-mathematical methods in the analysis of indicators on labor and wages in rail transport [Primenenie ekonomiko-matematicheskikh metodov pri analize pokazatelej po trudu i zarabotnoj plate na zheleznodorozhnom transporte]. Collection of scientific works of the conference «Modern Problems of Economic Management of the Transport Complex of Russia: Competitiveness, Innovation and Economic Sovereignty». Moscow, MIIT publ., 2015, pp. 40–44.
3. Davenport, T., Ho Kim Jin. What the numbers say. How to understand and use data [O chem govoryat cifry. Kak

ponimat' i ispol'zovat' dannye]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber publ., 2014, 224 p.

4. Epishkin, I. A. Modern scientific approaches to labor remuneration as the most important element of human resources management [Sovremennye nauchnye podhody k oplata truda kak vazhnejshemu elementu upravlenija chelovecheskimi resursami]. Collection of scientific works of the conference «Modern Problems of Economic Management of the Transport Complex of Russia: Competitiveness, Innovation and Economic Sovereignty». Moscow, MIIT publ., 2015, pp. 99–102.

5. Belkin, M. V. Organization, rationing and remuneration: educational guide [Organizacija, normirovanie i oplata truda: Ucheb. posobie]. Moscow, MIIT publ., 2011, 160 p.

6. Shapiro, S. A., Samrailova, E. K., Balandina, O. V., Veshkurova, A. B. Concepts of human resources management [Konceptii upravlenija chelovecheskimi resursami]. Moscow, Berlin, DirectMedia publ., 2015, 340 p.

7. Turnover and Retention Research: A Glance at the Past, a Closer Review of the Present, and a Venture into the Future. Brooks c. Holtom, Terence R. Mitchell, Thomas W. Lee, Marion B. Eberly. The Academy of Management Annals. Vol. 2, No. 1, 2008, pp. 231–274.

8. Essays on employee turnover. Peterson, Jonathan R. Cornell University, ProQuest Dissertations Publishing, 2011, 147 p.

9. Munasinghe, Lalith. Wage Growth and the Theory of Turnover. *Journal of Labor Economics*, Apr 2000, Vol. 18, Iss. 2, pp. 204–220.

10. Tito Boeri. Is Job Turnover Countercyclical? *Journal of Labor Economics*, Oct 1996, Vol. 14, Iss. 4, pp. 603–625.

11. Kostyuk, L. D. Labor market: educational guide [Rynok truda: Ucheb. posobie]. Moscow, MIIT publ., 2013, 161 p.

12. Ermakov, D. N., Matveeva, A. S. Actual aspects of improving the activities of regional commissions on regulation of social and labor relations [Aktual'nye aspekty sovershenstvovanija dejatel'nosti regional'nyh komissij po regulirovaniju social'no-trudovyh otnoshenij]. *Pravo i gosudarstvo: teorija i praktika*, 2016, Iss. 2, pp. 88–93. ●

Information about the authors:

**Epishkin, Ilya A.** – Ph.D. (Economics), associate professor, head of the department of Labor Economics and Human Resources Management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, i.epishkin@myief.ru.

**Nikitin, Vladimir N.** – Ph.D. (Economics), Head of Department for Organization, Payment and Motivation of Labor, JSC Russian Railways, Moscow, Russia, nikitin\_vladimir@list.ru.

**Frolovichev, Alexander I.** – senior lecturer of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, a.frolovichev@myief.ru.

Article received 26.04.2016, accepted 10.11.2016.





## ФОРУМ ПО ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

6–7 апреля 2017 года в Санкт-Петербурге состоялся VII Международный форум «Безопасность на транспорте». В работе форума приняли участие более 400 делегатов – представителей федеральных министерств и ведомств, органов власти субъектов РФ, госкорпораций, системообразующих компаний, общественных организаций, институтов науки и образования.

На пленарном заседании форума, в частности, выступил вице-президент – начальник Департамента безопасности движения ОАО «РЖД» Шевкет Шайдуллин. Он рассказал об основных аспектах реализации Стратегии гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в компании «Российские железные дороги».

«Безопасность – ключевое направление работы холдинга «Российские железные дороги», – отметил Шевкет Шайдуллин. По его словам, целевые задачи по обеспечению безопасности движения поездов

в прошедшем году выполнены с превышением установленных показателей на 19 % по отношению к 2015 году.

Шевкет Шайдуллин сделал акцент на формировании в ОАО «РЖД» культуры безопасности, в основе которой лежит система менеджмента безопасности, а также общие принципы культуры – профессионализм персонала и управленческих решений.

Наряду с вопросами обеспечения безопасности движения поездов топ-менеджер поднял актуальный вопрос профилактики случаев травмирования граждан на железных дорогах. Так, с 2010 года ОАО «РЖД» вложило 24 млрд рублей в мероприятия по предупреждению травматизма, что, в свою очередь, привело к снижению количества несчастных случаев на 26 %. Шевкет Шайдуллин предложил ввести в школьный курс раздел по изучению правил поведения на железной дороге.

**По материалам  
пресс-службы ОАО «РЖД» ●**

## FORUM ON TRANSPORT SAFETY AND SECURITY

The VII International Transport Security Forum was held in St. Petersburg on 6–7 April 2017. It was attended by more than 400 delegates, including representatives from Russia's federal ministries and departments, authorities from the subjects of the Russian Federation, state corporations, strategic companies, social and public organisations and science and educational institutes.

Taking part in the plenary session of the Forum was particularly Shevket Shaydullin, Vice-President and the head of the Russian Railways' Traffic Safety and Security Department. S. Shaydullin spoke about the main aspects of implementing the Strategy of Guaranteed Safety and Security and Transportation Reliability at the Company.

«Safety and security are key areas for the Russian Railways' Holding», said Shevket Shaydullin, adding that the target for ensuring train safety and security in 2016 was exceeded by 19 % compared to 2015.

Shaydullin also emphasised the development of a safety and security culture at Russian Railways which is based on a safety and security management system, as well as the general principles of Company culture – professionalism in personnel and managerial decisions.

Along with the questions of ensuring train safety and security, the Company senior manager raised the urgent issue of preventing injuries to railway passengers. Since 2010, Russian Railways has therefore invested 24 billion roubles in trauma prevention measures, which in turn has led to a 26 % reduction in the number of accidents.

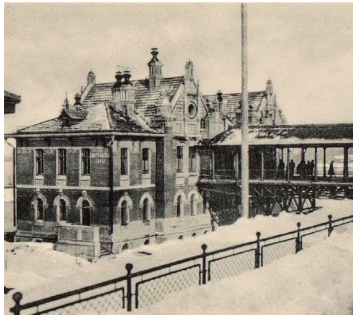
Shaydullin suggested introducing to the school course on basic health and safety training of a section on the behaviour rules near and on the railways.

**Based on releases of press service of JSC  
Russian Railways ●**

# TV

## МОСКОВСКАЯ ОКРУЖНАЯ 228

*Архитектурная эстетика станций.*



## ПРЕСС-АРХИВ 240

*Эксплуатационные характеристики железных дорог в России и за рубежом, как их оценивали и сравнивали более 100 лет назад. Аналог современного КПЭ?*

## ГАЛЕРЕЯ ИМЕН 244

*Благодаря Д.А. Лачинову электротехника стала наукой, основанной на математическом анализе.*

## MOSCOW CIRLE 228

*Architectural esthetics of stations.*

## PRESS ARCHIVES 240

*Operation features of Russian and other leading railways as they were assessed and compared more than 100 years ago. Is there any similarity with modern KPI?*

## GALLERY OF NAMES 244

*Thanks to Dmitry Lachinov the electrical engineering has become a science based on mathematical analysis.*



КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL





## «Сообразный первопрестольной вид»



Татьяна ТИХОНОВА

Tatyana Yu. TIKHONOVA

### «An Appearance Consistent with the Capital City»

(текст статьи на англ. яз. – English text of  
the article – p. 235)

**120 лет назад император Николай II дал зелёный свет проекту строительства Московской окружной железной дороги. Уникальность этой дороги состояла в том, что она, будучи объектом городской среды первопрестольной столицы, должна была иметь подобающий статусным целям архитектурный ансамбль зданий, вокзалов, инфраструктурных сооружений, мостов, выполнять пассажирские и грузовые перевозки, отвечающие потребностям населения. В статье показаны основные этапы реализации проекта, особенности архитектурных решений, ретроспекция развития кольцевой железнодорожной системы вплоть до наших дней, включая наиболее крупные реконструкционные и модернизационные работы последних лет.**

Ключевые слова: Москва, окружная железная дорога, история, строительство, архитектура, творцы, станции, мосты, реконструкция.

*Тихонова Татьяна Юрьевна – кандидат философских наук, доцент кафедры «Сервис и туризм» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

Одним из уникальных сооружений системы железнодорожного транспорта в начале прошлого века стала Московская окружная железная дорога (МОЖД). Её строительство было санкционировано императором Николаем II в 1897 году (7 ноября 1897 г. на особом правительственном совещании с участием императора Николая II было признано «желательным приступить к постройке Московской Окружной железной дороги» – прим. ред.).

В конкурсе на строительство железной дороги вокруг Москвы победил проект архитектора Петра Рашевского. Стройка длилась шесть лет – с 1903 по 1908 год. За это время было сооружено двухпутное железнодорожное кольцо длиной в 50,6 версты, что составляет примерно 54 километра.

Окружная железная дорога имела огромное государственное значение, поэтому к её строительству были привлечены ведущие российские инженеры и архитекторы. На расходы не скупился, потому что Николай II собственноручно начертил на титульном листе проекта Рашевского: «Дорога должна иметь сообразный первопрестольной столице вид». Проектированием мостов занимались известные всей Европе инженеры-мостостроители Н. А. Беллюбский и Л. Д. Проскуряков, за архитек-



**МОЖД. Воробьевы горы. 1907–1908.**

турную концепцию сооружений отвечал профессор архитектуры, действительный член Академии художеств А. Н. Померанцев.

### **ВИЗИТНЫЕ КАРТОЧКИ ТВОРЦОВ**

*Александр Никанорович Померанцев* (1849–1918) в 1874 году закончил Московское училище живописи, ваяния и зодчества, после чего поступил на архитектурное отделение Императорской Академии художеств в Петербурге, закончив ее с золотой медалью 1-й степени за проект «Вокзал в парке вблизи столицы». В 1887 году получил звание академика архитектуры. Померанцев преподавал в академии, параллельно с января 1897 году занимал должность архитектора училищного совета при Синоде.

В 1895–1896 годах являлся главным архитектором Всероссийской промышленной выставки в Нижнем Новгороде. Им выполнены генплан выставки и проекты основных павильонов (Главный, Среднеазиатский, Машинный, Искусств). Большинство его проектов имело новаторские для 1890-х металлические каркасы, которые разработал В. Г. Шухов. Наиболее известным из сооружений А. Н. Померанцева стали Верхние торговые ряды (более позднее название – ГУМ), построенные в Москве в 1889–1893 годах – проект, победивший в открытом конкурсе и дополнивший ансамбль зданий в «русском» стиле близ Красной площади. Он же выполнил архитектурную часть памятника Александру III близ храма

Христа Спасителя (установлен в 1900, снесён в 1918 году), спроектировал три собора в память Александра Невского – в Москве, Петербурге и Софии.

*Николай Аполлонович Белелюбский* (1845–1922) в 1867 году окончил Петербургский институт инженеров путей сообщения, с 1873-го – профессор этого института. По его проектам построен ряд крупных металлических железнодорожных мостов через Волгу, Днепр, Обь, Белую и другие реки. Белелюбский разработал способ быстрой замены деревянных конструкций мостов металлическими без перерыва движения, внёс существенные улучшения в конструкции металлических пролётных строений. Руководил первой в России испытательной лабораторией строительных материалов. Предложенные им методы испытаний материалов вошли в международную практику. Большая заслуга принадлежит ему в изучении механических свойств железобетона. Опубликованный профессором «Курс строительной механики» стал первым полным курсом на русском языке по этой дисциплине. Лично Н. А. Белелюбским и под его руководством разработано свыше 100 проектов больших мостов.

*Лавр Дмитриевич Проскураков* (1858–1926) после успешного окончания Петербургского института путей сообщения в 1884 году получает место в министерстве путей сообщения, в службе, ведающей железными дорогами. Затем возвращается в институт на



преподавательскую и исследовательскую работу. Защитив докторскую диссертацию, он за короткое время становится известным учёным и специалистом в области строительной механики, при этом больше всего его привлекает проблема мостов. Впоследствии Л. Д. Проскуряков становится профессором Императорского Московского инженерного училища (МИИТ).

Он первый в Европе отказался от сложных по конструкции и расчётам многорешётчатых мостовых ферм. Спроектировав ферму с одной треугольной мощной решеткой и на основе этого новшества построив в 1887 году железнодорожный мост через р. Сулу, Проскуряков положил начало новому направлению в мостостроении.

Все научно-практические изыскания инженера были направлены на создание идеального мостового сооружения. И оно родилось. Им стал построенный по его расчётам в 1898 году мост через Енисей. В проекте пролётного строения (144,5 м), как констатировали учёные, Проскуряков применил совершенно новую конструкцию — оригинальную шпренгельную ферму, за что и получил на Парижской выставке 1900 года высшую награду — Большую золотую медаль.

## АРХИТЕКТУРНОЕ ЕДИНСТВО

Станционные строения Окружной железной дороги, проходящей по территории столицы, различны по характеру форм и деталей, однако близки по архитектурному стилю. Единству стиля способствуют небольшие по нынешним понятиям размеры построек, их камерность, соизмеримость деталей с общими объёмами.

Станции Московской окружной представляли собой целые комплексы построек различного назначения. Многие из объектов не дошли до нашего времени, но сохранившиеся здания представляют сейчас архитектурную ценность. Станции были спроектированы под руководством архитекторов А. Н. Померанцева и Н. В. Марковникова, при участии И. М. Рыбина.

Ансамбль Московской окружной железной дороги является уникальным для России примером: по своему первоначальному расположению за чертой города и составу зданий и сооружений, относящихся к пригородным, он не мог считаться принадлежностью первопрестольной, но воспринимался, тем не менее,

как исключительно городской ансамбль (единственный реализованный проект такого рода в России), призванный служить «к украшению города».

Все пассажирские здания располагались внутри кольца, со стороны города, а товарные платформы, пакгаузы, станционные пути — с внешней стороны. Отсчёт верст новой железной дороги начинался от точки её пересечения с Николаевской железной дорогой, по часовой стрелке. Малое кольцо получилось не совсем круглое. На северо-западе оно оттягивается на 12 километров, а на юге проходит в пяти километрах от Кремля.

19 июля 1908 года по Окружной прошёл первый поезд. Строители передали объект управлению Николаевской железной дороги, началась его эксплуатация.

Уже тогда современники понимали уникальность осуществленного проекта. Был издан красивейший альбом сооружений МОЖД, куда вошли лучшие образцы архитектурно-строительного искусства.

Большинство станций и сооружений возводилось по типовым проектам (исключение — Лихоборы и Воробьёвы горы) — в красном кирпиче с белыми деталями и черепичными крышами. Черепица закупалась в Варшаве. Станции были оборудованы специально изготовленной мебелью из дуба, электрическими часами фирмы «Павел Буре» (единственный сохранившийся оригинальный экземпляр этих часов находится в кабинете начальника станции Пресня). Освещались пристанционные территории распыленным газом по системе инженера Кржеминского.

В комплекс входили билетные кассы, залы ожидания. Помещения отапливались голландскими и русскими печами, было проведено электричество. Все было современное, передовое — телефонная линия фирмы «Л. М. Эриксон и компания», электрожелезнодорожная система Вебб—Томпсона с семафорами, системы управления движением Макс—Юделя.

На станциях открывались буфеты с ледниками для хранения провизии, а также «отхожие места каменные, отопляемые». Здесь трудилась целая армия — стрелочники, станционные сторожа, телеграфисты, конторщики, ламповщики.

Непременным украшением станций стали садики. Были изданы путеводители и альбомы с историей Москвы и описанием исторических памятников и торгово-промышленных заве-



*К. Фишер. Станция Воробьевы горы 1907 г.*

дений, находящихся в окрестностях Москвы и прилегающих к кольцу дороги, с рисунками и картой.

В целом архитектурный ансамбль МОЖД выдержан в стиле русского модерна.

Модерн в переводе с французского означает «современный». В разных странах этот стиль называли по-своему. Во Франции — ар-нуво, в США — тиффани, в Германии — югендштиль. Модерн стал последним классическим архитектурным стилем. Он возник на рубеже XIX—XX веков и существовал очень недолго — около двадцати лет.

Характерными чертами для модерна стали замена четких геометрических форм более сглаженными и плавными линиями, присущими живой природе; использование новых материалов и технологий (применение бетона, металла и стекла), а также большого количества декоративных элементов как при оформлении фасадов, так и при внутренней отделке интерьеров. Причем в основном это были растительные орнаменты (ирисы, вьющиеся растения, водоросли), фигуры животных — всё, что связано с природой. В раннем модерне часто декор был даже излишне обильным, в отличие от позднего, ориентированного на лаконичность используемых украшений. Модерн стал стилем, который совмещал в себе стремление совместить практичность и искусство, сделать прекрасным привычное и повседневное.

Сложные по объёмам здания в стиле модерна компактны и рассчитаны на круговое восприятие как скульптура. Все четырнадцать станций с прилегающими к ним многочисленными сооружениями и два остановочных пункта (Потылиха и Военное поле) возводи-



*Лихоборы.*

лись по единому архитектурному замыслу. Многие здания поэтому могут показаться похожими, но напомним, что изначальная идея строительства предполагала в декоре фасадов отразить особенности местности. Это удалось сделать. Каждая станция — как бы концентрированный архитектурный образ особенностей той местности, где она располагалась.

#### **«ВСЕМ СЁСТРАМ ПО СЕРЬГАМ»**

Станция Лихоборы проектировалась как центральная на Московской окружной железной дороге. В 1900-х здесь был построен большой комплекс сооружений. По характеру работы — это участковая станция II класса. Расположена на 52-м километре кольца.

Помимо пассажирского павильона, паровозного депо здесь были размещены мастерские для ремонта паровозов и вагонов, нефтяк-качка, кузница, дома управляющего дорогой, машинистов и другие.

Станция открыта в 1908 году и своим названием обязана деревням Верхние и Нижние Лихоборы, между которыми и прошла линия. Уцелели станционные здания вдоль пр. Черепановых: на фасаде бывшего дома начальника участка тяги в небольшой нише между двух окон символ мудрости — фигурка совы, далее хорошо сохранившийся вокзал. «Дому с совой» приписывают авторство знаменитого архитектора Ф. О. Шехтеля.

При локомотивном депо «Лихоборы» — выделим этот момент — находится музей Московской окружной железной дороги.

Угрешская, девятая по счету и вторая по значимости станция Окружной, стоит диаметрально противоположно станции Лихоборы. На Угрешской сохранился целый поселок из



жилых домов и служебных построек: вокзал, жилые дома, баня, приёмный покой, дом помощника начальника службы пути. На противоположной стороне станции находятся водонапорная башня и постройки военного продовольственного пункта.

Станция Угрешская названа по близлежащему Николо-Угрешскому монастырю, основанному в 1380 году Дмитрием Донским. В её облике частично отражены формы монастырских сооружений.

Эта местность считалась «самой безлюдной и глухой» частью Окружной. Видимо, поэтому она производила сильное впечатление на современников, оставивших огромное количество заметок именно об этой станции.

Некий журналист с инициалами В.Г. писал о первой поездке 1908 года: «Пересекли Семёновскую соединительную линию Московско-Казанской железной дороги, вступаем окончательно в области болот, свалок и всякой мерзости. Справа поля орошения, старые городские бойни, свалки, от которых дышать нельзя, а слева холерное кладбище, еще какое-то кладбище, новые свалки, Сукино болото. И посредине этих зловонных палестин красуется станция...».

За жилыми домами (Угрешский пр., 6) стоит перестроенное здание бани, рядом с которым усилиями местных байкеров вот уже несколько лет создается неформальный музей железнодорожного транспорта. Сначала появился узкоколейный поезд из тепловоза ТУ6А и пассажирского вагона ПВ-40, зимой 2013 года к нему добавился настоящий раритет — вагон метро типа А выпуска 1935 года.

На противоположной стороне станции стоит водонапорная башня (Угрешская ул., дом 3, стр. 5), построенная по типовому проекту по мотивам готической архитектуры. Башня находится на территории военного сборного пункта, по заказу которого в 2012–2013 годах проведена ее научная реставрация, и теперь она может считаться лучшей по сохранности постройкой Окружной.

Рядом с башней, за бетонным забором, находится военный продовольственный пункт для питания солдат из воинских эшелонов. Его составляют оформленные в стиле модерн кухня, столовая на 600 человек, хлебопекарня, склады, дом коменданта, казарма для команды, а также «отхожее место на 52 очка». Все здания доступны для внешнего осмотра.

Станция Воробьевы горы находится в местности Лужники, получившей свое название от заливных лугов, затапливавшихся во время весенних разливов Москва-реки. Станция обслуживала соединительную ветвь с Брянской железной дорогой, которая начиналась от остановочного пункта Потылиха.

Железная дорога проходит через Лужники по высокой насыпи. Связано это с частыми затоплениями, могущими повредить пути и прервать движение поездов. Вторая причина для строительства насыпи — слишком большие уклоны, которые пришлось бы устраивать для пропуска путей в одном уровне с окружающей местностью.

Такое расположение путей обусловило необходимость подъёма пассажиров на уровень насыпи для выхода к поездам. Для этого внутри здания вокзала была устроена лестница, а для выхода на платформу служил второй этаж. Пассажиры попадали на платформу по металлическому мостику консольной системы. Он был перекрыт лёгким навесом полукруглой формы, опирающимся на изящные колонки с коринфскими капителями

Вокзал на Воробьевых горах объединял в себе все станционные здания. В нем находились пассажирские залы I, II и III классов, багажные помещения, контора начальника станции, служебные квартиры, телеграф и единственный на всем кольце буфет. Станция, расположенная в историческом районе столицы — на Хамовническом поле, в непосредственной близости от Новодевичьего монастыря, — яркий пример псевдорусского направления модерна начала XX века. Проект вокзального комплекса учитывал стилистику находящегося по соседству исторического памятника XVI века.

Канатчиково — участковая станция III класса расположена на 34-м км кольца. От нее отходили соединительные ветви на Павелецкое направление. Станция находится в непосредственной близости к историческому центру столицы, примерно в 5 километрах от Московского Кремля. Железнодорожные пути уходят в Гагаринский тоннель — один из самых длинных в городе и единственный на Окружной.

На станции сохранились вокзал, два жилых дома, пост центрального управления стрелками и сигналами, заброшенная путейская полуказарма. Лет десять назад был еще и сторожевой дом, но он снесен, на его месте новое здание.





*Пассажирское здание на станции Угрешская 1907.*

Вокзал — это двухэтажное здание с полуколоннами, арочными окнами, карнизами и даже двумя изображениями львиных голов по сторонам от входных дверей. Уцелели названия станции, выполненные «фирменным» шрифтом в стиле модерн. Над входом табличка с указанием высоты объекта над уровнем моря — 66,3 сажени.

Внутри было три больших зала, сильно отличавшихся друг от друга. В зале первого класса в углу поблескивал огромный иконостас, стояли мягкие диваны в белых полотняных чехлах. Во втором классе диваны тоже были, но жесткие, деревянные. В зале третьего класса совсем не было мебели.

Перед вокзалом сохранилась пассажирская платформа с пакугазом и фонарями 1908 года. Кажущиеся старинными фонари есть на многих станциях Окружной (Лихоборы, Владыкино, Воробьевы Горы), но там в качестве таковых использованы опоры для навесов над выходами к поездам. И только на станции Канатчиково фонари настоящие.

## **МОСТЫ-ШЕДЕВРЫ**

На территории станции Канатчиково находился Сергиевский (Андреевский) мост через Москву-реку. А всего мостов на окружной было 72. Из них через реки всего шесть: четыре через Москву-реку и по одному через Язу и Лихоборку.

Но поистине шедеврами архитектуры были только три из них. Никакой технический прогресс не мог противостоять их эстетическому очарованию и поэтому к настоящему времени некоторые из них раздвоились.

Алексеевский (Даниловский) мост — железнодорожный мост через Москву-реку. Назывался Алексеевским в честь наследника престола цесаревича Алексея. Трёхпролётный и наиболее длинный из всех москворецких на Окружной железной дороге, с русловым отверстием в 239 м (100 сажень) и береговыми пролетами по 62 сажени. Построен в 1905—1907 годах по проекту инженеров Н. А. Белелюбского и Н. А. Богуславского, о чём сообщает чугунная мемориальная доска на одном из береговых быков моста [2]. Пролётные строения изготовлены на Сорновском заводе. Особенностью проекта было устройство пешеходного перехода по центру моста между фермами. С восточной стороны мост был оформлен по эскизу академика А. Н. Померанцева декоративным порталом с башенками, шпилями, чеканными гербами и бронзовым бюстом наследника Алексея.

В советское время был сначала переименован в Кожуховский, а затем, в 1990-е, получил нынешнее имя — Даниловский, ибо под ним оказалась Даниловская набережная, во время постройки моста ещё не существовавшая.

Мост Императора Николая II (он же — Краснолужский, Богдана Хмельницкого) нес нелегкую службу на 38-м километре Московской окружной с 1907 года — по нему двигались грузовые составы и здесь же переходили через Москву-реку пешеходы от Бережковской набережной до Лужнецкой. Мост длиной 135 метров и весом 1400 тонн был построен, как и его близнец Андреевский (бывший Сергиевский), по проекту инжене-



ра Л. Д. Проскурякова и архитектора А. Н. Померанцева.

Реконструкция Окружной железной дороги, сопутствовавшая строительству Третьего автотранспортного кольца, потребовала замены старых мостов, которые за сотню лет износились и стали опасны для движения железнодорожного транспорта. Однако в качестве пешеходных переходов они смогли бы обрести вторую жизнь. По этой причине в 2000 году Краснолужский мост был передвинут на 2,2 километра вверх по течению Москвы-реки и установлен на новом месте, соединив район Киевского вокзала с Саввинской набережной и Плющихой.

Мост-памятник воссоздан во всех деталях, включая облицовку опор старым, но хорошо сохранившимся и очищенным облицовочным камнем, только стал крытым. Под его светопрозрачным покрывалом разместился еще один торгово-развлекательный центр. Со стороны Киевского вокзала вход на него оборудован эскалатором, а на противоположном берегу установлен лифт-подъемник. На памятной доске сообщается, что мост сооружен в 2001 году и назван в память украинского государственного деятеля, гетмана Украины Богдана Хмельницкого (1595–1657 годы).

Новый мост стал фрагментом исторического Краснолужского моста, на старые опоры которого в Лужниках уложили совершенно новый. Рядом построен автодорожный мост Третьего транспортного кольца.

Сергиевский (Андреевский, Пушкинский) мост и однотипный с ним Краснолужский были построены в 1905–1907 годах по проектам инженера Л. Д. Проскурякова и архитектора А. Н. Померанцева. При постройке Андреевский имел один главный пролёт, перекрытый серповидной аркой длиной 135 м, и два береговых пролёта по 18 м. Вне арок, на консолях, были устроены пешеходные тротуары. Устои моста опирались на основание из деревянных свай. Перед перестройкой 1999 года они всё ещё оставались в отличном состоянии.

Первоначально мост назывался Сергиевским, в память о великом князе Сергее Александровиче, павшем от эсеровской руки. В 1917 году, после Февральской революции,

переименован в Андреевский — по имени монастыря (впоследствии закрытого), расположенного на правом берегу реки.

Пушкинский (Андреевский) — пешеходный мост, построенный в 1999 году через Москву-реку с использованием конструкций старого Андреевского моста. Соединяет Пушкинскую набережную Нескучного сада с Фрунзенской набережной.

На входе на мост со стороны Нескучного сада сохранена табличка с краткой историей Андреевского моста, поэтому на большинстве карт Москвы и в ряде справочников и энциклопедий он обозначен именно как Андреевский, хотя его формальное наименование Пушкинский.

\* \* \*

Сама идея воссоздания пассажирского движения на Малом кольце МЖД возникла к началу XXI века: ТЭО и проект реконструкции дороги были выполнены в 2000-м году. Тогда предполагалось проложить в восточной части кольца третий путь длиной 28 км, построить 30 пассажирских платформ и депо для электропоездов. Все эти работы вместе с электрификацией оценивались в 30 млрд рублей с расчётной окупаемостью в 20 лет. Тогда проект отложили до лучших времен. Сейчас они, будем считать, наступили.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калмыков С. В., Мишенгев Ю. Д., Рошевкин В. Т., Сенин А. С. Московской Окружной железной дороге 100 лет. — М.: ЛКИ, 2008. — 140 с.
2. Официальный сайт Московской кольцевой железной дороги (МКЖД): <http://www.mkzd.ru>.
3. Альбом сооружений Московской окружной железной дороги — М., 1908. [Электронный ресурс]: <http://russiahistory.ru/al-bom-sooruzhenij-moskovskoj-okruzhnoj-zheleznoj-dorogi/>. Доступ 11.02.2017.
4. Альбом исполнительных типовых чертежей Московской Окружной железной дороги 1903–1908 г. — Том 1. [Электронный ресурс]: <http://ru-railway.livejournal.com/2298592.html>. Доступ 11.02.2017.
5. Сириус. Транспортное обозрение. [Электронный ресурс]: <http://www.sirius-tm.ru/index.php/284>. Доступ 11.02.2017.
6. Инновационный дайджест. Все самое интересное о железной дороге. [Электронный ресурс]: <http://www.rzd-expo.ru/history/MoskovskayaOkružhnayaZD/?&>. Доступ 11.02.2017.
7. Егоров Ю. Станция Угрешская МОЖД. [Электронный ресурс]: [http://um.mos.ru/houses/stantsiya\\_ugreshskaya\\_mozhd/](http://um.mos.ru/houses/stantsiya_ugreshskaya_mozhd/). Доступ 11.02.2017. ●

Координаты автора: **Тихонова Т. Ю.** — [umago@mail.ru](mailto:umago@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 21.11.2016, принята к публикации 11.02.2017.

## «AN APPEARANCE CONSISTENT WITH THE CAPITAL CITY»

*Tikhonova, Tatyana Yu., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

120 years ago, Emperor Nicholas II gave a green light to the construction project of Moscow Circle Railway. The uniqueness of this road was that, as an object of the urban environment of the capital city, it should have an architectural ensemble of buildings, railway stations, infrastructure facilities, bridges,

suitable for status purposes, and carry out passenger and freight traffic that meet the needs of the population. The article shows the main stages of project implementation, features of architectural solutions, a retrospective of development of the ring railway system up to the present day, including the largest reconstruction and modernization works of recent years.

**Keywords:** *Moscow, circle railway, history, construction, architecture, creators, stations, bridges, reconstruction.*

**Background.** *One of the unique structures of the railway transport system at the beginning of the last century was Moscow Circle Railway (MCR). Its construction was approved by Emperor Nicholas II in 1897. (On November 7, 1897 special governmental meeting attended by the Emperor Nicholas II recognized «it desirable to start construction of Moscow Circle railway». The translation of the name of the railway may be different, depending on Russian words used respectively now and then: «circle» (from «circumference») or «ring» (directly from «ring»). So even nowadays the railway is called Central Ring either Circle, and the name of Moscow Central Circle is used more often – editorial note).*

*The winner of competition for construction of the railway around Moscow was the project of the architect Petr Rashevsky. The construction lasted six years – from 1903 to 1908. During this time, a two-track railway ring was built 50,6 versts long, which is approximately 54 kilometers.*

*The circle railway was of great governmental importance, therefore leading Russian engineers and architects were involved in its construction. The expenses were not stingy, because Nicholas II personally inscribed on the title page of the project of Rashevsky: «The road must have a look consistent with the capital city». Bridges were designed by the well-known throughout Europe bridge-building engineers N. A. Belelyubsky and L. D. Proskuryakov, professor of architecture, member of the Academy of Arts A. N. Pomerantsev was responsible for the architectural concept of the structures.*

**Objective.** *The objective of the authors is to consider the history of creation of Moscow Central Circle, formerly Moscow Circle Railway.*

**Methods.** *The author uses general scientific methods, historical retrospective method, comparative analysis, evaluation approach.*

### Results.

#### Landmarks of creators

*Alexander Nikanorovich Pomerantsev (1849–1918) graduated from Moscow School of Painting, Sculpture and Architecture in 1874, after which he entered the architectural department of Imperial Academy of Arts in St. Petersburg, finishing it with a gold medal of the 1<sup>st</sup> degree for the project «Railway station in a park near the capital». In 1887 he received the title of academician of architecture. Pomerantsev taught at the Academy, in parallel from January 1897 served as the architect of the school council under the Synod.*

*In 1895–1896 he was the chief architect of the All-Russian Industrial Exhibition in Nizhny Novgorod. He completed the general layout of the*

*exhibition and the projects of main pavilions (Main, Central Asian, Machine, Arts). Most of his projects were innovative for the 1890's with metal frames, which was developed by V. G. Shukhov. The most famous of the buildings of Pomerantsev were Upper Trade Rows (later called GUM), built in Moscow in 1889–1893 – a project that won an open competition and complemented the ensemble of buildings in the «Russian» style near Red Square. He also executed the architectural part of the monument to Alexander III near the Cathedral of Christ the Savior (installed in 1900, demolished in 1918), designed three cathedrals in memory of Alexander Nevsky – in Moscow, St. Petersburg and Sofia.*

*Nikolai Apollonovich Belelyubsky (1845–1922) in 1867 graduated from St. Petersburg Institute of Railway Engineers, from 1873 – a professor at this institute. According to his projects, a number of large metal railway bridges across the Volga, Dnieper, Ob, Belaya and other rivers were built. Belelyubsky developed a method for rapid replacement of wooden bridges with metal ones without interruption of movement, and made significant improvements in the design of metal spans. He supervised the first in Russia testing laboratory of building materials. The methods of testing the materials that he proposed entered into international practice. Great merit belongs to him in the study of mechanical properties of reinforced concrete. Published by the professor «Course of Construction Mechanics» became the first full course in Russian on this discipline. More than 100 projects of large bridges were developed by N. A. Belelyubsky personally and under his leadership.*

*Lavr Dmitrievich Proskuryakov (1858–1926) after successful graduation from St. Petersburg Institute of Railway Engineers in 1884 receives a place in Ministry of Railways, in the service of railways. Then he returns to the Institute for teaching and research work. Having defended his doctoral thesis, in a short time he becomes famous scientist and specialist in the field of construction mechanics, and the problem of bridges attracts him most of all. Subsequently, L. D. Proskuryakov becomes a professor at the Imperial Moscow Engineering School (MIIT).*

*He was the first in Europe to abandon the lattice bridge trusses, which were difficult to be designed and calculated. Designing a truss with a single triangular, powerful grid, and based on this innovation, building a railway bridge across the river Sula in 1887, Proskuryakov marked the beginning of a new trend in bridge construction.*

*All scientific and practical surveys of the engineer were aimed at creating an ideal bridge*





**MCR. Vorobyovy Gory. 1907–1908.**

structure. And it was born. It became the bridge built under his calculations in 1898 across the Yenisei River. In the design of the superstructure (144,5 m), as ascertained by the scientists, Proskuryakov used a completely new design – the original truss with subdivided panels, for which he received the highest award at the Paris exhibition of 1900 – the Great Gold Medal.

#### **Architectural unity**

Station buildings of Circle Railway passing through the territory of the capital, are different in nature of forms and details, however, are similar in architectural style. The unity of style is facilitated by small dimensions of buildings, their chamberiness, commensurability of details with common volumes.

Stations of Moscow Circle Railway were entire complexes of buildings for various purposes. Many of the objects have not reached our time, but the preserved buildings are now of architectural value. The stations were designed by architects A. N. Pomerantsev and N. V. Markovnikov, with participation of I. M. Rybin.

Ensemble of Moscow Circle Railway is unique example in Russia: in its original location outside the city, and the composition of buildings and structures related to the commuter, it could not be regarded as belonging to the capital city, but was perceived, however, as an exclusively urban ensemble (the only completed project of this kind in Russia), designed to serve «to beautification of the city».

All passenger buildings were located inside the ring, from the side of the city, and commodity platforms, warehouses, station tracks – from the outside. The count of the vests of the new railway began from the point of its intersection with Nikolayevskaya railway, clockwise. The small ring turned out not quite round. In the north-west it stretches for 12 kilometers, and in the south it passes 5 kilometers from the Kremlin.

On July 19, 1908 the first train moved on Moscow Circle Railway. The builders transferred the object to management of Nikolayevskaya Railway, and its operation began.

Even then, contemporaries understood the uniqueness of the implemented project. A beautiful album of MCR facilities was published, which included the best examples of architectural and construction art.

Most of the stations and structures were built according to standard designs (except for Likhobory and Vorobyovy Gory) in red brick with white details and tiled roofs. The tile was bought in Warsaw. The stations were equipped with specially made oak furniture, electric clock from Pavel Bure frim (the only surviving original copy of this clock is in the office of the Presnya station head). Station areas were illuminated with sprayed gas of the engineer Krzeminsky's system.

The complex included ticket offices, waiting rooms. The premises were heated by Dutch and Russian stoves, electricity was provided. Everything was modern, advanced – the telephone line of the firm «L. M. Erickson and Company», the Webb–Thompson electric system with semaphores, the Max–Judel motion control system.

At the stations were opened buffets with glaciers for storing provisions, as well as «stony heated privy». An entire army worked here – switchmen, station watchmen, telegraphists, clerks, lampists.

The gardens became an indispensable decoration of the stations. There were published guidebooks and albums with the history of Moscow and a description of historical monuments and commercial and industrial establishments located in the vicinity of Moscow and adjacent to the ring road, with drawings and a map.

In general, the architectural ensemble of MCR is in the style of Russian modern.

Modern is translated from French as «contemporary». In different countries this style was called in its own way. In France – Art Nouveau, in the USA – Tiffany,



**K. Fisher. Vorobyovy Gory station, 1907.**

in Germany – Jugendstil. Modern became the last classical architectural style. It arose at the turn of XIX–XX centuries and existed not very long – about twenty years.

Characteristic features for modern were replacement of clear geometric shapes with smoother and freer lines inherent in living nature; use of new materials and technologies (use of concrete, metal and glass), as well as a large number of decorative elements, both in the design of facades and in interior decoration. And mostly they were floral ornaments (irises, climbing plants, algae), animal figures – everything that is related to nature. In the early modern, the decor was often too abundant, in contrast to the late, oriented on laconic decorations used. Modern became a style that combined the desire to combine practicality and art, make customary and everyday more beautiful.

Complex buildings in the modern style are compact and designed for circle perception as a sculpture. All fourteen stations with adjoining numerous structures and two stopping points (Potylikha and Voennoe field) were erected according to a single architectural plan. Many buildings therefore may seem similar, but we recall that the original idea of construction suggested to reflect the characteristics of the terrain in the decoration of the facades. It managed to be done. Each station is, as it were, a concentrated architectural image of the features of the locality where it was located.

**«The earrings to all sisters»**

Likhobory station was designed as a central station on Moscow Circle Railway. In the 1900s a large complex of structures was built here. By the nature of the work – this is a section station of the 2<sup>nd</sup> class. It is located on the 52-kilometer of the ring.

In addition to the passenger pavilion, the locomotive depot housed workshops for repair of locomotives and cars, oil pumping installation, smithery, home of the road manager, machinists and others.

The station was opened in 1908 and its name is due to the villages of Upper and Lower Likhobory, between which the line passed. Station buildings along pr. Cherepanovoh survived: on the facade of the former home of the chief of the traction section in a small niche between two windows, the



**Likhobory.**

symbol of wisdom is the figure of an owl, then the well-preserved station. The authorship of the famous architect F. O. Shekhtel is attributed to «House with an owl».

With the locomotive depot «Likhobory» – let us single out this point – the museum of Moscow Circle Railway is located.

Ugreshskaya, the ninth station and the second most important station of Circle Railway station, stands diametrically opposite Likhobory station. On Ugreshskaya the whole settlement from apartment houses and service buildings has remained: a station, apartment houses, a bath, a receiving room, the house of the assistant of the chief of track service. On the opposite side of the station there are a water tower and a military food station.

Ugreshskaya station is named after the nearby Nikolo-Ugreshsky monastery, founded in 1380 by Dmitry Donskoy. In its appearance, the forms of the monastic buildings are partially reflected.

This area was considered the «most deserted and outlandish» part of Circle Railway. Apparently, that's why it made a strong impression on contemporaries, who left a lot of notes about this station.

A certain journalist with the initials V.G. wrote about the first trip of 1908: «We crossed the Semyonovskaya connecting line of Moscow-Kazan railway, finally entering the area of marshes, waste deposits and all abominations. On the right there are irrigation fields, old city slaughterhouses, waste deposits from which one cannot breathe, and on the left there is a cemetery, a cemetery, new waste deposits, the Sukino marsh. And in the middle of these stinking Palestinas there is a station ...»

Behind the apartment houses (Ugreshsky pr., 6) there is a rebuilt bath house, next to which an informal railway transport museum has been created for several years by the efforts of local bikers. First there was a narrow-gauge train from locomotive TU6A and passenger car PV-40, in winter of 2013 a real rarity – a subway car of type A of the 1935 manufacture year was added.

On the opposite side of the station there is a water tower (Ugreshskaya street, 3, str. 5), built according to a standard project based on Gothic architecture. The tower is located on the territory of the military assembly point, on the order of which in 2012–2013 its scientific restoration was carried out,





**Passenger building at the station Ugreshskaya, 1907.**

and now it can be considered as the best preserved premise of Circle Railway.

Near the tower, behind the concrete fence, there is a military food station for feeding soldiers from military echelons. It consists of a modern-style kitchen, a dining room for 600 people, a bakery, warehouses, a commandant's house, barracks for the team, and a toilet for 52 people. All buildings are accessible for external inspection.

Vorobyovy Gory station is located in Luzhniki area, which got its name from the flooded meadows that were flooded during the spring floods of the Moscow River. The station served the connecting branch with Bryansk Railway, which began from the stopping point of Potylikha.

The railway passes through Luzhniki on a high embankment. This is due to frequent flooding, which can damage tracks and interrupt movement of trains. The second reason for construction of the embankment is too large slopes, which would have to be arranged to pass the tracks in one level with the surrounding terrain.

This arrangement of tracks necessitated the need to lift passengers to the level of the embankment to access the trains. For this purpose, a staircase was built inside the station building, and the second floor served as an exit to the platform. Passengers entered the platform using the metal bridge of console system. It was covered with a light semi-circle canopy, supported by elegant columns with Corinthian capitals.

The station on Vorobyovy Gory united all the station buildings. In it there were passenger halls of I, II and III classes, luggage facilities, office of the station's head, corporate apartments, telegraph and the only one on the whole ring buffet. The station, located in the historical district of the capital – on the Khamovnicheskoye field, in the immediate vicinity of the Novodevichy Convent, is a striking example of the pseudo-Russian direction of modern at the beginning of XX century. The project of the station complex took into account the stylistics of the historical monument of XVI century located next to it.

Kanatchikovo is a section station of the 3<sup>rd</sup> class and is located on the 34<sup>th</sup> km of the ring. From it departed the connecting branches to the Paveletskoe direction. The station is in close proximity to the historical center of the capital, about 5 kilometers from the Moscow Kremlin. Railway tracks go to Gagarinsky tunnel – one of the longest in the city and the only one on Circle Railway.

The station has preserved the station building, two apartment buildings, the post of central control of railway switches and signals, an abandoned railway half-military barrack. Ten years ago there was also a guard house, but it was demolished, in its place a new building is location.

The station is a two-story building with semi-columns, arched windows, cornices and even two images of lion's heads on the sides of the entrance doors. The station's names were preserved, executed by the «firm» font in the modern style. Above the entrance there is a sign with the altitude of the object above the sea level – 66,3 fathoms.

Inside there were three large halls, very different from each other. In the first class hall in the corner a huge iconostasis gleamed, soft sofas in white linen covers stood. In the second class, the sofas were also, but hard, wooden. In the third-class hall there was absolutely no furniture.

In front of the station remained a passenger platform with a warehouse and lanterns of 1908. Appealing ancient lights are at many stations of Circle Railway (Likhobory, Vladykino, Vorobyovy Gory), but there as such used supports for canopies over the exits to the trains. And only at Kanatchikovo station the lights are real.

#### **Bridges-masterpieces**

On the territory of Kanatchikovo station was Sergievsky (Andreevsky) bridge across the Moscow River. And all the bridges on Circle Railway were 72. Of them, only six across the rivers: four across Moscow River and one across Yauza and Likhoborka.

But truly there were only three masterpieces of architecture. No technical progress could withstand their aesthetic charm and therefore by now some of them have split.

Alekseevsky (Danilovsky) bridge – a railway bridge across the Moscow River. It was called Alexeyevsky in honor of the heir to the throne of Tsarevich Alexei. The three-span and longest of all Moscow-river bridges on Circle railway, with a channel opening of 239 m (100 fathoms) and coast spans of 62 fathoms. It was built in 1905–1907 according to the project of engineers N. A. Beleyubsky and N. A. Boguslavsky, as reported by a cast-iron memorial plaque on one of the coastal bridge piers [2]. Span structures are made at the Sormovo plant. The peculiarity of the project was the arrangement of a pedestrian crossing at the center of the bridge between the tusses. On the east side, the bridge was designed according to the outline design of Academician A. N. Pomerantsev with a decorative portal with turrets, spiers, hammered coats of arms and a bronze bust of the heir to the throne Alexei.

In the Soviet era, it was first renamed into Kozhukhovskiy, and then, in the 1990's, received the current name – Danilovsky, because Danilovskaya embankment was thereunder, during the construction of the bridge it had not existed yet.

The bridge of the Emperor Nikolay II (also known as Krasnoluzhskiy, Bogdan Khmel'nitskiy) had a difficult service on the 38<sup>th</sup> kilometer of Moscow Circle Railway since 1907 – freight trains moved along it and pedestrians from Berezhkovskaya embankment to Luzhnetskaya crossed here the Moscow River. A bridge 135 meters long and weighing 1400 tons was built, like his twin Andreevskiy (formerly Sergievskiy), according to the project of engineer L. D. Proskuryakov and architect A. N. Pomerantsev.

The reconstruction of Circle Railway, which accompanied the construction of the Third Road Ring, required replacement of old bridges, which for hundreds of years were worn out and became dangerous for railway traffic. However, as pedestrian crossings, they could have found a second life. For this reason, in 2000 Krasnoluzhskiy Bridge was moved 2,2 km upstream of the Moscow River and installed in a new location, connecting Kievskiy Station with Savinskaya Embankment and Plyushchikha.

The bridge-monument is recreated in all details, including the facing of the supports by an old, but well-preserved and cleaned facing stone, only became covered. Under its translucent coverlet another shopping and entertainment center is located. From Kievskiy station entrance is equipped with an escalator, and on the opposite bank there is a lift elevator. The commemorative plaque informs that the bridge was built in 2001 and named in memory of the Ukrainian statesman, hetman of the Ukraine Bogdan Khmel'nitskiy (1595–1657).

The new bridge became a fragment of the historical Krasnoluzhskiy bridge, on which old supports in Luzhniki an absolutely new one was laid. The road bridge of the Third Ring Road was constructed nearby.

Sergievskiy (Andreevskiy, Pushkinskiy) bridge and Krasnotoluzhskiy of the same type were built in 1905–1907 according to the projects of engineer L. D. Proskuryakov and architect A. N. Pomerantsev. During the construction, Andreevskiy had one main span, covered with a crescent-shaped arch of 135 m long, and two bank

piers of 18 m. Outside the arches, on the consoles, pedestrian sidewalks were arranged. The foundations of the bridge rested on the base of wooden piles. Before the restructuring of 1999 they were still in excellent condition.

Originally, the bridge was called Sergievskiy, in memory of the Grand Duke Sergei Aleksandrovich, who died by the Social Revolutionary's hand. In 1917, after the February Revolution, it was renamed into Andreevskiy –after the monastery (later closed), located on the right bank of the river.

Pushkinskiy (Andreevskiy) is a pedestrian bridge, built in 1999 across the Moscow River using the old Andreevskiy bridge structures. It connects Pushkinskaya embankment of Neskuchny garden with Frunzenskaya embankment.

At the entrance to the bridge from the side of Neskuchny Garden a tablet with a brief history of Andreevskiy Bridge is preserved, and therefore on most maps of Moscow and in a number of directories and encyclopedias it is designated exactly as Andreevskiy, although its formal name is Pushkinskiy.

**Conclusion.** The very idea of recreating the passenger traffic on Small Ring of Moscow Circle Railway arose by the beginning of XXI century: a feasibility study and a road reconstruction project were completed in 2000. Then it was supposed to build the third track in the eastern part of the ring with a length of 28 km, build 30 passenger platforms and depots for electric trains. All these works together with electrification were estimated at 30 billion rubles with an estimated payback of 20 years. Then the project was postponed until better times. Now they, we will assume, have come.

## REFERENCES

1. Kalmykov, S. V., Mishengev, Yu. D., Roshchevkin, V. T., Senin, A. S. Moscow Circlestrict Railway for 100 years [Moskovskoj Okruzhnoj zheleznoj doroge 100 let]. Moscow, LKI publ., 2008, 140 p.
2. The official website of Moscow Circle Railway (MCR): <http://www.mkzd.ru>.
3. Album of structures of Moscow Circle Railway [Al'bom sooruzhenij Moskovskoj okruzhnoj zheleznoj dorogi]. Moscow, 1908. [Electronic resource]: <http://russiahistory.ru/al-bom-sooruzhenij-moskovskoj-okrzhnoj-zheleznoj-dorogi/>. Last accessed 11.02.2017.
4. Album of execution model drawings of Moscow Circle Railway, 1903–1908 [Al'bom ispolnitel'nyh tipovyh chertezhej Moskovskoj Okrzhnoj zheleznoj dorogi], 1903–1908, Vol. 1. [Electronic resource]: <http://ru-railway.livejournal.com/2298592.html>. Last accessed 11.02.2017.
5. Sirius. Transport Review [Sirius. Transportnoe obozrenie]. [Electronic resource]: <http://www.sirius-tm.ru/index.php/284>. Last accessed 11.02.2017.
6. Innovative digest. All the most interesting about the railway [Innovacionnyj dajdzhest. Vse samoe interesnoe o zheleznoj doroge]. [Electronic resource]: <http://www.rzd-expo.ru/history/MoskovskayaOkruzhnayaZD/?&>. Last accessed 11.02.2017.
7. Egorov, Yu. Station Ugreshskaya of MCR [Stancija Ugreshskaja MOZhD]. [Electronic resource]: [http://um.mos.ru/houses/stantsiya\\_ugreshskaya\\_moZhd/](http://um.mos.ru/houses/stantsiya_ugreshskaya_moZhd/). Last accessed 11.02.2017.

Information about the author:

**Tikhonova, Tatyana Yu.** – Ph.D. (Philosophy), associate professor of the department of Service and Tourism of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, [umago@mail.ru](mailto:umago@mail.ru).

Article received 21.11.2016, accepted 11.02.2017.





## О РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ РАЗНЫХ СТРАН

**Д**ля того, чтобы иметь возможность определить преимущество иностранных железных дорог перед русскими, буде таковое преимущество существуете, необходимо прежде всего установить тот угол зрения, под коим должны сравниваться эти дороги в их положениях, функциях и результатах.

Таковыми углами зрения для сравнительного критерия могут быть:

1) отношение общего протяжения сети железных дорог к густоте населения и обслуживаемая ими зона;

2) среднее протяжение отдельных магистральных линий сети, как максимальное, так и минимальное;

3) отношение количества подвижного состава к единице рельсового пути, сведенная к общему знаменателю;

4) размер годовой доходности сети на единицу пути;

5) размер деятельности железных дорог, т.е. их годовая грузовая и пассажирская «трафика»;

6) размер годового нормального и усиленного расхода на единицу пути;

7) по отношению льгот и удобств грузовых клиентов железнодорожной сети;

8) по отношению удобств, комфорта и безопасности пассажирского движения;

9) по отношению роста размера основных затрат и погашения строительного капитала на единицу пути;

10) по отношению вырабатываемых железнодорожными сетями на затраченный капитал;

11) по отношению услуг, оказываемых железными дорогами государству;

12) по отношению вообще затрат, ежегодно требуемых железными дорогами от казны и страны в форме воспособлений или безвозвратных жертв;

13) что же по отношению большей или меньшей культуры, а также дисципли-

нированности железнодорожных агентов, равно как их обставленности и работоспособности.

Что же касается до суждений о преимуществах одной иностранной железнодорожной сети перед другой лишь на основании результатов системы железнодорожной тарификации, дающей те или другие результаты, то, без вышеприведенных показателей более или менее в совокупности, всякий критерий явится односторонним и спорным.

Статистика и периодические отчеты железнодорожных предприятий разных стран дают, до некоторой степени, красноречивые данные, характеризующие железнодорожное управление и хозяйство в той или другой стране.

Огульная же оценка достоинств или недостатков железнодорожного дела, на основании лишь одного или малого числа приведенных выше показателей, и притом без подведения измерителей к одному знаменателю, — легко вовлекает в неумышленную ошибку, тем более упорную, что она обосновывается на отдельных, хотя и действительных верных показателях, но без принятия во внимание остальных влияющих показателей.

Поэтому для того, чтобы с большею основательностью определить то место, которое в настоящее время принадлежит русской железнодорожной сети среди остальных европейских сетей, необходимо разобраться в этом вопросе при параллельном анализе вышеуказанных сравнительных показателей условий деятельности Австрийской, Французской, Германской, Великобританской и Швейцарской железнодорожных сетей, и затем уже сделать, соответственно выяснившимся данным, — выводы.

Неравномерность и разновременность опубликования отчетов об эксплуатационных результатах деятельности железнодорожных сетей европейских государств затрудняет производство сравнений между





собой этих результатов, но ещё более затрудняет такое сравнение — разнообразие форм этих отчетов. В данном случае имеются вполне законченные отчеты лишь за 1906 год, а потому приходится принимать во внимание и сметные предположения на 1907 и 1908 годы.

По размеру протяжений железнодорожных сетей в Европе к началу 1908 года Россия занимает второе место, уступая первенство в этом отношении лишь Германии.

По отношению протяжения своей рельсовой сети к количеству населения страны Россия ближе всего подходит к Италии, которая на 10 000 жителей считает 5,1 км рельсовых путей, тогда как у нас в России на те же 10 000 жителей приходится 4 км. По отношению же количества рельсовых путей к площади территории на долю России приходится на 100 квадр. километров всего лишь 0,9 км рельсовых линий, тогда как в Италии это отношение равно 5,7 км, а в Бельгии 25,4 км на те же 100 квадр. километров.

Хотя, если судить по показателю отношения общей длины железнодорожной сети к числу живущих на всей территориальной площади страны, России пришлось бы ответить одно из последних мест среди всех европейских государств, но такое сравнение не может признаваться правильным. При оценке как населенности, так и периферичности страны по отношению к площади обслуживаемых железными дорогами терри-

торий, площадь эта должна считаться не по политическим и географическим границам страны, а лишь по действительно обслуживаемым железными дорогами районам страны, и при такой безусловно правильной точке зрения коэффициент протяжения нашей сети относительно площади, а также и населенности, значительно увеличится. С этим необходимо считаться при сравнительных выводах.

В настоящем экскурсе будет сделан лишь обзор общих финансовых и коммерческих результатов эксплуатации в государствах: Австрии, Бельгии, Великобритании, Германии, Италии, Пруссии, Франции и Швейцарии, как странах, наиболее подходящих для сравнительных выводов — с результатами эксплуатации русских железных дорог. Материалы эти, составленные по различной программе и не в одинаковой полноте, далеко не восполняют все те данные, кои для всестороннего сравнения желательны. Но, однако, и эти, так сказать, отрывочные сведения о результатах железнодорожной эксплуатации в разных странах уже могут дать каждому столько, сколько он сам может взять.

**Н. Сытенко**  
**(«Железнодорожное дело»,**  
**№№ 47–48, 1908) ●**

**Редакция выражает благодарность**  
**персоналу библиотеки МИИТ за помощь**  
**в подготовке данного материала.**





## ON THE OPERATION RESULTS OF RAILWAYS OF DIFFERENT COUNTRIES

In order to be able to determine the advantage of foreign railways over the Russian, if such an advantage exists, it is first of all necessary to establish an angle of view under which these railways should be compared in their positions, functions and results.

Such angles of view for a comparative criterion can be:

1) ratio of total extension of the railway network to the population density and the zone served by them;

2) average length of individual main lines of the network, both maximum and minimum;

3) ratio of the number of rolling stock to a unit of track, reduced to a common denominator;

4) annual return on the network per unit of track;

5) size of the activities of railways, i.e., their annual freight and passenger «traffic»;

6) size of annual normal and increased flow per unit of track;

7) in relation to the benefits and amenities of freight customers of the railway network;

8) in relation to the amenities, comfort and safety of passenger traffic;

9) in relation to the growth of the size of basic costs and repayment of construction capital per unit of track;

10) in relation of generated by railway networks to the capital;

11) in relation to services rendered by railways to the state;

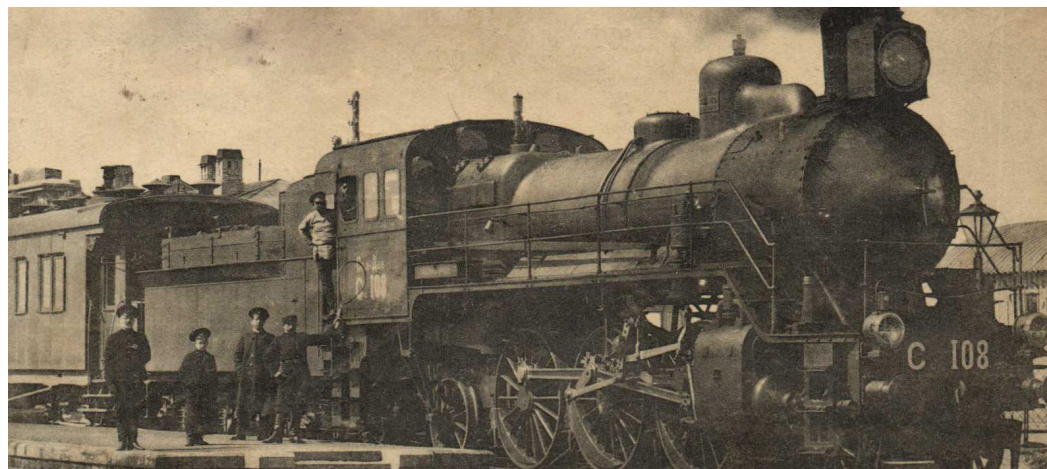
12) in relation to the total costs annually required by the railways from the treasury and the country in the form of assets or non-repayable subsidies;

13) in relation to a greater or lesser culture level as well as discipline of railway agents, as well as their condition and efficiency.

As for judgments about the advantages of one foreign railway network over another only on the basis of the results of the railway tariff system, which gives some or other results, then without the above indicators more or less in aggregate, any criterion will be one-sided and controversial.

Statistics and periodic reports of railway enterprises of different countries give, to some extent, eloquent figures characterizing the railway management and economy in one or another country.

An indiscriminate assessment of the merits or shortcomings of the railway business, on the basis of only one or a small number of the above indicators, and without adding meters to the same denominator – easily involves an unintentional mistake, the more stubborn that it is based on individual, albeit valid indicators, but without





taking into account other influencing indicators.

Therefore, in order to more accurately determine the place that currently belongs to the Russian rail network among the other European networks, it is necessary to understand this issue, with a parallel analysis of the above-mentioned comparative indicators of the conditions of activity: Austrian, French, German, British and Swiss railway networks, and then to make, according to the revealed data, the conclusions.

The unevenness and disparity in the publication of reports on the operational results of the railway networks of European countries makes it difficult to make comparisons between these results, but even more difficult is the comparison – the variety of forms of these reports. In this case, there are fully completed reports only for 1906, and therefore one must take into account the estimated assumptions for 1907 and 1908.

According to the size of the railway network in Europe by the beginning of 1908, Russia ranks second, second only to Germany in this respect.

With respect to the extension of its rail network to the population of the country, Russia is closest to approaching Italy, which counts 5,1 km of railways per 10000 inhabitants, whereas in Russia there are 4 km per the same 10000 inhabitants. In relation to the number of rail ways to the area of the territory, Russia accounts for 100 sq. kilometers of only 0,9 km of rail lines, while in Italy this ratio is 5,7 km, and in Belgium 25,4 km for the same 100 sq. kilometers.

Although, judging by the ratio of total length of the railway network to the number of people living on the entire territorial area of the country,

Russia would have to take one of the last places among all European states, but such a comparison cannot be recognized as correct. When assessing both the population and the periphery of the country in relation to the area served by railways, this area should be considered not on the political and geographical borders of the country, but only on the areas of the country really served by the railways, and, with this unconditionally correct viewpoint, the extension of our network relative to the area, as well as the population, will increase significantly. This should be taken into account in the comparative conclusions.

In this excursion, we will only review general financial and commercial results of exploitation in the states: Austria, Belgium, Great Britain, Germany, Italy, Prussia, France and Switzerland, as the countries most suitable for comparative conclusions – with the results of the operation of Russian railways. These materials, compiled according to a different program and not in the same fullness, do not make up for all the data that are desirable for a comprehensive comparison. But these, so to speak, sketchy information about the results of railway operation in different countries can already give everyone as much as he can take.

N. Sytenko  
(Rail Business [«Zheleznodorozhnoe delo»], №№ 47–48, 1908) ●

**The editorial board expresses gratitude  
to the staff of the Library of MIIT  
university for their contribution  
to preparing this publication.**





# «Провода с большим напряжением транспортируют ток»



Николай ГРИГОРЬЕВ

Nikolai D. GRIGORIEV

## «Wires with High Voltage Transport Current»

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 248)

**Д. А. Лачинов родился 175 лет назад и ничто не предвещало, что на свет появился человек, обоснувший теорию передачи (транспортировки) электроэнергии по проводам на большие расстояния и без больших её потерь, пользуясь токами высокого напряжения (свыше 1000 В), силовыми трансформаторами и системой трехфазного переменного тока. Именно Дмитрий Лачинов ввел математические методы в электротехнику, сделав возможным создание электрических машин не на основе эмпирики, а благодаря математической оценке физических явлений.**

*Ключевые слова:* история, электротехника, Лачинов, передача электроэнергии по проводам, электрические машины, генераторы, двигатели, аккумуляторы для подводного флота.

*Григорьев Николай Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

**Р**усский электротехник, профессор Дмитрий Александрович Лачинов родился 22 мая (по старому стилю 10 мая) 1842 года в селе Лесное Конобеево (по другим данным в Новой Островке) Шацкого уезда Тамбовской губернии (ныне Шацкий район Рязанской области). Он происходил из старинного русского рода, ведущего родословную от воеводы середины XV века Г. Г. Лачины.

## ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ КПД – ПОДНИМАТЬ ЭДС

В 1859 году семнадцатилетний Лачинов окончил 1-ю Санкт-Петербургскую гимназию и поступил на физико-математический факультет университета. Спустя два года университет из-за студенческих волнений закрыли, и в 1862 году Дмитрий был направлен в Германию, где свыше двух лет изучал физику под руководством Г. Гельмгольца, Р. Бунзена и Г. Кирхгофа в Гейдельбергском и Тюбингенском университетах. По возвращению в Россию в 1864 году Лачинов окончил Санкт-Петербургский университет и в 1865 году после защиты диссертации получил учёную степень кандидата физико-математических наук.

Тогда же в Санкт-Петербургском земледельческом институте (ныне лесотехническая академия) была создана кафедра физики

и метеорологии, где Лачинов в 1866 году стал штатным преподавателем (с 1877 г. — доцент, с 1890 г. — профессор). Им организованы одна из первых в России лаборатория для проведения учебных практических занятий студентов по физике, а при кафедре — метеорологическая станция.

Он работал над созданием динамо без железа, чтобы изучать зависимости ЭДС от скорости вращения. Молодой ученый быстро отзывался на запросы электротехнической практики. Как только возник вопрос о коэффициенте полезного действия (КПД) динамо, он изобрел передаточный оптический динамометр, который позволял элементарно просто измерять передаваемую от первичного двигателя к генератору мощность и был совершеннее приборов, выпускаемых фирмой Siemens & Halske в Берлине. Лачинов делал сообщения об изобретениях на заседаниях Физико-химического общества при Санкт-Петербургском университете, а в 1872 году стал членом-организатором Русского физического общества.

В конце 1877 года Дмитрий Александрович проводил опыты с телефонами американского изобретателя, шотландца по происхождению, А. Белла, определяя сопротивления их катушек и качество звука. В появившейся вскоре публикации им предложены сдвоенные телефонные трубки, то есть не исключено, что именно он был первым, кто высказал идею наушников.

На следующий год Лачинов Императорским Русским техническим обществом (РТО) был командирован в Париж на Всемирную выставку. Одновременно он изучил систему профессионального образования во Франции, о чем им было сделано сообщение в марте 1879 года в РТО.

Лачинов совместно с П. Н. Яблочковым, В. Н. Чиколевым, А. Н. Лодыгиным, Ф. А. Пироцким и другими электротехниками выступил организатором и основателем электротехнического (VI) отдела РТО. Он был выбран неперменным членом отдела, где стал самым активным докладчиком и членом комиссии по подготовке списка вопросов, решение которых наиболее необходимо электротехнике. В 1880 году членами VI отдела РТО организована редакция электротехнического журнала «Электричество». В помощь редакторам по научным и учебным вопросам делегировали Лачинова. На первой отечественной электри-



ческой выставке 1880 года, где демонстрировались новейшие изобретения, он стал «объяснителем» (экскурсоводом).

Из теории телеграфных линий было известно, что наибольший эффект в работе приёмного устройства достигается в согласованном режиме, когда его сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника энергии вместе с сопротивлением соединительных проводов. Но при этом максимальный КПД установки составляет 50 %, что для энергетической сильноточной техники становится нецелесообразным. Из-за этого обстоятельства И. Фотен, Г. Феррарис и многие другие крупные специалисты теряли перспективу в научно-технических поисках и прекращали свои исследования лишь потому, что не могли освободиться от рамок теории слабых цепей.

Обстоятельное теоретическое исследование вопроса и путей решения проблемы передачи электрической энергии выполнил Лачинов. В 1880 году он опубликовал («Электричество», №№ 1, 2, 5–7) статью «Электромеханическая работа», где рассмотрел функции электрических машин, действующих в качестве генераторов и двигателей независимого, параллельного и последовательного возбуждения, и пришел к выводу о возможности передачи электроэнергии на значительные расстояния по проводам без больших потерь, пользуясь токами высокого напряжения. Основная его мысль сводилась к тому, что для сохранения КПД передачи электроэнергии необходимо увеличивать скорость вращения генератора, то есть поднимать ЭДС, пропорциональную частоте вращения, и напряжение по мере увеличения расстояния пропорционально корню квадратному из сопротивления цепи. К подобным же выводам через год пришел французский инженер (впоследствии академик) Марсель Дебре, причем он подтвердил их опытами в 1882–1883 годах.



Следствие статьи Лачинова — начало создания техники и линий электропередачи напряжением выше 1000 В, вызвавшее применение силовых трансформаторов, формирование системы трёхфазного переменного тока. В своей статье, об этом стоит напомнить, ученый предложил для повышения напряжения соединить последовательно несколько электрических машин на каждом конце линии и указал на возможность превращать тепло непосредственно в электричество с помощью термоэлектрических батарей. Здесь же он ввел понятие о противоэлектродвижущей силе  $E$ , выводя его из энергетических соображений, и привел формулу двигателей постоянного тока:  $IR = U - E$  ( $I$  — ток в якорной цепи,  $R$  — сопротивление обмотки якоря,  $U$  — напряжение на якоре). Им на смену эмпирике введены математические методы в новую отрасль техники. Электротехника с его подачи становилась наукой, основанной на математическом анализе физических явлений.

В 1881 году Лачинов был делегатом конгресса электриков и представлял Русский отдел (РО) на Первой всемирной электротехнической выставке в Париже, где демонстрировались и его изобретения. За успешную деятельность в качестве генерального комиссара РО и за свои изобретения он получил бронзовую медаль и удостоен Ордена Почётного Легиона офицерской степени.

### ПОМОГ ПОДВОДНОМУ ФЛОТУ

Изысканием методов включения дуговых осветительных ламп по несколько штук в цепь одной динамомашин в 70-х годах XIX века занимались многие электротехники. М. П. Авенариус предлагал применять свои «поляризаторы» (вторичные элементы), П. Н. Яблочков — «индукционные катушки» (однофазные трансформаторы) и конденсаторы. Эти изобретения патентовались, демонстрировались на выставках, но широкого применения не получали. Лачинов первый подверг этот вопрос теоретическому исследованию и пришел к ряду заключений, которые изложил в 1882 году в статье «О параллельном введении электрических ламп» («Электричество», 1882, №№ 12, 13). Он доказал преимущества параллельного включения дуговых ламп, указал на возможность их смешанного (параллельного и последовательного) соединения, а также совместного

включения дуговых ламп и ламп накаливания.

В 1884 году Лачинов предложил городской думе Санкт-Петербурга организовать фотометрическую станцию для систематического контроля в условиях конкуренции различных видов освещения между собой, эту функцию она могла выполнять с помощью разработанного им удобного и простого фотометра. Теория его основывалась на законе, по которому освещение поверхности световым источником пропорционально силе света и синусу угла, образуемого лучами с плоскостью, и обратно пропорционально квадрату расстояния. Некоторое время этот прибор имел применение.

Ученый одновременно занимался исследованием состояния среды, окружающей проводник при протекании по нему тока, и электрических явлений в газах и вакууме. Изучение физических свойств газов при различных давлениях занимало его еще в 1865 году в период работы над кандидатской диссертацией. Продолжая тему вольтовой дуги и фотографии, летом и осенью 1887 года в физической лаборатории он моделировал формы атмосферного электричества путем дифференциации электрических разрядов в газовой среде, фотографировавшихся или фиксировавшихся на бром-желатиновой пластинке непосредственным воздействием искры. В процессе первых опытов снимался яркий разряд искры индукционной катушки, соединенной с конденсаторами, или — неяркий, когда введенное в цепь сопротивление давало продолжительный тлеющий разряд. Вторая и третья серии опытов проводились без фотокамеры. Разряд скользил по поверхности сухой бром-желатиновой пластинки и оставлял на ней след, который при проявлении делался видимым. Это был один из первых примеров газоразрядной визуализации.

Когда в 1886 году В. Н. Чиколев выяснил преимущества параболических прожекторов, Лачинов предложил центробежный метод изготовления зеркал рефлекторов, основанный на использовании параболической формы воронки, образующейся при вращении с достаточно большой скоростью столба жидкой массы быстро сохнувших цемента, гипса и т.п.

В 1887 году ученый опубликовал статью «Усовершенствование в аккумуляторах или

вторичных батареях» («Электричество», 1887, № 7), в которой предложил аккумуляторные пластины покрывать губчатым свинцом, что сыграло прежде всего существенную роль в энерговооружении кораблей и развитии отечественного подводного флота.

В 1888 году Лачинов опять-таки первым предложил электролитический способ получения и промышленного производства водорода и кислорода как при нормальном, так и при повышенном давлении, а также применение обогащенного кислородом дутья в металлургии и стекольном производстве. Занимаясь главным образом сферой технических приложений электричества, он создал гальваническую батарею особой конструкции, приборы для освещения полостей человеческого тела (дуговой диафаноскоп) и обнаружения дефектов электрической изоляции, автоматический регулятор («экономизатор») электрического освещения в зависимости от числа введенных в цепь ламп и был автором многих других изобретений.

В 1895 году, узнав о создании русским ученым А. С. Поповым прибора для обнаружения и регистрации электрических колебаний, Лачинов установил «грозоотметчик» или «разрядотметчик» (такие названия прибору он дал) на своей метеостанции, где были получены первые регистрации электрических разрядов атмосферы и где впоследствии много лет велись систематические их наблюдения. Во втором издании его учебника «Основы метрологии и климатологии», вышедшем в июле, изложено первое описание «грозоотметчика Попова», прототипа радиоприемника.

С появлением в 1895 году первых сообщений о работах немецкого ученого В. Рентгена Лачинов, повторяя его опыты, находил объяснения новым фактам и популяризовал его открытие. С этой целью он самостоятельно изготавливал трубки английского физика У. Крукса, необходимые для получения рентгеновских лучей, и демонстрировал их на своих лекциях.

С начала 1880-х на протяжении двадцати лет Лачинов в VI отделе РГО был экспертом комитета по техническим делам департамента торговли и мануфактур в вопросах выдачи привилегий. Он рассматривал все изобретения

в этой области, поддерживал добросовестных исследователей. Ученый давал отзывы об изобретениях отечественных и зарубежных электротехников П. Н. Яблочкова, В. Н. Чиколева, Н. Н. Бенардоса, М. Депре, Н. Теслы, В. Сименса, Т. Эдисона и др. Выступал в печати со статьями, отстаивавшими их права, включался в дискуссии, помогал в получении привилегий, способствовал реализации изобретений, несших новое и разумное.

В 1899 году Санкт-Петербургский электротехнический институт (ныне университет) присвоил Дмитрию Лачинову звание почетного инженера-электрика. Он был в числе первых из семнадцати, кому с 1899 по 1903 год было присвоено это звание. Среди них известные всему миру А. Н. Лодыгин, Н. Н. Бенардос, А. С. Попов, М. О. Доливо-Добровольский, И. И. Боргман, К. Сименс.

Умер Лачинов 28 октября 1902 года на 61-м году жизни в Санкт-Петербурге.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белькинд Л. Д., Конфедератов И. Я., Шнейберг Я. Л. История техники.— М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956.— 491 с.
2. Шателен М. А. Русские электротехники XIX века.— М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955.— 432 с.
3. Шателен М. А. Русские электротехники второй половины XIX века.— М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949.— 380 с.
4. Веселовский О. Н., Шнейберг Я. Л. Очерки по истории электротехники.— М.: МЭИ, 1993.— 252 с.
5. Данилевский В. В. Русская техника.— Л.: Ленинградское газетно-журнальное и книжное издательство, 1948.— 548 с.
6. Шнейберг Я. Л. Титаны электротехники. Очерки о жизни и творчестве.— М.: МЭИ, 1993.— 252 с.
7. Ржонницкий Б. Н. Дмитрий Александрович Лачинов. Жизнь и труды.— М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955.— 112 с.
8. История энергетической техники.— Т. 2: Электротехника.— М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.— 728 с.
9. Веселовский О. Н., Шнейберг Я. Л. Энергетическая техника и ее развитие.— М.: Высшая школа, 1976.— 304 с.
10. Симоненко О. Д. Электротехническая наука в первой половине XX века.— М.: Наука, 1988.— 143 с.
11. Шнейберг Я. А. У истоков электротехники.— М.: Учпедгиз, 1963.— 240 с.
12. Кузнецов В. Г. История энергетической техники.— М.: Гостехиздат, 1937.— 296 с.
13. Истомин С. В. Самые знаменитые изобретатели России.— М.: Вече, 2002.— 479 с.
14. Григорьев Н. Д. «Беличья клетка» в трёхфазном двигателе // Мир транспорта.— 2012.— № 1.— С. 180—189.
15. Григорьев Н. Д. Энергия идей // Мир транспорта.— 2011.— № 1.— С. 178—182.
16. Григорьев Н. Д. В ожидании «электроходов» // Мир транспорта.— 2010.— № 2.— С. 176—183. ●

Координаты автора: **Григорьев Н. Д.** — +7 (495) 684—21—19.

Статья поступила в редакцию 09.12.2016, принята к публикации 24.02.2017.



## «WIRES WITH HIGH VOLTAGE TRANSPORT CURRENT»

**Grigoriev, Nikolai D.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIT), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

Dmitry A. Lachinov was born 175 years ago and nothing foreshadowed that a man appeared who would explain the theory of transmission (transportation) of electricity over long-distance via wires and without large losses, using high-voltage currents (over 1000 V), power trans-

formers and a three-phase alternating current system. That was Dmitry Lachinov who introduced mathematical methods into electrical engineering, making it possible to create electric machines not on the basis of empiricism, but due to mathematical evaluation of physical phenomena.

*Keywords:* history, electrical engineering, Lachinov, electricity transmission via wires, electric machines, generators, engines, batteries for submarine fleet.

**Background.** Russian electrical engineer, professor Dmitry Aleksandrovich Lachinov was born on May 22 (old style May 10) in 1842 in the village Lesnoe Konobeevo (according to other sources in Novaya Ostrovka) Shatsky district of Tambov province (now Shatsky district of Ryazan region). He came from an ancient Russian family, leading the genealogy from the vovoda of the middle of XV century G. G. Lachina.

**Objective.** The objective of the author is to consider life and scientific work of a famous Russian electrical engineer Dmitry Lachinov.

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

**Results.**  
**To maintain the efficiency – to raise the emf**

In 1859, the seventeen-year-old Lachinov graduated from the 1<sup>st</sup> St. Petersburg Gymnasium and enrolled in the Physics and Mathematics Faculty of the University. Two years later, the university was closed due to student unrest, and in 1862 Dmitry was sent to Germany, where he studied physics for more than two years under the leadership of G. Helmholtz, R. Bunsen and G. Kirchhoff at Heidelberg and Tbingen universities. Upon his return to Russia in 1864, Lachinov graduated from St. Petersburg University and in 1865, after defending his thesis, received Ph.D. degree in physical and mathematical sciences.

At the same time, the Department of Physics and Meteorology was established at St. Petersburg Agricultural Institute (now Forestry Academy), where Lachinov became a full-time teacher in 1866 (from 1877 – assistant professor, from 1890 – professor). He organized one of the first laboratories in Russia to conduct practical classes for students in physics, and at the department – a meteorological station.

He worked on creating a dynamo without iron, to study the dependence of EMF on the speed of rotation. The young scientist quickly responded to the requests of electrotechnical practice. As soon as the question arose about the efficiency of the dynamo, he invented a transmission optical dynamometer that made it easy to measure the power transmitted from the primary engine to the generator and was more perfect than the instruments manufactured by Siemens and Halske in Berlin. Lachinov made reports on inventions at the meetings of Physico-

Chemical Society at St. Petersburg University, and in 1872 became a member-organizer of the Russian Physical Society.

At the end of 1877 Dmitry Aleksandrovich conducted experiments with the phones of the American inventor, Scotsman by the origin A. Bell, determining the resistance of their coils and the sound quality. In the soon-to-be-published publication, he offered dual handsets, that is, it is possible that he was the first who expressed the idea of headphones.

The following year, the Imperial Russian Technical Society (RTS) sent Lachinov to Paris for the World Exhibition. At the same time, he studied the system of professional education in France, about which he made report in March 1879 in the RTS.

Lachinov together with P. N. Yablochkov, V. N. Chikolev, A. N. Lodygin, F. A. Pyrotsky and other electrical engineers was the organizer and the founder of the electrical (VI) department of the RTS. He was elected as an indispensable member of the department, where he became the most active speaker and member of the commission for the preparation of a list of issues, the solution of which is most essential to electrical engineering. In 1880, members of VI department of the RTS organized an editorial office of the electrotechnical journal «Electricity». Lachinov was delegated to assist editors in academic and educational matters. At the first domestic electric exhibition in 1880, where the latest inventions were demonstrated, he became an «explainer» (guide).

From the theory of telegraph lines it was known that the greatest effect in operation of a receiving device is achieved in a consistent mode, when its resistance is equal to internal resistance of a power source together with resistance of connecting wires. But at the same time, the maximum efficiency of the entire plant is 50 %, which is not expedient for high-current power technology. Because of this circumstance, I. Foten, G. Ferraris and many other major specialists lost prospect in scientific and technical searches and stopped their studies only because they could not free themselves from the framework of the theory of low-current circuits.

Lachinov performed a thorough theoretical study of the issue and ways of solving the problem of electric energy transmission. In 1880 he published an article «Electromechanical



work» («Electricity», Iss. 1, 2, 5–7), where he considered the functions of electric machines acting as generators and motors of independent, parallel and sequential excitation, and came to the conclusion about the possibility of transmitting electricity over significant distances through wires without large losses, using high-voltage currents. His main idea was that in order to preserve the efficiency of electric power transmission, it is necessary to increase the speed of rotation of the generator, that is, to raise the EMF proportional to the speed of rotation, and the voltage with increasing distance is proportional to the square root of the resistance of the circuit. A similar conclusion was reached a year later by the French engineer (later Academician) M. Depres, and he confirmed them with experiments in 1882–1883.

The consequence of Lachinov's article – beginning of creation of equipment and power lines with voltage above 1000 V, which caused the use of power transformers, formation of a three-phase alternating current system. In his article, it should be recalled that the scientist proposed to connect several electric machines in series at each end of the line to increase voltage and indicated the possibility of converting heat directly into electricity using thermoelectric batteries. Here he introduced the concept of counter-electromotive force  $E$ , deducing it from energy considerations, and gave the formula for DC motors:  $IR = U - E$  ( $I$  is current in anchor circuit,  $R$  is anchor winding resistance, and  $U$  is anchor voltage). He replaced empiricism with mathematical methods in a new branch of technology. Electrical engineering at his suggestion became a science based on a mathematical analysis of physical phenomena.

In 1881, Lachinov was a delegate to the Congress of Electricians and represented the Russian Department (RD) at the First World Electrical Exhibition in Paris, where his inventions were demonstrated. For his successful work as the Commissioner General of the RD and for his inventions, he received a bronze medal and was awarded the Order of the Legion of Honor of an officer's degree.

#### **Helped the submarine fleet**

The search for methods of incorporating arc illumination lamps into several circuits in a chain of one dynamo in the seventies of XIX century was carried out by many electrical engineers. M. P. Avenarius proposed using his «polarizers» (secondary elements), P. N. Yablochkov – «induction coils» (single-phase transformers) and capacitors. These inventions were patented, demonstrated at exhibitions, but were not widely used. Lachinov was the first to question this theoretical study and came to a series of conclusions, which he presented in 1882 in the article «On parallel introduction of electric lamps» («Electricity», 1882, Iss. 12, 13). He proved the advantages of parallel inclusion of arc lamps, pointed out the possibility of their mixed (parallel and serial) connection, as well as the joint inclusion of arc lamps and incandescent lamps.

In 1884, Lachinov suggested that the city council of St. Petersburg organize a photometric

station for systematic control in a competitive environment of various types of lighting among each other, it could perform this function with the help of a convenient and simple photometer developed by him. His theory was based on the law according to which illumination of the surface by a light source is proportional to the force of light and the sine of the angle formed by the rays with the plane, and inversely proportional to the square of the distance. For some time this device had an application.

The scientist simultaneously studied the state of the medium surrounding the conductor when current flows through it, and electrical phenomena in gases and vacuum. The study of the physical properties of gases at various pressures was interesting for him as early as 1865 while he was working on his Ph.D. thesis. Continuing the theme of the voltaic arc and photography, in summer and autumn of 1887 in a physical laboratory, he modeled the forms of atmospheric electricity by differentiating electric discharges in a gaseous medium, photographed or fixed on a bromine-gelatin plate by direct exposure to a spark. In the course of the first experiments, a bright discharge of the spark of the induction coil connected to the capacitors was shot, or – not bright, when the resistance introduced into the circuit gave a prolonged glow discharge. The second and third series of experiments were conducted without a camera. The discharge slid over the surface of the dry bromine-gelatin plate and left a trace on it, which, when developed, was made visible. This was one of the first examples of gas-discharge imaging.

When in 1886 V. N. Chikolev clarified the advantages of parabolic projectors, Lachinov proposed a centrifugal method of manufacturing reflector mirrors based on the use of a parabolic funnel shape, which is formed when a column of liquid mass of rapidly drying cement, gypsum, etc. is rotated at a sufficiently high rate.

In 1887, the scientist published an article entitled «Improvements in batteries or secondary batteries» («Electricity», 1887, Iss. 7), in which he proposed to cover battery plates with spongy lead, which played a significant role in the power supply of ships and the development of the domestic submarine fleet.

In 1888, Lachinov again first proposed an electrolytic method for the production and industrial production of hydrogen and oxygen both at normal and elevated pressures, as well as the use of oxygen-enriched blast in metallurgy and glass production. Engaged mainly in the sphere of technical applications of electricity, he created a galvanic battery of special design, devices for lighting the cavities of the human body (arc diaphanoscope) and detecting defects in electric insulation, an automatic regulator («economizer») of electric lighting, depending on the number of lamps inserted into the circuit and was the author of many other inventions.

In 1895, having learned about the creation of a device for detection and recording of electrical oscillations by the Russian scientist A. S. Popov, Lachinov installed a «storm indicator» or





**Dmitry A. Lachinov.**

«discharge indicator» (he gave such names to the device) at his meteorological station where the first recordings of electrical discharges of the atmosphere were received and where systematic observations were subsequently carried out for many years. In the second edition of his textbook «Fundamentals of Metrology and Climatology», published in July, the first description of the «storm indicator of Popov», the prototype of the radio receiver, is presented.

With the appearance in 1895 of the first reports on the work of the German scientist V. Roentgen, Lachinov, repeating his experiments, found explanations for new facts and popularized his discovery. To this end, he independently produced the tubes of the English physicist W. Crookes, necessary for obtaining X-rays, and demonstrated them in his lectures.

From the beginning of the 1880s for twenty years, in VI department of the RTS Lachinov was an expert of the Committee for Technical Affairs of the Department of Trade and Manufactories in matters of granting privileges. He considered all the inventions in this field, supported conscientious researchers. The scientist gave feedback on the inventions of domestic and foreign electrical engineers P. N. Yablochkov, V. N. Chikolev, N. N. Benardos, M. Desprey, N. Tesla, V. Simens, T. Edison, etc. He appeared in print with articles defending their rights, was involved in discussions, helped in obtaining privileges, promoted the implementation of inventions bearing new and reasonable.

**Conclusion.** In 1899, the St. Petersburg Electrotechnical Institute (now a university)

awarded Dmitry Lachinov the title of an honorary electrical engineer. He was among the first of seventeen, who from 1899 to 1903 was awarded this title. Among them are known to the whole world A. N. Lodygin, N. N. Benardos, A. S. Popov, M. O. Dolivo-Dobrovolsky, I. I. Borgman, K. Simens.

Lachinov died on October 28, 1902 being in his 61<sup>st</sup> year of life in St. Petersburg.

## REFERENCES

1. Belkind, L. D., Konfederatov, I. Ya., Shneiberg, Ya. L. History of technology [*Istorija tehniki*]. Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1956, 491 p.
2. Shatelen, M. A. Russian electrical engineers of XIX century [*Russkie elektrotehniki XIX veka*]. Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1955, 432 p.
3. Shatelen, M. A. Russian electrical engineers of the second half of XIX century [*Russkie elektrotehniki vtoroi poloviny XIX veka*]. Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1949, 380 p.
4. Veselovsky, O. N., Shneiberg, Ya. L. Essays on the history of electrical engineering [*Ocherki po istorii elektrotehniki*]. Moscow, MEI publ., 1993, 252 p.
5. Danilevsky, V. V. Russian technology [*Russkaja tehnika*]. Leningrad, Leningradskoe gazetno-zhurnal'noe i knizhnoe izdatel'stvo, 1948, 548 p.
6. Shneiberg, Ya. L. Titans of electrical engineering. Essays on life and work [*Titany elektrotehniki. Ocherki o zhizni i tvorchestve*]. Moscow, MEI publ., 1993, 252 p.
7. Rzhonsnitsky, B. N. Dmitry Alexandrovich Lachinov. Life and work [*Dmitrij Aleksandrovich Lachinov. Zhizn' i trudy*]. Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1955, 112 p.
8. History of power engineering. Vol. 2: Electrical engineering [*Istorija energeticheskoy tehniki. – T.2: Elektrotehnika*]. Moscow-Leningrad, Gosenergoizdat publ., 1957, 728 p.
9. Veselovsky, O. N., Shneiberg, Ya. L. Power engineering and its development [*Energeticheskaja tehnika i ee razvitiye*]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 1976, 304 p.
10. Simonenko, O. D. Electrotechnical science in the first half of XX century [*Elektrotehnicheskaja nauka v pervoj polovine XX veka*]. Moscow, Nauka publ., 1988, 143 p.
11. Shneiberg, Ya. A. At the origins of electrical engineering [*U istokov elektrotehniki*]. Moscow, Uchpedgiz publ., 1963, 240 p.
12. Kuznetsov, V. G. History of power engineering [*Istorija energeticheskoy tehniki*]. Moscow, Gostehizdat publ., 1937, 296 p.
13. Istomin, S. V. The most famous inventors of Russia [*Samye znamenitye izobretateli Rossii*]. Moscow, Veche publ., 2002, 469 p.
14. Grigoriev, N. D. Squirrel Cage in Three-Phase motor Kikhail Ossipovich Dolivo-Dobrovolsky (to the 150<sup>th</sup> Anniversary of the birth). *World of Transport and Transportation*, Vol.10, 2012, Iss. 1, pp. 180–189.
15. Grigoriev, N. D. Energy of Ideas. *World of Transport and Transportation*, Vol. 9, 2011, Iss.1, pp. 178–182.
16. Grigoriev, N. D. In expectation of Motor Ship with Electric Propulsion. *World of Transport and Transportation*, Vol. 8, 2010, Iss. 2, pp. 176–183. ●

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 09.12.2016, accepted 24.02.2017.

# T

## ТРАНСПОРТНЫЕ ТАРИФЫ 252

*История и современность.*



## АВТОРЕФЕРАТЫ 257

- Манипуляционные системы мобильных машин.
- Управление техническим состоянием тягового подвижного состава.
- Двухэтажные пассажирские вагоны.
- Прочностные характеристики кирпичных стен.
- Управление затратами на объектах инфраструктуры.
- Экономическое обоснование для поездов с неизменяемой композицией составов.

## НОВЫЕ КНИГИ 259

*Литература о транспорте и для транспорта.*

## TRANSPORT TARIFFS 252

*From past to present time.*

## SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D. THESES 257

- Manipulation systems of mobile machines.
- Control of technical state of traction rolling stock.
- Double-deck passenger cars.
- Strength properties of brick walls.
- Costs control on infrastructure facilities.
- Economic justification for trains with unchanged composition.

## NEWLY PUBLISHED BOOKS 259

*Literature about the transport and for the transport.*

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS





# Железнодорожные грузовые тарифы: история и современность



*English text  
of the review of  
the book  
at p. 255*

**Ж**елезные дороги сыграли очень важную роль в развитии отечественной экономики во второй половине XIX и XX веке, и в настоящее время они являются ключевой составляющей грузового транспорта России, выполняя свыше 45 % общего грузооборота.

Соответственно, принципы построения, уровень и динамика железнодорожных грузовых тарифов имеют крайне важное значение для экономики страны, а их история отражает общую экономическую историю и эволюцию государственной экономической политики. Поэтому издание книги кандидата экономических наук Ф. И. Хусаинова «Ценообразование на железнодорожном транспорте. История железнодорожных грузовых тарифов в России» чрезвычайно актуально как для студентов-экономистов, так и для слушателей курсов повышения квалификации, аспирантов и преподавателей транспортных вузов.

В учебном пособии Ф. И. Хусаинова ясность изложения сочетается с энциклопедизмом — автор релевантно использует многочисленные источники по рассматриваемой проблеме, многие из которых, несмотря на несомненную научную ценность, вероятно, не знакомы широкому кругу экономистов-транспортников, не занимающихся проблемами тарифов.

В книге показаны основные тарифные реформы за период с конца XIX по начало XXI вв., проанализированы принципы построения тарифов, структура тарифов, причины изменения моделей тарифообразования.

В первых трёх главах рассмотрены нерегулируемые тарифы 1840–1880 гг.,

**Хусаинов Ф. И. Ценообразование на железнодорожном транспорте. История железнодорожных грузовых тарифов в России: Учебное пособие. — М.: МГУПС, 2017. — 102 с.**

**В учебном пособии представлена ретроспектива тарифов с момента зарождения железных дорог в России до 2015 года. В книге анализируются все тарифные реформы, принципы построения тарифов, их структура, причины изменения моделей тарифообразования, тарифные дискуссии учёных разных школ. Из книги становится очевидным, что базовые принципы, которые существуют уже более ста лет, не теряют своей актуальности и сегодня. Экономическая наука и тарифная практика постоянно возвращаются к старым дискуссиям. Поэтому грамотный специалист по экономике железнодорожного транспорта должен иметь представление об основных проблемах эволюции отраслевых тарифов.**

*Ключевые слова:* железная дорога, грузовые тарифы, нерегулируемые и регулируемые тарифы, ценообразование, тарифная форма, тарифные дискуссии, платежеспособность грузов.

тарифная реформа 1889 года, в результате которой на российских железных дорогах произошёл переход от нерегулируемых тарифов к регулируемым. Проанализировано устройство тарифной системы в 1890–1917 гг., когда тарифы уже регулировались государством, но при этом параллельно функционировали частные и казённые железные дороги. Попутно автор рассматривает причины выкупа частных железных дорог в казну.

Четвёртая и пятая главы посвящены особенностям тарифообразования после революции 1917 года и в годы НЭПа, а также специфике тарифообразования в период индустриализации в СССР в предвоенные годы.

Отдельная глава (шестая) посвящена теоретическим тарифным дискуссиям в рамках советской экономической науки, в том числе дискуссиям между С. А. Бессоновым, С. Г. Струмилиным, К. Я. Загорским, между сторонниками марксистско-рикардианского подхода и сторонниками субъективной теории ценности и австрийской школы.

В седьмой главе проанализированы тарифы с 1940 по 1980 гг. — рассмотрены динамика тарифов, себестоимости перевозок, рентабельности перевозок различных грузов. Здесь же дан обзор основных тарифных реформ, включая переход (в два этапа — в 1967 и 1974 гг.) к двухставочным тарифам, проведённых под руководством А. В. Крейнина, после которых тариф стал формироваться из двух элементов, один из которых возмещал расходы на начально-конечные операции, а другой — на движеньеские операции.

Восьмая глава, которая называется «Новые времена: железнодорожные тарифы в 1990–2015 гг.», посвящена периоду перехода от плановой экономики к рыночной. Здесь раскрыты изменения в тарифной системе, произведённые в рамках тарифных реформ 1995 г. (деление грузов на тарифные классы) и 2003 г. (выделение инфраструктурной и вагонной составляющих). Также в этой главе рассмотрена динамика тарифов в регулируемом (ОАО «РЖД») и нерегулируемом (операторы подвижного состава) сегментах рынка железнодорожных грузовых перевозок.

В заключении к учебному пособию автор отмечает, что «анализируя историю железнодорожных тарифов в России, можно заметить, что некоторые принципы и способы формирования тарифов, практиковавшиеся в середине XIX века, которые были забыты в советский период, вновь возродились (хотя и в несколько изменённом виде) после тарифной реформы 2003 года. А, кроме того, тарифные дискуссии 1880-х годов во многом предвосхитили тарифные дискуссии как 1920–1930 годов, так и дискуссии, предшествовавшие появлению трёхклассной системы тарифов в 1990-е годы».

Таким образом, те базовые принципы, которые обсуждались разными учёными и практиками на протяжении всего рассматриваемого периода, не теряют свою актуальность.

Объективно излагая различные точки зрения на принципы построения грузовых железнодорожных тарифов, раскрываемые в их историческом развитии, автор пособия чётко показывает собственную научную позицию, методологически обоснованную приверженность рыночному формированию тарифов, базирующуюся на вошедшем в российскую транспортную науку и практику ещё в XIX веке, благодаря С. Ю. Витте, принципе «платёжеспособности» грузов. На основе эмпирического анализа в книге показано, что даже в советский период, когда принцип «платёжеспособности» формально отвергался, в неявной форме он учитывался при всех проводимых тарифных реформах.

На основе исторического анализа отечественных железнодорожных тарифов в работе раскрыты важные теоретические положения, имеющие общеэкономическое значение — о том, что необходимость государственного регулирования экономики зачастую порождается не «провалами рынка», а негативными последствиями предшествующего государственного вмешательства, а также об универсальности действия экономических закономерностей. Автор наглядно показывает проявление «невидимой руки рынка» в дерегулированном сегменте российской железнодорожной отрасли. Таким образом,



рецензируемая работа является несомненным вкладом как в экономическую историю, так и в теорию.

Композиция работы, сочетающая хронологический и тематический принцип построения, способствует логичному и ясному изложению материала, а хороший литературный стиль облегчает его восприятие.

Но, помимо «узкоспециального» интереса, учебное пособие будет полезно будущим экономистам-транспортникам ещё по двум причинам.

Во-первых, книга способствует формированию общей экономической культуры. В предисловии автор пособия справедливо замечает: «Выпускник экономического факультета любого вуза, в том числе железнодорожного, должен знать не только прикладные аспекты своей специальности, но и обладать широкой общеэкономической культурой. Экономист, который знает только экономику — плохой экономист». Работы Ф. И. Хусаинова, в том числе рецензируемое учебное пособие, позволяют студентам приобрести не только прикладные знания, но и сформировать более широкий кругозор общеэкономического характера. Например, в главе, где речь идёт о дискуссиях между тарифными школами, попутно раскрывается различие между подходом, базирующимся на субъективной теории ценности (стоимости), к которому тяготеют представители австрийской традиции, и марксистским подходом, в основе которого лежит трудовая теория стоимости; там, где речь идёт о тарифных дискуссиях 1880-х годов, одновременно анализируются причины выкупа казённых дорог в казну; введение бесплатных тарифов в 1921 г. увязано с политикой военного коммунизма, а возвращение платности тарифов — с НЭПом и т.п. Таким образом, студенты, изучающие дисциплину по этому учебному пособию, научатся не только видеть в тарифной политике какие-то количественные показатели, но и увязывать регулирование тарифов с экономической

политикой в разные периоды социально-экономического развития.

Во-вторых, для тех, кто занимается (и, в частности, только начинает заниматься) транспортной наукой, книга и автор представляют особый интерес. Каждая работа Фариды Хусаинова являет собой пример не только анализа предыдущих работ, но и содержит личное отношение к предмету исследования. И там, где речь идёт о прошлом — о причинах выкупа железных дорог в казну, об устройстве тарифной системы до революции 1917 г.; и там, где речь идёт о современности — о динамике тарифов в регулируемом и нерегулируемом секторах экономике или о последствиях демонополизации рынка предоставления грузовых вагонов, автор высказывает точку зрения, которая существенно расширяет наши знания и корректирует привычные, но иногда уже устаревшие представления о предмете исследования.

Кроме того, учебное пособие Ф. И. Хусаинова будет несомненно полезно не только для студентов и преподавателей, но и для тех, кто работает в транспортном бизнесе. Сегодня, когда на рынке функционирует множество операторских компаний, потребность с их стороны в понимании отраслевых экономических вопросов чрезвычайно велика (что усугубляется тем, что у многих пришедших в железнодорожную отрасль из других сфер, просто отсутствует транспортное образование), и учебное пособие может дать таким читателям базовые знания в этой области и сформировать у них некий профессиональный бэкграунд, при наличии которого они смогут более профессионально судить о различных аспектах тарифной теории и практики.

**Дмитрий МАЧЕРЕТ,**  
**доктор экономических наук,**  
**профессор, заведующий кафедрой**  
**«Экономика строительного**  
**бизнеса и управление собственностью»**  
**МГУПС (МИИТ),**  
**первый заместитель председателя**  
**Объединённого учёного совета**  
**ОАО «РЖД», Москва, Россия ●**

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

Рецензия поступила в редакцию 31.03.2017, принята к публикации 21.04.2017.

## RAILWAY FREIGHT TARIFFS: HISTORY AND MODERNITY

**Khusainov, F. I.** *Pricing in Railway Transport. History of Rail Freight Tariffs in Russia: textbook.* Moscow, MGUPS publ., 2017, 102 p.



### ABSTRACT

The training manual presents a retrospective of tariffs from the inception of the railways in Russia until 2015. The book analyzes all tariff reforms, the principles of building tariffs, their structure, the reasons for changing tariff-setting models, tariff discussions of scientists from different schools. From the book it becomes

obvious that the basic principles that have existed for more than a hundred of years, do not lose their relevance today. Economic science and tariff practices are constantly returning to old discussions. Therefore, a competent specialist in the economics of rail transport should have an idea of the main problems of evolution of railway tariffs.

**Keywords:** railway, freight tariffs, unregulated and regulated tariffs, pricing, tariff reform, tariff discussions, solvency of cargoes.

The railways played a very important role in development of domestic economy in the second half of XIX and XX centuries, and now they are a key component of Russia's freight transport, carrying over 45 % of the total cargo turnover.

Accordingly, the principles of construction, level and dynamics of rail freight tariffs are of great importance for the country's economy, and their history reflects the overall economic history and evolution of state economic policy. Therefore, the publication of the book of Ph.D. (Economics) Farid Iosifovich Khusainov «Pricing in railway transport. History of rail freight tariffs in Russia» is extremely important and relevant both for economics students and for students of advanced training courses, Ph.D. students and lecturers of transport universities.

In the training manual of F. I. Khusainov clarity of presentation is combined with encyclopedicism. The author relies on numerous sources about the problem under consideration, many of which, despite their undoubted scientific value, are probably not familiar to a wide range of transport economists who do not deal with tariff issues.

The book examines the main tariff reforms for the period from the end of XIX to the beginning of XXI centuries. The principles of building of tariffs, the structure of tariffs, the reasons for changing tariff-setting models are analyzed.

The first three chapters examined the unregulated tariffs of 1840–1880, the tariff reform of 1889, which resulted in a transition from unregulated tariffs to regulated tariffs on Russian railways. The tariff system of 1890–1917 was analyzed, when tariffs were already regulated by the state, but at the same time private and state-owned railways operated in parallel. In passing, the author considers the reasons for repurchase of private railways into the treasury.

The fourth and fifth chapters are devoted to peculiarities of tariff formation after the revolution of 1917 and during the NEP, as well as the specificity of tariff formation during the period of industrialization in the USSR in the prewar years.

A separate chapter (the sixth) is devoted to theoretical tariff discussions within the framework of Soviet economic science, including discussions between S. A. Bessonov, S. G. Strumilin, K. Ya. Zagorsky, between supporters of the Marxist-Ricardian approach and supporters of the subjective theory of value and the Austrian school.

In the seventh chapter, tariffs from 1940 to 1980 were analyzed – dynamics of tariffs, cost of transportation, profitability of transportation of various cargoes are considered. Here there is a review of the main tariff reforms, including the transition (in two stages – in 1967 and 1974) to two-part tariffs, conducted under the leadership of A. V. Kreinin, after which the tariff began to be formed of two elements, one of which reimbursed the costs of initial-final operations, and the other – for movement operations.

The eighth chapter, entitled «New Times: Railway Tariffs in 1990–2015», is devoted to the period of transition from a planned economy to a market economy. Here, changes in the tariff system, made in the framework of tariff reforms in 1995 (division of goods into tariff classes) and 2003 (allocation of infrastructure and wagon components) are disclosed. Also in this chapter, the dynamics of tariffs in the regulated segments (JSC Russian Railways) and unregulated (rolling stock operators) segments of the railway freight transportation market is considered.

In conclusion to the textbook, the author notes that «analyzing the history of railway tariffs in Russia, one can note that some principles and methods of tariff formation practiced in the middle of XIX century that were



forgotten in the Soviet period have been revived again (albeit in a slightly modified form) after the tariff reform of 2003. And, in addition, the tariff discussions of the 1880s largely anticipated tariff discussions both in 1920–1930, as well as the discussions that preceded the emergence of the three-class tariff system in the 1990s».

Thus, those basic principles, which were discussed by different scientific practices throughout the period under review, do not lose their relevance.

Objectively expounding various points of view on the principles of building freight tariffs, disclosed in their historical development, the author of the manual clearly shows his own scientific position, methodologically based adherence to the market formation of tariffs, based on the Russian transport science and practice as early as XIX century, thanks to S. Yu. Witte, the principle of «solvency» of goods. On the basis of empirical analysis, the article shows that even in the Soviet period, when the principle of «solvency» was formally rejected, it was implicitly taken into account in all the conducted tariff reforms.

On the basis of the historical analysis of domestic railway tariffs, important theoretical propositions of general economic importance are revealed in the work – that the need for state regulation of the economy is often generated not by «market failures», but by negative consequences of previous state intervention, and also on the universality of the operation of economic laws. The author clearly shows the manifestation of the «invisible hand of the market» in the deregulated segment of the Russian railway industry. Thus, the work under review is an unquestionable contribution to both economic history and theory.

The composition of the work, combining the chronological and thematic principle of construction, contributes to a logical and clear presentation of the material, and a good literary style facilitates its perception.

But, in addition to the «narrowly specialized» interest, the manual will be useful for future economists-transporters for two more reasons.

Firstly, the book contributes to the formation of a common economic culture. In the foreword the author of the manual rightly notes: «A graduate of the economic faculty of any university, including a railway university, should know not only the applied aspects of his specialty, but also have a broad general economic culture. An economist who knows only economics is a bad economist». The works

of F. I. Khusainov, and, in particular, the peer-reviewed textbook, allow students to acquire not only applied knowledge, but also to form a broader horizon of general economic nature. For example, in the chapter dealing with discussions between tariff schools, a distinction is made, in passing, between the approach based on the subjective theory of value to which representatives of the Austrian tradition gravitate, and the Marxist approach, which is based on the labor theory of value; there, when it comes to tariff discussions in the 1880s, at the same time, the reasons for repurchase of public roads to the treasury are analyzed; the introduction of free tariffs in 1921 is tied to the policy of war communism, and the return of payment of tariffs – with the NEP, etc. Thus, students who study the discipline using this training manual will learn not only to see some quantitative indicators in the tariff policy, but also to link tariff regulation with economic policy in different periods of socio-economic development.

Secondly, for those who are engaged (and, in particular, just starting to do) transport science, the book and the author are of special interest. Each work of Farid Khusainov is an example not only of the analysis of previous works, but also contains a personal attitude to the subject of research. And where it comes to the past – the reasons for repurchase of railways to the treasury, the structure of the tariff system before the revolution of 1917; and where it is a question of modernity – the dynamics of tariffs in the regulated and unregulated sectors of the economy or the consequences of demonopolization of the market for the provision of freight cars, the author expresses a point of view that significantly expands our knowledge and corrects the usual but sometimes outdated notions about the subject of research.

In addition, the textbook of F. I. Khusainova will be extremely useful not only for students and lecturers, but also for those who work in the transport business. Today, when there are many operator companies operating on the market, the need for them to understand the sectoral economic issues is extremely high (which is exacerbated by the fact that many who come to the railway industry from other spheres simply do not have transport education), and the training manual can give such readers basic knowledge in this field and form a professional background in which they can judge more professionally about various aspects of the tariff theory and practice. ●

Information about the author:

**Macheret, Dmitry A.**, D.Sc. (Economics), professor, head of the department of Economics of Construction Business and Property Management of MIIT, first deputy chairman of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

The review received 31.03.2017, accepted 21.04.2017.



## АВТОРЕФЕРАТЫ

*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Moscow State University of Railway Engineering (англ. текст – English text – p. 258)*

**Аболмасов А. А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2017. – 24 с.**

Разработана модель управления техническим состоянием тягового подвижного состава в виде трёхконтурной системы, контролирующей процессы и уровень сервисного обслуживания с учётом инкапсулированных в неё по принципу «встроенное качество» вероятностно-статистических методов и алгоритмов международных стандартов. Предложены методы автоматизированного диагностирования предотказных состояний однотипных узлов грузовых тепловозов и метод алгоритмических защит от превышения предельно допустимых режимов работы локомотива.

**Лагереv И. А. Развитие элементов теории проектирования и моделирования манипуляционных систем мобильных транспортно-технологических машин / Автореф. дис... док. техн. наук. – М., 2017. – 36 с.**

В научном исследовании представлена концепция манипуляционной системы МТТМ как интегрированной подсистемы, функционирование которой происходит в комплексном взаимодействии с другими значащими элементами (опорным основанием, базовой машиной, исполнительным органом, окружающей средой), характеризующимся наличием развитой совокупности обратных связей между подсистемами. Соответственно этому разработана математическая модель, учитывающая протекающие в них динамические процессы и включающие модели частные (ориентированные на каждый из элементов системы). Отдельно предусмотрен ряд оптимизационных многокритериальных математических моделей для автоматизированного проектирования тех или иных узлов машин.

Диссертация содержит теоретические основы перспективных конструкторско-технологических решений, связанных с надёжностью и безопасностью манипуляционных систем МТТМ, в том числе возможностью снизить ударные нагрузки в металлоконструкции, повысить трещиностойкость и живучесть шарнирных соединений, общую устойчивость машин. Кроме того, теоретически обобщены результаты экспериментальных натурных исследований динамики манипуляционных систем, подтвердивших адекватность разработанных моделей.

**Лебедев В. А. Обоснование технических решений конструкции двухэтажного пассажирского вагона / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2017. – 24 с.**

Автором создана компьютерная модель отечественного пассажирского купейного двух-

этажного вагона методом конечных элементов, позволяющая с достоверной точностью выполнять математический анализ напряженно-деформированного состояния конструкции. Уточнён способ учёта влияния распределения массы брутто кузова по металлоконструкции на жесткостные его параметры, разработаны стабилизирующие устройства бокового наклона вагонного кузова с коррекцией жесткостных характеристик подвешивания ходовых частей двухэтажника.

**Микерего Эммануэль. Оценка влияния кирпичных стен из местных материалов заполнения на работу монолитных каркасных зданий Республики Бурунди / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2017. – 24 с.**

Определены прочностные характеристики местных кладочных элементов и растворов заполнения, деформативные особенности кладок, выбрана конструктивная система монолитного каркасного здания с кирпичными стенами, которая соответствует действительной ожидаемой нагрузке на конструкцию. Выполнены расчёты усилий в ригелях и колоннах при различных воздействиях, показана взаимосвязь максимальных усилий в элементах какого-либо этажа с отсутствием на нём кирпичных стен. Установлено, что переход от каркасной конструктивной системы к связевой приводит к уменьшению усилий в несущих элементах здания.

**Рубченко Д. С. Управление затратами при организации ремонта и реконструкции объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта на основе нормативного метода / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2017. – 24 с.**

В диссертации модифицирован нормативный метод управления затратами с учётом особенностей ремонтного комплекса, выявлены факторы, определяющие технологический порядок процесса в условиях сохранения непрерывности железнодорожных перевозок при производстве ремонтно-путевых работ. Разработана пошаговая модель расчёта затрат на проведение реконструкции и капитального ремонта пути, позволяющая учесть требования отраслевой системы нормирования и ценообразования и минимизировать суммарную стоимость жизненного цикла инфраструктурных объектов железных дорог.

**Соколовский А. В. Экономическое обоснование использования пассажирских поездов дальнего следования с неизменяемой композицией составов / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2017. – 24 с.**

В основе демонстрируемого методического подхода – определение характеристик спроса, позволяющих наиболее полно использовать потенциал имеющегося объёма предложения мест в поездах с жёсткой схемой составов. Предложен алгоритм выявления этого потенциала и фактического спроса на заданном направлении, обоснованы условия экономической конъюнктуры, готовой обеспечить эффективную эксплуатацию поездов неизменяемой композиции при различных вариантах организации перевозочного процесса и ввода в обращение.



## ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D. THESES

*The selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Moscow State University of Railway Engineering*

**Abolmasov, A. A. Management of the technical condition of traction rolling stock under the conditions of service maintenance. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

A model for managing the technical condition of traction rolling stock in the form of a three-circuit system that controls the processes and the level of service maintenance is considered, taking into account probabilistic statistical methods and algorithms of international standards based on «built-in quality» principle encapsulated in it. Methods for automated diagnosing of pre-failure states of single-type units of freight diesel locomotives and a method of algorithmic protection against exceeding the permissible operating conditions of a locomotive are proposed.

**Lagerev, I. A. Development of the elements of the theory of design and modeling of manipulation systems of mobile transport-technological machines. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2017, 36 p.**

The scientific research presents the concept of MTTM manipulation system as an integrated subsystem, the functioning of which takes place in complex interaction with other meaningful elements (support base, base machine, executive body, environment) characterized by a developed set of feedbacks between subsystems. Accordingly, a mathematical model has been developed that takes into account the dynamic processes taking place in them and includes private models (oriented to each of the elements of the system). Separately, a number of optimization multi-criteria mathematical models for the automated design of certain units and mechanisms of mobile machines is provided.

The thesis contains the theoretical foundations of promising design and technological solutions related to reliability and safety of operation of MTTM manipulation systems, including the possibility to reduce impact loads in metal structures, improve fracture toughness and survivability of hinged joints, and overall machine stability. In addition, the results of experimental field studies of the dynamics of manipulation systems that have confirmed the adequacy of the developed models are theoretically generalized.

**Lebedev, V. A. Justification of technical solutions for construction of a double-decker passenger car. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

The author has created a computer model of the domestic passenger compartment double-decker car

by the finite element method, which allows performing a mathematical analysis of the stress-strain state of the structure with reliable accuracy. The method of accounting for the influence of the gross mass distribution of the body on metal structures on its stiffness parameters is specified, stabilizing devices for lateral inclination of the car body are developed with correction of stiffness characteristics of suspension of running parts of the double-decker car.

**Mikerego Emmanuel. Evaluation of the impact of brick walls from local filling materials on work of monolithic frame buildings of the Republic of Burundi. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

Strength characteristics of local masonry elements and filling solutions, deformative features of the clutches are determined, a structural system of a monolithic frame building with brick walls is chosen, which corresponds to the actual expected load on the structure. Calculations of forces in bolts and columns under various influences are performed, interrelation of maximum forces in the elements of a floor with the absence of brick walls on it is shown. It is established that transition from the frame to the bonded structural system leads to a reduction in the forces in the load-bearing elements of the building.

**Rubchenko, D. S. Cost management in organization of repair and reconstruction of railway transport infrastructure on the basis of the regulatory method. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

In the thesis, the standard method of cost management was modified, taking into account the features of the repair complex, the factors determining the technological order of the process in the conditions of preserving the continuity of rail transportation in the manufacture of repair and travel works were identified. A step-by-step model is developed for calculating the cost of reconstruction and capital repair of the track, allowing to take into account the requirements of the industry standardization and pricing system and to minimize the total cost of the life cycle of infrastructure facilities of the railways.

**Sokolovsky, A. V. Economic rationale for the use of long-distance passenger trains with an unchanged composition. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

At the heart of the demonstrated methodical approach is the definition of demand characteristics that paves the way to full use of the potential of the available volume of supply of seats in trains with a rigid composition scheme. An algorithm for identifying this potential and actual demand for a given direction is proposed, the conditions of the economic conjuncture ready to ensure the efficient operation of trains of the unchangeable composition under different variants of the organization of the transportation process and commissioning are justified. ●

## НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

*English text at p. 260*

Аблаев В. В., Голубев А. А. Устройства СЦБ. Технология обслуживания: Учеб. пособие; Петерб. гос. ун-т путей сообщ. имп. Александра I.— СПб.: ПГУПС, 2017.— 117 с.

Альбеков А. У. и др. Логистика: Учебник; под общ. ред. А. У. Альбекова; Рост. гос. экон. ун-т (РИНХ).— М.: РИОР, 2017.— 402 с.

Вакуленко С. П. и др. Московский транспортный узел: перспективы развития: Монография / Рос. акад. наук. МГУПС (МИИТ); под ред. С. П. Вакуленко.— Ч. 2: Размещение пассажирских остановочных пунктов на железнодорожных линиях.— М.: 2017.— 93 с.

Вереина Л. И. Техническая механика: Учебник.— 13-е изд., стер.— М.: Академия.— 2017.— 220 с.

Виноградов В. М. Организация производства технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей: Учеб. пособие / В. М. Виноградов, И. В. Бухтеева, В. Н. Редин.— 6-е изд., стер.— М.: Академия, 2017.— 269 с.

Владимирский Б. М. Космическая погода и биосфера. История исследований и современность.— М.: URSS.— 2017.— 111 с.

Гореликов К. А. Антикризисное управление: Учебник.— М.: Дашков и К.— 2017.— 214 с.

Гуцуляк В. Н. Российское и международное морское право (публичное и частное); Центр мор. права, Ин-т гос-ва и права Рос. акад. наук.— М.: Граница, 2017.— 446 с.

Демин С. С., Джамал Е. В. Экономика, организация и управление предприятием: Учеб. пособие / Моск. авиац. ин-т (нац. исслед. ун-т), Ин-т менеджмента, экономики и соц. технологий.— М.: Перо, 2017.— 312 с.

Зубрилов С. П., Потапов И. О., Яковлев А. В. Комплексное использование водных объектов: Учеб. пособие.— СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2017.— 135 с.

Иванов А. Ю., Комашинский В. И., Малыгин И. Г. Мобильные распределенные базы данных интеллектуальной мультимедальной транспортной системы.— СПб.: Ин-т проблем трансп. им. Н. С. Соломенко Рос. акад. наук, 2017.— 166 с.

Исаев С. А., Столяров О. Г., Торопов В. А. Испытания систем бортового оборудования летательных аппаратов: Монография / Мос. авиац. ин-т (нац. исслед. ун-т), Фил. «Взлет», Ахтубинск.— Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2017.— 362 с.

Калабухова Е. П. Основы теории эффективности воздушной стрельбы и бомбометания:

Учеб. пособие; Моск. авиац. ин-т (нац. исслед. ун-т).— М.: Эдитус, 2017.— 363 с.

Качурина Т. А. Метрология и стандартизация: Учебник, 5-е изд., стер.— М.: Академия, 2017.— 128 с.

Кочергин В. И., Абрамов А. Д. Транспортные средства на специальном шасси: Учеб. пособие / Отв. ред. А. Ю. Кирпичников.— Новосибирск: СГУПС, 2017.— 149 с.

Крянев Ю. В., Моторина Л. Е., Павлова Т. П. Философия и методология науки, техники, технологии. Аэрокосмический контекст.— М.: Изд-во МАИ, 2017.— 159 с.

Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Галин А. В. Прогнозирование развития морских портов на основе синергетических законов развития сложных взаимодействующих систем: Монография.— СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2017.— 175 с.

Маилян Д. Р. и др. Проектирование зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения: Учеб. пособие — Ростов н/Д: Феникс, 2017.— 412 с.

Махин В. П., Кудряшов В. А., Иванов И. Н. Морские термины и определения. Краткий словарь морских терминов / Под ред. С. Ю. Развозова; 3-е изд., доп.— СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2017.— 108 с.

Михайлова Э. А., Сбитнева А. Н. Управление производственными рисками предприятия машиностроения: Монография.— Рыбинск: РГТУ им. П. А. Соловьева, 2017.— 141 с.

Мурашев С. В. Разработка технических конструкций и методов очистки и обеззараживания сточных вод на морских объектах в Арктике: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— СПб., 2017.— 26 с.

Овчаренко В. Н. Идентификация аэродинамических воздушных судов по полётным данным.— М.: Изд-во МАИ, 2017.— 182 с.

Родичев Ю. А. Нормативная база и стандарты в области информационной безопасности: Учеб. пособие.— СПб.: Питер, 2017.— 254 с.

Сапронов Ю. Г. Безопасность жизнедеятельности: Учебник. 5-е изд., стер.— М.: Академия, 2017.— 334 с.

Солопов В. И. Информационные технологии в переводе текстов авиационной и ракетно-космической тематики: Учеб. пособие.— М.: Изд-во МАИ, 2017.— 163 с.

Шанявский А. А., Банов М. Д., Беклемишев Н. Н. Диагностика усталости авиационных конструкций акустической эмиссией.— М.: Изд-во МАИ, 2017.— 188 с.

Шепелин Г. И. Страхование на внутреннем водном транспорте: Практикум.— М.: МГАВТ, Ч. 1.— 2017.— 152 с.

**Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●**





## NEWLY PUBLISHED BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Ablaev, V. V., Golubev, A. A. The devices of the signal system. Technology of service: Study guide [*Ustrojstva SCB. Tehnologija obsluzhivaniya: ucheb. posobie*]. Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. St. Petersburg, PGUPS publ., 2017, 117 p.

Albekov, A. U. [et al]. Logistics: Textbook [*Logistika: uchebnik*]. Ed. by A. U. Albekov; Rostov State Economics University (RINH). Moscow, RIOR publ., 2017, 402 p.

Demin, S. S., Dzhamaï, E. V. Economics, Organization and Management of Enterprise: Study guide / Moscow Aviation Institute (National Research University), Institute of Management, Economics and Social Technologies [*Ekonomika, organizatsiya i upravlenie predpriyatiem: ucheb. posobie / Mosk. aviac. in-t (nac. issled. un-t), In-t menezhmenta, ekonomiki i soc. tehnologij*]. Moscow, Pero publ., 2017, 312 p.

Gorelikov, K. A. Anti-crisis management: Textbook [*Antikrizisnoe upravlenie: uchebnik*]. Moscow, Dashkov i K° publ., 2017, 214 p.

Gutsulyak, V. N. Russian and international maritime law (public and private); The center of maritime law, Institute of State and Law of RAS [*Rossiyskoe i mezhdunarodnoe morskoe pravo (publichnoe i chastnoe); Centr mor. prava, In-t gos-va i prava Ros. akad. Nauk*]. Moscow, Granitsa publ., 2017, 446 p.

Isaev, S. A., Stolyarov, O. G., Toropov, V. A. Testing of systems of on-board equipment of aircraft: Monograph / Moscow Aviation Institute (National Research University), Branch «Vzlet», Akhtubinsk [*Ispytaniya sistem bortovogo oborudovaniya letatel'nyh apparatov: monografija / Mos. aviac. in-t (nac. issled. un-t), Fil. «Vzlet», g. Akhtubinsk*]. Volgograd, Publishing house of VolSU, 2017, 362 p.

Ivanov, A. Yu., Komashinsky, V. I., Malygin, I. G. Mobile distributed databases of an intelligent multimodal transport system [*Mobil'nye raspredelennye bazy dannyh intellektual'noj mul'timodal'noj transportnoj sistemy*]. St. Petersburg, Institute of Problems of Transport n.a. N. S. Solomenko RAS, 2017, 166 p.

Kachurina, T. A. Metrology and standardization: Textbook [*Metrologiya i standartizatsiya: uchebnik*], 5<sup>th</sup> ed., ster. Moscow, Akademia publ., 2017, 128 p.

Kalabukhova, E. P. Fundamentals of the theory of effectiveness of air firing and bombing: Study guide; Moscow Aviation Institute (National Research University) [*Osnovy teorii effektivnosti vozduшной strel'by i bombometaniya: ucheb. posobie; Mosk. aviac. in-t (nac. issled. un-t)*]. Moscow, Editus publ., 2017, 363 p.

Kochergin, V. I., Abramov, A. D. Vehicles on a special chassis: Educational guide [*Transportnye sredstva na special'nom shassi: ucheb. posobie*]. Ed. by A. Yu. Kirpichnikov. Novosibirsk, SGUPS publ., 2017, 149 p.

Kryanev, Yu. V., Motorina, L. E., Pavlova, T. P. Philosophy and methodology of science, technology, technology. Aerospace context [*Filosofiya i metodologiya nauki, tehniki, tehnologii. Aerokosmicheskij kontekst*]. Moscow, Publishing house of MAI, 2017, 159 p.

Kuznetsov, A. L., Kirichenko, A. V., Galin, A. V. Forecasting the development of seaports on the basis of synergetic laws of development of complex interacting systems: Monograph [*Prognozirovaniye razvitiya morskikh portov na osnove sinergeticheskikh zakonov razvitiya slozhnykh vzaimodeystvuyushchikh sistem: monografija*]. St. Petersburg, Izd-vo GUMRF im. S. O. Makarova, 2017, 175 p.

Mailyan, D. R. [et al]. Designing of buildings and structures for industrial and civil purposes: Study guide [*Proektirovaniye zdaniy i sooruzheniy promyshlennogo i grazhdanskogo naznacheniya: ucheb. posobie*]. Rostov n/D, Feniks publ., 2017, 412 p.

Makhin, V. P., Kudryashov, V. A., Ivanov, I. N. Marine terms and definitions. Brief Dictionary of Marine Terms: Study guide [*Morskie terminy i opredeleniya. Kratkiy slovar' morskikh terminov: ucheb. posobie*]. Ed. by S. Yu. Razvozov; 3<sup>rd</sup> ed., enl. St. Petersburg, GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2017, 108 p.

Mikhailova, E. A., Sbitneva, A. N. Management of industrial risks of a machine building enterprise: Monograph [*Upravlenie proizvodstvennymi riskami predpriyatija mashinostroeniya: monografija*]. Rybinsk, RGATU im. P. A. Solovyova, 2017, 141 p.

Murashev, S. V. Development of technical designs and methods for wastewater treatment and disinfection at offshore facilities in the Arctic. Abstract of Ph.D. (Eng.) thesis [*Razrabotka tehnichestkikh konstrukcij i metodov ochistki i obezrazazhivaniya stochnykh vod na morskikh ob'ektakh v Arktike: avtoref. dis... kand. tehn. nauk*]. St. Petersburg, 2017, 26 p.

Ovcharenko, V. N. Identification of aerodynamic aircraft by flight data [*Identifikatsiya ajerodinamicheskikh vozdušnykh sudov po poletnym dannym*]. Moscow, Publishing house of MAI, 2017, 182 p.

Rodichev, Yu. A. Normative base and standards in the field of information security: Educational guide [*Normativnaya baza i standarty v oblasti informacionnoj bezopasnosti: ucheb. posobie*]. St. Petersburg, Piter publ., 2017, 254 p.

Sapronov, Yu. G. Safety of vital activity: Textbook, 5<sup>th</sup> ed., ster. [*Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: uchebnik, 5-e izd., ster.*]. Moscow, Akademia publ., 2017, 334 p.

Shanyavsky, A. A., Banov, M. D., Beklemishev, N. N. Diagnostics of fatigue of aviation structures by acoustic emission [*Diagnostika ustalosti aviacionnykh konstrukcij akusticheskoy emissii*]. Moscow, Publishing house of MAI, 2017, 188 p.

Shepelin, G. I. Insurance in inland water transport: Practicum [*Strahovanie na vnutrennem vodnom transporte: praktikum*]. Moscow, MGAVT, Ch. 1. 2017, 152 p.

Solopov, V. I. Information technologies in the translation of texts of aviation and rocket-space topics: Study guide [*Informacionnye tehnologii v perevode tekstov aviacionnoj i raketno-kosmicheskoy tematiki: ucheb. posobie*]. Moscow, MAI publ., 2017, 163 p.

Vakulenko, S. P. [et al]. Moscow transport hub: development prospects: Monograph [*Moskovskij transportnyj uzel: perspektivy razvitiya: monografija*]. RAS, MGUPS (MIIT); ed. by S. P. Vakulenko. Part 2. Arrangement of passenger stop stations on railway lines [*Chast' 2. Razmeshhenie passazhirskih ostanovochnykh punktov na zheleznodorozhnykh liniyakh*]. 2017, 93 p.

Vereina, L. I. Technical mechanics: Textbook [*Tehnichestkaja mehanika: uchebnik*]. 13<sup>th</sup> ed., str. Moscow, Akademia publ., 2017, 220 p.

Vinogradov, V. M. Organization of production of maintenance and current repair of cars: Educational guide [*Organizatsiya proizvodstva tehnichestkogo obsluzhivaniya i tekushhego remonta avtomobilej: ucheb. posobie*]. V. M. Vinogradov, I. V. Bukhteeva, V. N. Redin. 6<sup>th</sup> ed., ster. Moscow, Akademia publ., 2017, 269 p.

Vladimirov, B. M. Space weather and the biosphere. History of research and modernity [*Kosmicheskaja pogoda i biosfera. Istorija issledovanij i sovremennost'*]. Moscow, URSS publ., 2017, 111 p.

Zubrilov, S. P., Potapov, I. O., Yakovlev, A. V. Complex use of water objects: Study guide [*Kompleksnoe ispol'zovanie vodnykh ob'ektov: ucheb. posobie*]. St. Petersburg, Izd-vo GUMRF im. S. O. Makarova, 2017, 135 p.

List compiled by N. OLEYNIK ●