

# ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ  
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

4<sup>2017</sup>  
(71)

Издается  
Российским университетом  
транспорта (МИИТ).  
Учрежден МИИТ  
в 2003 году

#### Редакционный совет:

**Б. А. Лёвин** – доктор технических наук, профессор РУТ – председатель совета  
**Б. В. Гусев** – член-корреспондент РАН – заместитель председателя совета  
**И. С. Беседин** – кандидат технических наук  
**Г. В. Бубнова** – доктор экономических наук, профессор РУТ  
**А. К. Голович** – доктор технических наук, доцент Белорусского государственного университета транспорта  
**Ф. С. Гоманков** – кандидат технических наук, профессор РУТ  
**А. А. Горбунов** – доктор политических наук, профессор РУТ  
**Н. А. Духно** – доктор юридических наук, профессор РУТ  
**Д. Г. Евсеев** – доктор технических наук, профессор РУТ  
**Л. А. Карпов** – кандидат технических наук, профессор РУТ  
**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 РУТ  
**Д. А. Мачерет** – доктор экономических наук, профессор РУТ, 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 РУТ  
**Тран Дак Су** – доктор технических наук, профессор Университета транспорта и коммуникаций (Ханой, Вьетнам)

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- Владимир ГРИДИН, Виктор ДОЕНИН, Владимир ПАНИЩЕВ*  
О построении интеллектуальной подсистемы анализа параметров сортировочного узла ..... 6
- Сергей ОГОРОДНОВ, Сергей МАЛЕЕВ*  
Эксперимент и теория: распределения характеристик движения автомобиля ..... 20
- Виктор ИВНИЦКИЙ, Андрей МАКАРЕНКО*  
Решение транспортной задачи методом последовательного уменьшения её размерности ..... 34
- Евгений КОРОЛЬКОВ, Анастасия ИВАНОВА*  
Формула вычисления возвращающей силы для колёс с криволинейным профилем ..... 42
- Виктор АЛЕКСЕЕВ*  
Скрытые каналы передачи информации ..... 50

### НАУКА И ТЕХНИКА

- Илья ДЕНИСОВ, Алексей СМИРНОВ*  
Функции надёжности электромеханических усилителей рулевого управления ..... 58
- Валерий КОССОВ, Олег КРАСНОВ, Андрей ПРОТОПОПОВ*  
Напряжённое состояние земляного полотна при воздействии вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс ..... 70
- Олег ГОНЧАРОВ*  
Коэффициент технической эффективности АТС: моделирование и расчёт ..... 92
- Иван УЛАНОВ*  
Оценка осадки земляного полотна на участках слабых оснований ..... 102

### ЭКОНОМИКА

- Олег СОЛЯКОВ, Олег ИЗОТОВ, Владимир ЯКУНЧИКОВ*  
Особенности развития национальных морских портов ..... 110

## РЕДКОЛЛЕГИЯ

**Б. А. ЛЁВИН** –  
главный редактор

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

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

Над номером  
работали:

**А. К. ШЕЛИХОВА** –  
руководитель редакции

**И. А. ГЛАЗОВ** –  
редактор

**Н. К. ОЛЕЙНИК** –  
технический редактор

**М. В. МАСЛОВА** –  
английский перевод

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

Журнал выходит 6 раз в год.  
Цена свободная.

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

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

Отпечатано с оригинал-макета:  
ИП Мочалов С. В.  
162614, Вологодская область,  
г. Череповец,  
ул. Сергея Перца, 3.  
Тираж 1000 экз.

Ознакомиться с содержанием  
вышедших номеров можно  
на сайте научной электронной  
библиотеки eLIBRARY.RU, а с условиями  
публикаций в журналах – на web-  
сайте Российского университета  
транспорта (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

*Александр ВАЛЕНТЕЙЧИК, Владимир БЕЛКОНСКИЙ*

О совершенствовании планирования запасов  
материально-технических ресурсов . . . . . 122

*Алексей ТЯПУХИН, Евгения ТАРАСЕНКО*

Преобразуемые потоки и ценности в цепях поставок . . . . . 128

## ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*Евгений МАСЛОВ*

Системный анализ и моделирование транспортных  
и пассажирских потоков . . . . . 146

*Тахир ДАВЛЕТШИН*

ВСМ-2 и модернизация транспортно-логистических  
систем мегаполисов . . . . . 152

*Николай КАРПУЩЕНКО, Антон БЫСТРОВ*

Основы построения участковой системы  
текущего содержания пути . . . . . 164

*Дмитрий ЛЕВИН*

Организация вагонопотоков в рыночных условиях . . . . . 178

## БЕЗОПАСНОСТЬ

*Анатолий ГУСЕВ, Сергей ГУСЕВ*

Оптимальное расположение спасательной службы . . . . . 194

*Ирина ВОЛЧАТОВА*

Аварийность и жертвы дорожного  
движения в крупном городе . . . . . 202

*Максим ЖЕЛЕЗНОВ, Валентин ПОНОМАРЁВ*

Аэрокосмические методы мониторинга  
чрезвычайных ситуаций . . . . . 214

*Евгений ТИТОВ, Сергей ХАРИТОНОВ*

Рациональный выбор параметров виброзащиты  
пути метрополитена . . . . . 228

## КОЛЕСО ИСТОРИИ

*Евгений КУРБАЦКИЙ*

Воспоминания бывшего кочегара паровоза . . . . . 238

Пресс-архив . . . . . 249

## КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

*Геннадий ЛИТВИНЕНКО*

Трансграничная инфраструктура . . . . . 254

Авторефераты диссертаций . . . . . 257

Новые книги о транспорте . . . . . 259

Экспресс-информация . . . . . 49, 236



# World of Transport and Transportation

•THEORY  
•HISTORY  
•ENGINEERING  
OF THE FUTURE

Vol. 15<sup>2017</sup>  
Iss. 4

The journal is published  
by Russian University  
of Transport.

Founded in 2003 by MIIT

**Editorial council:**

**Boris A. Lyovin**, D.Sc. (Eng), professor  
of Russian University of Transport,  
chairman

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

**Galina V. Bubnova**, D.Sc. (Econ),  
professor of Russian University  
of Transport

**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 Russian University  
of Transport

**Alexander A. Gorbunov**, D.Sc.  
(Pol), professor of Russian University  
of Transport

**Nickolay A. Duhno**, LL.D., professor  
of Russian University of Transport

**Dmitry G. Evseev**, D.Sc. (Eng), professor  
of Russian University of Transport

**Leonid A. Karpov**, Ph.D. (Eng), professor  
of Russian University of Transport

**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 Russian University of Transport

**Dmitry A. Macheret**, D.Sc. (Econ),  
professor of Russian University  
of Transport, 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 Russian University  
of Transport

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

**THEORY**

*Vladimir N. GRIDIN, Viktor V. DOENIN, Vladimir S. PANISHCHEV*  
On Construction of an Intelligent Subsystem  
for Analyzing the Parameters of a Marshalling Hub ..... 6

*Sergey M. OGORODNOV, Sergey I. MALEEV*  
Experiment and Theory:  
Distribution of Characteristics of Car Motion ..... 20

*Victor A. IVNITSKY, Andrey A. MAKARENKO*  
Solution of the Transport Problem by the Method  
of Successively Decreasing its Dimension ..... 34

*Evgeny P. KOROLKOV, Anastasia A. IVANOVA*  
Formula for Calculating the Restoring Force for Wheels  
with a Curvilinear Profile ..... 42

*Viktor M. ALEKSEEV*  
Covert Channels of Information Transfer ..... 50

**SCIENCE AND ENGINEERING**

*Ilya V. DENISOV, Alexey A. SMIRNOV*  
Reliability Functions of Electromechanical Power Steering ..... 58

*Valery S. KOSSOV, Oleg G. KRASNOV, Andrey L. PROTOPOPOV*  
Study of Roadbed Stress State from the Impact of Freight  
Cars with Axle Load up to 30 tnf ..... 70

*Oleg Yu. GONCHAROV*  
Coefficient of Motor Vehicle Technical Efficiency:  
Modeling and Calculation ..... 92

*Ivan S. ULANOV*  
Estimation of Foundation Settlement on Weak Base Sections .... 102

**ECONOMICS**

*Oleg V. SOLIAKOV, Oleg A. IZOTOV,  
Vladimir V. YAKUNCHIKOV*  
Features of Development of National Seaports ..... 110

*Alexander G. VALENTEICHNIK, Vladimir V. BELKONSKY*  
On Improvement of Planning of Stocks of Material  
and Technical Resources ..... 122

*Alexey P. TYAPUKHIN, Evgenia A. TARASENKO*  
Convertible Flows and Values in Supply Chains ..... 128

#### Editorial board

**Boris A. Lyovin**, editor-in-chief

**Evgeny Yu. Zarechkin**, deputy editor-in-chief

**Leonid A. Baranov**

**Vladimir N. Koturanov**

#### Editorial staff

**Alla K. Shelikhova**, head of editorial office

**Ivan A. Glazov**, editor

**Natalia C. Oleynik**, editorial secretary

**Maria V. Maslova**, translator

Published quarterly since 2003.

Bimonthly since 2013.

71 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 Russian University of Transport (RUT – MIIT) 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: Russian University of Transport (RUT – 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

*Evgeny S. MASLOV*

System Analysis and Modeling of Transport and Passenger Flows . . . . 146

*Takhir G. DAVLETSHIN*

HSR-2 and Modernization of Transport and Logistics Systems of Megacities . . . . . 152

*Nikolai I. KARPUSHCHENKO, Anton V. BYSTROV*

Basics of Building a Sectional System of Track Current Maintenance . . . . . 164

*Dmitry Yu. LEVIN*

Organization of Car Flows in Market Conditions . . . . . 178

## SAFETY AND SECURITY

*Anatoly I. GUSEV, Sergey A. GUSEV*

Optimal Location of Rescue Service . . . . . 194

*Irina V. VOLCHATOVA*

Accident Rate and Victims of Road Traffic in a Big City . . . . . 202

*Maxim M. ZHELEZNOV, Valentine M. PONOMAREV*

Aerospace Emergency Monitoring Methods . . . . . 214

*Evgeny Yu. TITOV, Sergey S. KHARITONOV*

Rational Choice of Vibration Protection Parameters of the Metro Track . . . . . 228

## HISTORY WHEEL

*Evgeny N. KURBATSKY*

Memories of a Former Steam Locomotive Fireman . . . . . 238

Press Archives . . . . . 249

## BIBLIO-DIRECTIONS

*Gennady I. LITVINENKO*

Cross-Border Infrastructure . . . . . 254

Selected Abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses . . . . . 257

Newly Published Books on Transport and Transportation . . . . . 259

Express Information . . . . . 49, 236

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



**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ 6**

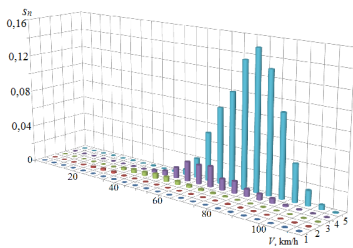
*Мониторинг, прогноз, нейронная сеть.*

**МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ 20**

*Распределение характеристик скорости и пробега автомобиля.*

**ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА 34**

*Способ сократить количество итераций.*



**ВОЗВРАЩЕНИЕ СИЛЫ 42**

*Криволинейный профиль даёт преимущество.*

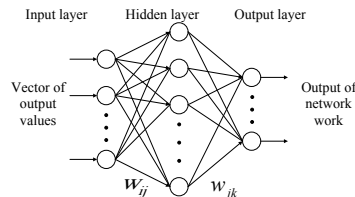
**КОНКУРЕНЦИЯ 50**

*Природа рынка ищет подходящую среду.*

**ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY**

**INTELLIGENT SYSTEMS 6**

*Monitoring, prognostics, neural network.*



**MODEL OF MOTION 20**

*Distribution of vehicle's velocity and run features.*

**TRANSPORTATION PROBLEM 34**

*A tool to reduce number of iterations.*

**RETURN OF FORCE 42**

*Curvilinear profile as an advantage.*

**COMPETITION 50**

*The market nature is in search of relevant environment.*



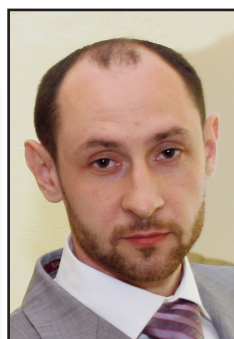


# О построении интеллектуальной подсистемы анализа параметров сортировочного узла



**Владимир ГРИДИН**  
Vladimir N. GRIDIN

**Виктор ДОЕНИН**  
Viktor V. DOENIN



**Владимир ПАНИЩЕВ**  
Vladimir S. PANISHCHEV

*Гридин Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, научный руководитель ЦИТП РАН, Москва, Россия.*

*Доенин Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Панищев Владимир Славиевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ЦИТП РАН, Москва, Россия.*

## On Construction of an Intelligent Subsystem for Analyzing the Parameters of a Marshalling Hub

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

**В работе рассмотрены вопросы непрерывного мониторинга обстановки на сортировочной станции и выявления возможности возникновения опасных ситуаций. Предлагается подход к построению автоматизированной интеллектуальной подсистемы анализа и своевременного прогнозирования критической загруженности железнодорожных сортировочных узлов. Предложено решение задачи с помощью сетевых коммуникационных технологий за счёт использования информации от автоматизированных систем сбора данных и нейросетевой подсистемы поддержки принятия решений.**

**Ключевые слова:** транспорт, интеллектуальная система, системный анализ, прогнозирование критических ситуаций, имитационное моделирование, сортировочный узел, нейронная сеть, информация, коммуникационные технологии.

**А**ктуальные задачи мониторинга и перспективы развития железнодорожного транспорта требуют использования современных методов теории транспортных систем, а также создания новых инструментальных средств и систем автоматизированного проектирования. В частности, это касается непрерывного мониторинга обстановки на сортировочной станции, своевременного оповещения о возможных коллизиях и повышения эффективности погрузочно-разгрузочных операций.

Основные проблемы в области логистики на сортировочной станции, для решения которых применяется имитационное моделирование, заключаются в увеличении пропускной способности путей, поиске перспективных вариантов, обеспечивающих рациональное использование ресурсов, минимальный уровень издержек, снижение вероятности аварийных ситуаций на путях и станциях, оценку загрузки сортировочного узла.

Для подобных целей широко используются проблемно-ориентированные имита-

ционные модели, разработанные, как правило, в среде систем профильного типа [1–4]. При разработке имитационных моделей реальные транспортные системы представляются в виде систем массового обслуживания. Трудоёмкость решения задачи управления при этом заключается в том, что распределение ресурсов между множественными компонентами транспортной системы осуществляется в условиях меняющихся приоритетов и интенсивного взаимодействия процессов, которые крайне сложно сформулировать на языке формализованных правил и совокупностей действий, а значит и сложно или в некоторых случаях нереализуемо построить адекватную ситуации математическую модель. В связи с этим, собственно, решение такого рода задач и осуществляется на основе построения имитационной модели, учитывающей вероятностные характеристики происходящих процессов.

## 1.

Построение имитационной модели сортировочного узла позволяет проводить системное исследование и оценку проектно-технологических решений для существующих и проектируемых узлов, даёт возможность отслеживать динамику движения ресурсов, их эффективность, выявлять «узкие места», особенности процессов функционирования станции в различных условиях (и при критических нагрузках), моделируя действия «что если», в том числе на основе элементов нечёткой логики и математического аппарата нейронных сетей.

Проведённый анализ показал, что существующие имитационные модели [5–11] требуют предварительной настройки, ручного ввода данных и значительных затрат времени. Создание эффективной имитационной модели сортировочного узла предполагает адекватное описание специфики технологических процессов во всех подсистемах и их системного взаимодействия. В ходе моделирования используются уравнения динамики изменения количества вагонов для путей сортировочного парка, известные величины групп вагонов на путях, заранее заданные пропускные способности линий для расчётной пространственно-временной сети и т.п., однако в режиме реального времени эта инфор-

мация не всегда доступна и соответственно не позволяет строить прогнозы загрузки узла.

Для построения модели, максимально приближенной к работающей сортировочной станции, предлагается в качестве входных данных использовать информацию автоматизированной системы управления о месте нахождения вагонов, очередности формирования составов, а также сведения от системы технического зрения, которая автоматически считывает номера, количество прибывающих вагонов, формирует ответ о типе грузов и типе вагонов.

Известны примеры разработки математической модели извлечения данных о грузопассажирских перевозках посредством отбора поступающих с распределённых территориально источников изображений, которая позволяет описать, моделировать процессы их анализа и распознавания с целью измерения характеристик и классификации объектов. Созданы и алгоритмы обработки изображений в программируемых логических интегральных схемах и специализированных процессорах в условиях ограниченных вычислительных ресурсов [12].

Таким образом, имитационное моделирование работы сортировочной станции, с одной стороны, может быть использовано для оптимизации процессов функционирования с учётом выбранных целевых показателей, а с другой — для отработки различных нештатных сценариев и режимов критической загруженности. Однако применение данного подхода для прогнозирования критической загруженности железнодорожного сортировочного узла в режиме реального времени не всегда удобно и возможно, особенно если это приходится осуществлять в рамках глобальной системы регулирования транспортных потоков. В связи с этим возникает потребность в построении автоматизированной подсистемы мониторинга значений параметров, характеризующих текущую загруженность и режим функционирования сортировочного узла, а также прогнозирования и заблаговременного оповещения о возможности возникновения критической ситуации, в том числе с учётом планируемого поступления грузовых составов.



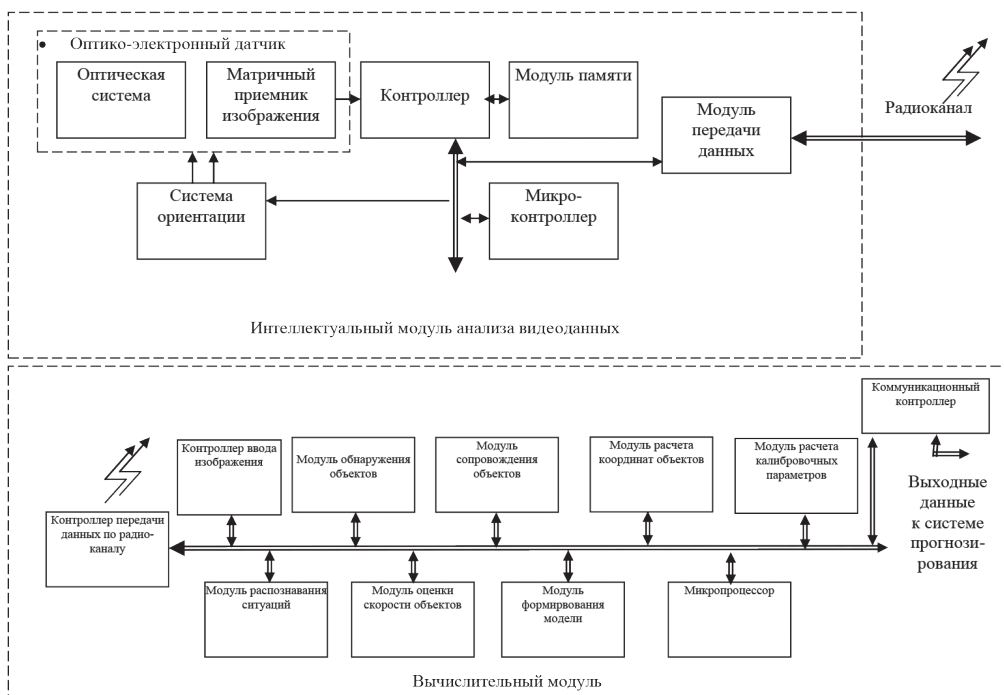


Рис. 1. Структурно-функциональная организация системы технического зрения.

## II.

В качестве математического аппарата интеллектуальной подсистемы анализа и прогнозирования предлагается совместное использование методов логического вывода, основным представителем которых являются методы нечёткой логики и дерева решений, а также нейросетевые методы обработки информации. Это обусловлено большим числом разнотипных параметров, которые способны повлиять на пропускную способность железнодорожного сортировочного узла, а также свойством нейронных сетей, позволяющим моделировать нелинейные процессы, работать с зашумлёнными данными, адаптироваться к условиям функционирования, обобщать и извлекать существенные особенности из поступающей информации. Ключевую роль также играют вопросы автоматизации процесса принятия решений и прогнозирования.

Источником получения визуальных данных о текущем расположении подвижного состава и грузов планируется сделать сетевые (IP) видеокamеры, размещённые в ключевых узлах сортировочной станции и объединённые в единую сеть. Для объединения данных от различных видеокamер

используются специально разработанные алгоритмы формирования единого рабочего пространства, включающие алгоритмы калибровки и вычисления позиций каждого вагона в трёхмерном пространстве на основе анализа их перемещения по железнодорожным путям при наблюдении с различных IP видеокamер. Сформирована единая рабочая сцена, содержащая наблюдаемые с различных источников визуальных данных объекты подвижного состава, грузы и т.д. Далее для каждого объекта вычисляется его местоположение в трёхмерном пространстве с привязкой к некоторым, заранее заданным реперным стационарным объектам на сортировочной станции. При возможности производится на основе априорных табличных данных оценка массы вагона, груза на платформе и иных характеристик.

Рассмотрим структурно-функциональную организацию системы технического зрения, обеспечивающую получение визуальных данных и анализ ситуации (рис. 1).

Система технического зрения состоит из нескольких интеллектуальных модулей анализа видеоданных и вычислительного модуля. Интеллектуальные модули располагают территориально таким образом,



чтобы они обеспечивали одновременное наблюдение и получение видеоданных на ключевых узлах сортировочной станции. Каждый интеллектуальный модуль отвечает за анализ только своего участка сортировочной станции и, предварительно обработав, передаёт полученную информацию в вычислительный модуль. Вычислительный модуль обеспечивает обобщение информации обо всех интеллектуальных модулях и передачу полученных качественных и количественных характеристик о текущем состоянии и процессе формирования/расформирования составов.

Интеллектуальный модуль представляет собой конструктивно и функционально автономное устройство, получающее команды управления от вычислительного модуля, обеспечивающие согласно полученным командам вычисление параметров местоположения подвижных железнодорожных объектов и их характеристик, а также обнаружение критических ситуаций. Принцип функционирования каждого интеллектуального модуля состоит в следующем: оптико-электронный датчик, ориентированный при помощи системы ориентации на заданный участок сортировочной станции, непрерывно получает изображения, поступающие через контроллер в модуль памяти. Микроконтроллер считывает каждый кадр изображения и производит необходимые для вычисления параметров железнодорожных подвижных объектов действия над изображениями: обнаружение объектов, предварительное распознавание, отнесение их к определённому классу и вычисление параметров. Данные через модуль передачи и радиоканал на частоте 2,4 ГГц переправляются в вычислительный модуль.

Вычислительный модуль после получения очередных данных от всех интеллектуальных модулей производит комплексный анализ ситуации на сортировочной станции, а также непрерывно в реальном времени передаёт результаты анализа и вычисленные параметры подвижных объектов (вагонов, платформ, маневровых локомотивов) в процессе сортировки состава в автоматизированную интеллектуальную подсистему анализа и прогнозирования загруженности сортировочной станции, которая, имея задание на входе о форми-

ровании того или иного состава, выдаёт на своём выходе рекомендации по перемещению вагонов для формирования целевого состава с учётом выбранного критерия оптимальности.

В общем случае структура потоков движения транспортного состава на сортировочной станции представляется в виде графа  $G$  [5, 13].

На пропускную способность станций существенно влияет перерабатывающая способность сортировочных горок, представляющая собой обработку наиболее вероятного числа поездов (вагонов) за сутки при оптимальном использовании путевого развития и технического оснащения. На перерабатывающую способность сортировочной горки, кроме технических и технологических факторов, также оказывают влияние параметры состава, подлежащего расформированию, в частности вес вагонов, характеристики груза, число отцепов в составе, число замыкающих групп и т.д. Не менее важен учёт погодных условий, которые могут оказать существенное влияние на работу станции.

Движение вагонов после расцепки на сортировочной горке реализуется в соответствии со следующими параметрами [5, 13]:

- матрица пропускной способности  $C = C[c_{ij}]$ , где  $c_{ij}$  – пропускные способности ветвей графа  $G$ , соответствующих путям, соединяющим узел  $i$  с узлом  $j$ ;

- матрица расстояний между узлами, вершинами графа  $G L = [l_{ij}]$ ;

- стоимостная матрица  $Q = [q_{ij}]$ , где  $q_{ij}$  определяет стоимость единицы пути движения сцепки вагонов по ветви  $ij$ ;

- входная матрица назначений  $Z_i = [z_{ki}(t)]$ , элементы которой соответствуют плану формирования поездов (количество вагонов, поступающих на входной узел в момент времени  $t$ );

- выходная матрица назначений  $Y_i = [y_{ki}(t)]$ , элементы которой соответствуют прогнозируемой загрузке путей сортировочного узла (количество вагонов, находящихся на выходных путях в момент времени  $t$ ).

Минимизация затрат на формирование состава обеспечивается минимизацией функционала

$$P = \sum \sum P_{ij} = \sum \sum (k_1 \cdot l_{ij} + k_2 \cdot g_{ij} + k_3 \cdot t_{cp}),$$



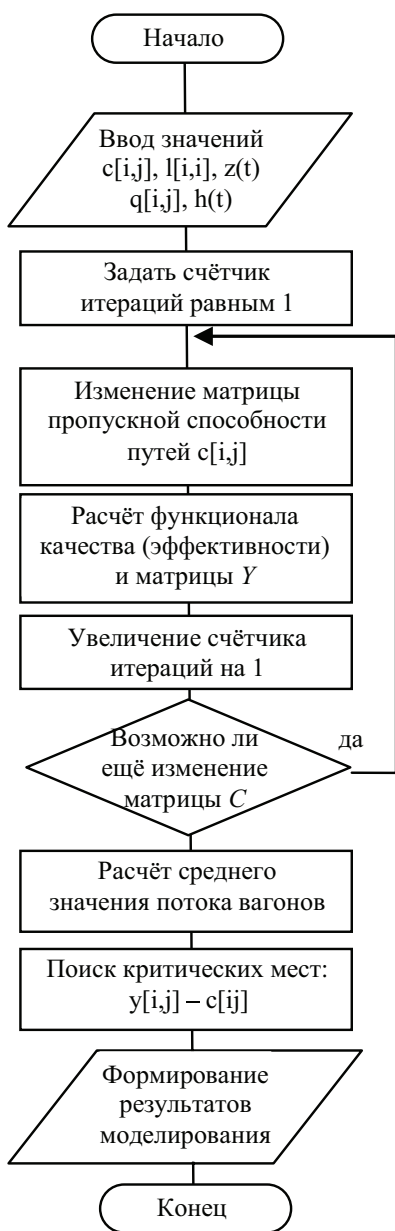


Рис. 2. Обобщённый алгоритм функционирования системы прогнозирования.

где  $k_i$  – весовые коэффициенты, определяющие влияние расстояния, времени, стоимости движения по ветвям;  $t_{cp}$  – среднее значение времени, затраченное составами на формирование/расформирование в узле.

При этом, с одной стороны, необходимо обеспечить максимальный поток между узлами, а с другой стороны, иметь минимум затрат. Поиск соотношений величин реализуется с использованием подходов [13–16].

Процесс формирования и расформирования составов описывается с помощью распределения вероятностей. Функции распределения для каждого  $i$ -го узла сети задаются матрицей  $H_i = [h_{ki}(t)]$ , где каждый элемент есть функция распределения времени на формирование-расформирование в  $i$ -ом узле для состава, пришедшего с узла  $k$  и следующего в узел  $l$ . В разрабатываемой системе эти функции рассчитываются с помощью статистического анализа и методов нейросетевой обработки информации [17].

Матрица пропускной способности  $C = C[c_{ij}]$  заполняется на основе статистического подхода, анализа пропускной способности за несколько лет с учётом параметров состава и погодных условий, для чего необходима прогностическая нейронная сеть.

Матрица расстояний  $L = [l_{ij}]$  является заранее известной величиной и определяется существующей структурой расположения путей и стрелок на сортировочной горке.

Стоимостная матрица  $Q = [q_{ij}]$  строится на основе автоматизированного сбора информации о задержках на станции локомотивов и локомотивных бригад в режиме реального времени. Кроме того, предлагается учитывать прогнозирование, анализ пропускной способности за несколько лет, для чего также нужна нейронная сеть.

Входная матрица назначений в  $Z_i = [z_{ki}(t)]$  также известна и определяется планом работы сортировочной горки.

Выходная матрица назначений  $Y_i = [y_{ki}(t)]$  рассчитывается с использованием нейросетевого подхода.

Обобщённый алгоритм функционирования системы прогнозирования представлен на рис. 2.

### III.

В качестве математического аппарата автоматизированной интеллектуальной подсистемы анализа загруженности сортировочной станции использован нейросетевой подход. Он подразумевает необходимость выполнения следующих основных этапов [17]:

1. Предварительная обработка данных, выявление характерных особенностей, наиболее значимых признаков и их сочетаний.

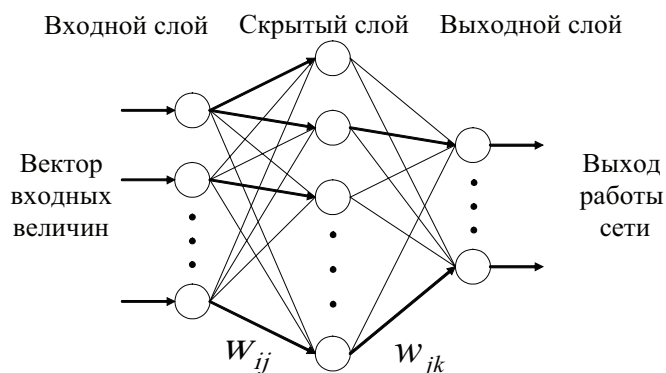


Рис. 3. Структура перцептрона с двумя слоями нейронов.

2. Подготовка исходных данных, заключающаяся в их кодировании и нормировке для увеличения информативности примеров и приведения к виду, который доступен для обработки сетью.

3. Выбор нейросетевой архитектуры (парадигмы) и таких её ключевых параметров, как количество слоёв и число нейронов в каждом из них.

4. Обучение, в процессе которого нейросеть осуществляет построение правил, характеризующих имеющиеся закономерности в данных.

5. Использование обученной нейросети в качестве эксперта, подавая на вход новые, ещё не предъявлявшиеся вектора входных параметров, и получая результат её работы.

6. Интерпретации полученного результата.

На первом этапе осуществляется анализ всех возможных признаков технического и технологического характера, параметров текущей загруженности, в частности, числа свободных/занятых путей и количества вагонов в сортировочном парке, ожидающих роспуск и планируемых к поступлению составов, веса вагонов, наличия опасных грузов, количества отцепов в составе, замыкающих групп и т.д. Дополнительно можно учитывать влияние погодных условий, температуру воздуха, скорость и направление ветра, наличие осадков.

На втором этапе происходит кодирование и нормировка исходных данных, что связано с необходимостью работать с большим числом разнотипных параметров. Это могут быть числа в произвольном диапазоне, даты, символьные строки, категоризованные данные и т.д. В то же время особенность нейронных сетей заключается в том,

что в них все входные и выходные параметры представлены в виде чисел с плавающей точкой, обычно в диапазоне  $[0...1]$  или  $[-1...1]$ . Дополнительной целью предобработки данных является увеличение информативности примеров для повышения скорости и эффективности обучения. Чем больше бит информации принесёт каждый пример, тем лучше используются имеющиеся данные.

Среднее количество информации, приносимой каждым примером  $x$ , равно энтропии распределения значений компоненты  $H(x)$ . Если эти значения сосредоточены в относительно небольшой области единичного интервала, информационное содержание такой компоненты мало и, когда все значения переменной совпадают, она не несёт никакой информации. Напротив, если значения переменной  $x$  равномерно распределены в единичном интервале, информация её максимальна.

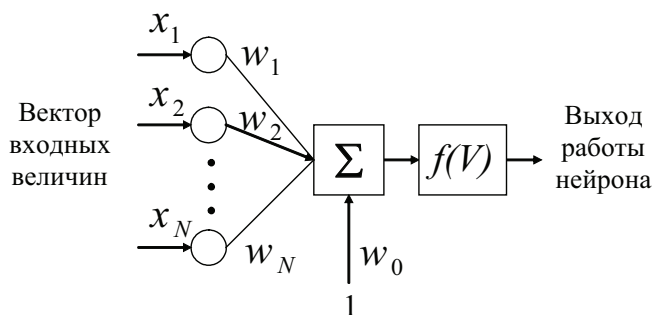
Общий принцип предобработки данных для нейросетевого анализа состоит в таком кодировании и нормировке непротиворечивых данных, чтобы добиться максимизации энтропии входов и выходов.

Последующие два этапа неразрывно связаны и заключаются в выборе нейросетевой парадигмы, её ключевых параметров и подстройке весовых коэффициентов. Для решения поставленной задачи вполне можно воспользоваться сетью прямого распространения, а именно, многослойным перцептроном, структура которого показана на рис. 3.

В качестве входных величин нейросети выступают матрицы, представленные выше и преобразованные в столбец входных параметров.



Рис. 4. Структурная схема нейрона, используемого при построении системы интеллектуального анализа загруженности сортировочного узла.



В узлах сети расположены нейроны, каждый из которых последовательно осуществляет следующий набор вычислений. Сначала вычисляется взвешенная сумма  $V$  входных величин  $x_i$  [18]:

$$V = \sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i + w_0.$$

Здесь  $N$  – размерность пространства входных сигналов,  $w_i$  – синаптические коэффициенты или веса,  $w_0$  – смещение.

Затем вступает в действие функция активации  $f$ . Одной из наиболее часто используемых её функций является логистическая или сигмоида, которая имеет вид:

$$f(V) = \frac{1}{1 + \exp(-b \cdot V)},$$

где коэффициент  $b$  определяет крутизну сигмоиды.

Схематично структура нейрона представлена на рис. 4.

Применив приведённые формулы ко всем нейронам сети, получим результирующую формулу работы сети в целом:

$$y_k(x_1, \dots, x_N) = f\left(\sum_{j=0}^m w_{jk} \cdot f\left(\sum_{i=0}^n w_{ij} x_i\right)\right),$$

где  $y_k$  – значение  $k$ -го нейрона выходного слоя [19].

#### IV.

Одной из основных проблем при использовании нейросетевого подхода является выбор оптимальной топологии сети, значений параметров и структурных особенностей, которые бы наилучшим образом удовлетворяли решаемой задаче на имеющихся исходных данных. С одной стороны, число скрытых элементов должно быть достаточным для решения поставленной задачи, а с другой – не может быть слишком большим, чтобы обеспечить

ожидаемую обобщающую способность и избежать переобучения. Это связано с тем обстоятельством, что количество скрытых элементов зависит от сложности того отображения, которое нейронная сеть стремится воспроизвести, а оно заранее неизвестно.

Очевидно, что каждый сортировочный узел является уникальным объектом и даже близкие по перерабатывающей способности станции могут сильно отличаться по техническим и технологическим признакам, степени влияния отдельных параметров на результирующую производительность. В связи с этим и построение нейросети необходимо осуществлять индивидуально для каждого объекта, и выборку данных для обучения сети тоже вести индивидуально. В качестве исходной выборки можно использовать как реальные исторические данные, характеризующие параметры работы станции за период, в рамках которого не изменялись её основные технические и технологические показатели, так и данные, полученные в рамках имитационного моделирования, в том числе при обработке нештатных сценариев и режимов критической загруженности.

Для обучения сетей класса «многослойный перцептрон» можно воспользоваться алгоритмом обратного распространения ошибки (Backpropagation, BP), который является алгоритмом градиентного спуска, минимизирующим среднюю квадратическую ошибку работы сети:

$$E = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sum_k (d_p^k - y_p^k)^2,$$

где  $P$  – число примеров в обучающем множестве,  $d_p^k$  – желаемый выход  $k$ -го нейрона выходного слоя на  $p$ -ом обучающем примере.

Минимизация величины  $E$  осуществляется с помощью градиентных методов. Изменение весов происходит в направлении, обратном к направлению наибольшей крутизны для функции стоимости:

$$w(t+1) = w(t) - \varepsilon \frac{\partial E}{\partial w},$$

где  $\varepsilon$  — величина градиентного шага или коэффициент обучения.

Результатом работы нейронов выходного слоя могут быть приняты величины в диапазоне  $[0, 1]$ , где близкие к 0 значения характеризуют малую загрузку, а близкие к 1 — критическую загрузку сортировочного узла.

В дальнейшем обученная нейросеть способна выполнять роль автоматического эксперта для постоянного мониторинга текущей загруженности сортировочной станции, прогнозирования и заблаговременного оповещения о возможности возникновения критической ситуации. Интеграция множества таких экспертов с помощью коммуникационных технологий в глобальную систему регулирования транспортных потоков обещает обеспечить своевременное предупреждение рисков и оптимизацию параметров грузоперевозочного процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рахмангулов А. Н. Железнодорожные транспортно-технологические системы: организация функционирования: Монография. — Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г. И. Носова, 2014. — 300 с.
2. Мирошниченко В. М., Недзельский Е. В. Имитационное моделирование сложных транспортных систем (на примере железнодорожных станций) // Material. Confer. Internațională «Sisteme de transport și logistică» (Chișinău, 11–13 Decembrie 2013) / АТИ; Chișinău, Evrica, 2013. С. 394–400.
3. Ульяницкий Е. М., Ломаш Д. А. Моделирование систем. — Часть 1: Имитационное моделирование объектов (процессов) на железнодорожном транспорте: Учеб.-метод. пособие. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2008. — 38 с.
4. Казаков А. Л., Маслов А. М. Применение имитационного моделирования для синтетического планирования грузовых терминалов железнодорожного транспорта // Вестник ИрГТУ. — 2010. — № 6. — С. 146–153.
5. Максимей И. В., Сукач Е. И., Гируц П. В., Ерофеева Е. А. Имитационное моделирование

вероятностных характеристик функционирования железнодорожной сети // Математические машины и системы. — 2008. — № 4. — С. 147–153.

6. Максимей И. В., Сукач Е. И., Гируц П. В., Ерофеева Е. А. Автоматизация этапов разработки и эксплуатации имитационных моделей транспортных систем // Проблемы программирования. — 2008. — № 4. — С. 104–111.

7. Александров А. Э., Ковалёв И. А., Пермикин В. Ю. Моделирование транспортных систем: Учеб.-метод. пособие. — Екатеринбург: УрГУПС, 2011. — 56 с.

8. Лычкина Н. Н. Проектирование логистической инфраструктуры межрегионального мультимодального логистического центра с применением имитационного моделирования // Логистика и управление цепями поставок. — 2014. — № 5. — С. 48–56.

9. Современные проблемы транспортного комплекса России: Межвуз. сб. науч. трудов / Под ред. А. Н. Рахмангулова. — Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г. И. Носова, 2011. — 209 с.

10. Программа имитационного моделирования работы припортовой железнодорожной станции с вероятностно-статистическим подходом к изменению параметров поступающего вагонотока. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613827 / Зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 08.04.2014. Р. Г. Король, П. В. Даниленко.

11. Электронный ресурс: <http://gdsu.stu.ru/science/>. Доступ 22.08.2017.

12. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. — СПб.: Корона-принт; М.: Альтекс-А, 2004. — 384 с.

13. Технология системного моделирования / Под общ. ред. С. В. Емельянова. — М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. — 520 с.

14. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 420 с.

15. Стерлигова А. Н. Управление запасами в цепях поставок: Учебник. — М.: Инфра-М, 2008. — 430 с.

16. Гридин В. Н., Солодовников В. И. Предобработка данных и выявление логических закономерностей на основе генетического алгоритма // Системы и средства информатики. — 2013. — № 2. — С. 244–259.

17. Гридин В. Н., Солодовников В. И., Карнаков В. В. Выбор начальных значений и оптимизация параметров нейронной сети // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. — 2016. — № 19. — С. 270–273.

18. Гридин В. Н., Солодовников В. И., Карнаков В. В. Использование модульной нейронной сети BP-SOM для извлечения правил // Информационные технологии в проектировании и производстве. — 2015. — № 4. — С. 3–7.

19. Евдокимов И. А., Солодовников В. И. Автоматизация построения нейронной сети в рамках объектно-ориентированного подхода // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. — 2015. — № 18. — С. 89–97. ●

Координаты авторов: **Гридин В. Н.** — [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru), **Доенин В. В.** — [vidovas@mail.ru](mailto:vidovas@mail.ru), **Панищев В. С.** — +7(495) 596–02–19.

Статья поступила в редакцию 19.07.2017, принята к публикации 31.08.2017.

**Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 17–20–01133 офи\_м\_РЖД.**



## ON CONSTRUCTION OF AN INTELLIGENT SUBSYSTEM FOR ANALYZING THE PARAMETERS OF A MARSHALLING HUB

**Gridin, Vladimir N.**, Center for Information Technologies in Design of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

**Doenin, Viktor V.**, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

**Panishchev, Vladimir S.**, Center for Information Technologies in Design of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

### ABSTRACT

The article considers the issues of continuous monitoring of the situation at the marshalling yard and detection of the possibility of occurrence of dangerous situations. An approach is proposed for constructing an automated intellectual subsystem

for analyzing and timely forecasting the critical utilization of railway sorting units. The solution of the problem is proposed with the help of network communication technologies due to the use of information from automated data collection systems and the neural network decision support subsystem.

**Keywords:** transport, intelligent system, system analysis, forecasting of critical situations, simulation modeling, sorting node, neural network, information, communication technologies.

**Background.** Actual monitoring tasks and prospects for development of rail transport require the use of modern methods of the theory of transport systems, as well as creation of new tools and systems for automated design. In particular, this concerns continuous monitoring of the situation at the marshalling yard, timely notification of possible collisions and increasing the efficiency of loading and unloading operations.

The main logistics problems at the marshalling yard, for which solution simulation modeling is applied, consist in increasing the capacity of the tracks, searching for promising options that will ensure rational use of resources, minimum costs, reducing the probability of emergency situations on routes and stations, estimating the load of the sorting node.

For such purposes, problem-oriented simulation models, developed, as a rule, in a medium of profile type systems [1–4] are widely used. When developing simulation models, real transport systems are represented in the form of queuing systems. The complexity of solving the management problem is that distribution of resources among the multiple components of the transport system is carried out in the face of changing priorities and intensive interaction of processes, which are extremely difficult to be formulated in the language of formalized rules and sets of actions, and therefore it is difficult or in some cases impossible to build an adequate mathematical model. In this connection, in fact, the solution of these kinds of problems is carried out on the basis of construction of an imitation model that takes into account the probabilistic characteristics of the processes occurring.

**Objective.** The objective of the authors is to consider construction of an intelligent subsystem for analyzing the parameters of a sorting node.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, simulation modeling, evaluation approach, comparative analysis.

### Results.

#### I.

The construction of the simulation model of the sorting node allows to carry out system research and evaluation of design and technological solutions for existing and projected nodes, enables to monitor the dynamics of resource movement, their effectiveness, identify bottlenecks, the peculiarities of the station's operation in various conditions (and at critical loads), modeling actions «what if», including on the basis of elements of fuzzy logic and the mathematical apparatus of neural networks.

The analysis showed that the existing simulation models [5–11] require preliminary configuration, manual data entry and significant time costs. Creation of an effective simulation model of the sorting node assumes an adequate description of the specifics of technological processes in all subsystems and their system interaction. In the course of the simulation, equations of the dynamics of the change in the number of cars for the sorting fleet tracks, the known values of car groups on tracks, the predetermined line capacities for the calculated space-time network, etc. are used, however in real time this information is not always available and, accordingly does not allow to build forecasts for the node's load.

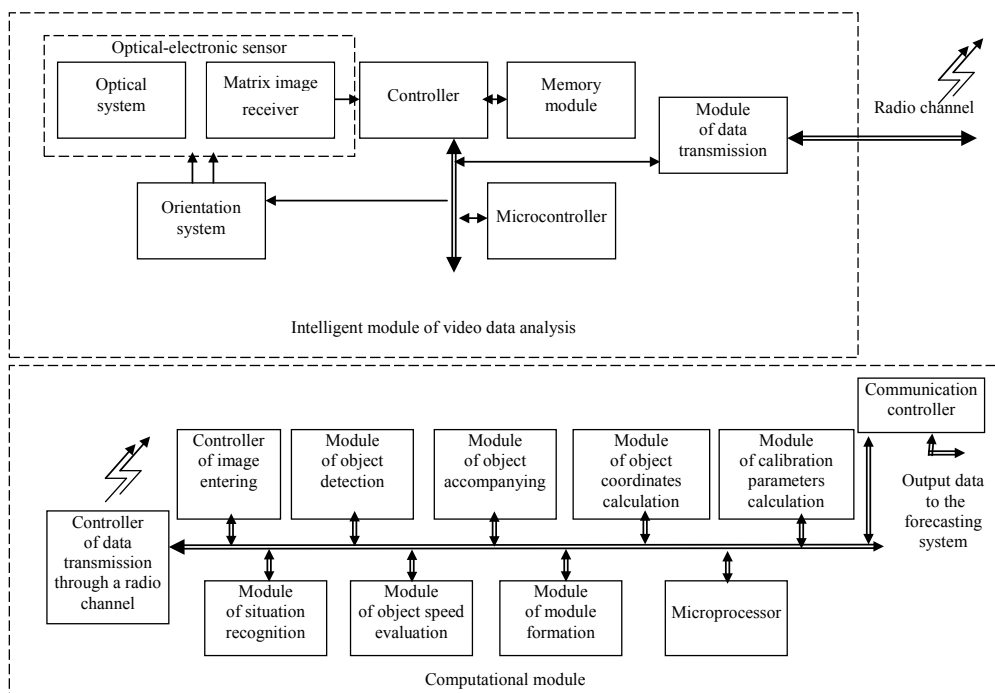
To build a model that is as close as possible to the operating marshalling yard, it is suggested to use the information of the automated control system on the location of cars, the order of formation of trains, as well as information from the technical vision system that automatically analyzes the numbers, the quantity of arriving cars, type of cargoes and type of cars.

There are examples of development of a mathematical model for retrieving data on cargo and passenger transportation by selecting images from geographically distributed sources that allows to describe, and simulate the processes of their analysis and recognition for the purpose of measuring characteristics and classifying objects. Image processing algorithms are also created in programmable logic integrated schemes and specialized processors for conditions of limited computing resources [12].

Thus, simulation modeling of the work of a marshalling yard, on the one hand, can be used to optimize the functioning processes taking into account selected targets, and on the other hand, for working out various non-standard scenarios and critical load modes. However, the application of this approach for forecasting the critical load of a railway sorting unit in real time is not always convenient and possible, especially if it is necessary to implement it within the framework of the global traffic regulation system. In this regard, there is a need to build an automated subsystem for monitoring of the values of the parameters that characterize the current workload and the mode of operation of the sorting unit, as well as for forecasting and early warning of a risk of occurrence of a critical situation, including taking into account the planned arrival of freight trains.

#### II.

As a mathematical apparatus of the intelligent subsystem for analysis and forecasting, it is proposed



**Pic. 1. Structural and functional organization of the system of technical vision.**

to share the methods of logical inference, the main representative of which are methods of fuzzy logic and decision trees, as well as neural network information processing methods. This is due to a large number of different types of parameters that can affect the capacity of the railway sorting node, as well as the property of neural networks that allow modeling non-linear processes, work with noisy data, adapt to operating conditions, generalize and extract essential features from incoming information. A key role is also played by the automation of decision-making and forecasting.

As a source of visual data on the current location of rolling stock and cargoes it is suggested to use network (IP) video cameras located in key nodes of the sorting station and integrated into a single network. To combine data from different video cameras, specially developed algorithms for forming a single workspace are used, including algorithms for calibrating and calculating the positions of each car in three-dimensional space based on analysis of their movement along railway tracks when viewed from various IP cameras. A unified working stage is formed, containing objects of rolling stock observed from various sources of visual data, goods, etc. Next, for each object, its location in three-dimensional space is calculated with reference to some, predetermined reference stationary objects at the marshalling yard. If possible, an estimate of the weight of the car, cargo on the platform and other characteristics is made on the basis of a priori tabular data.

Let's consider the structurally functional organization of the technical vision system, which provides visual data acquisition and situation analysis (Pic. 1).

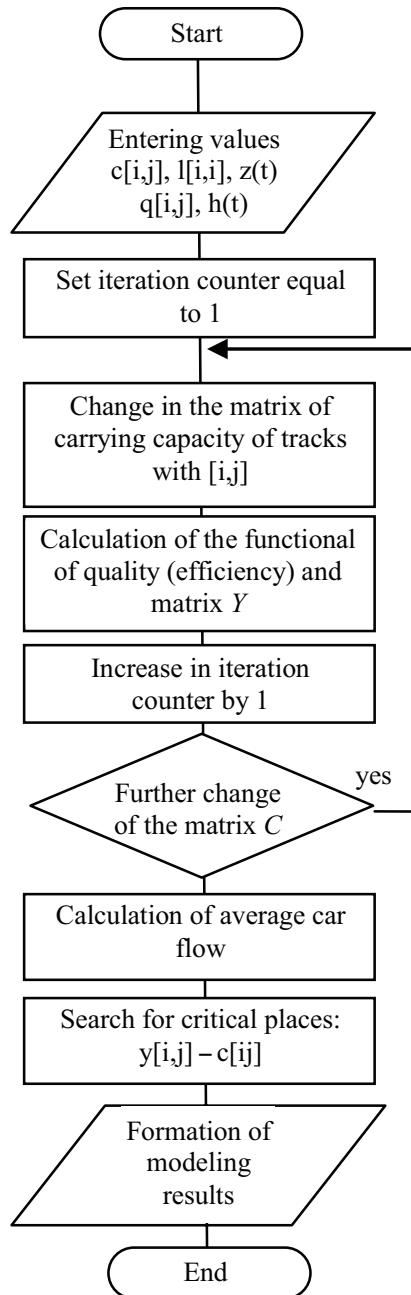
The technical vision system consists of several intelligent video analysis modules and a computational module. Intelligent modules are located geographically in such a way that they provide simultaneous observation and retrieval of video data at the key

nodes of the marshalling yard. Each intelligent module provides analysis of only its section of the marshalling yard and, after processing, transfers the information received to the computational module. The computational module provides a generalization of information on all intelligent modules and the transfer of the received qualitative and quantitative characteristics of the current state and the process of formation / breaking up of the trains.

The intelligent module is a structurally and functionally autonomous device that receives control commands from the computational module, providing, according to the received commands, the calculation of the location parameters of mobile railway objects and their characteristics, as well as the detection of critical situations. The principle of operation of each intelligent module is as follows: an opto-electronic sensor, oriented with the help of an orientation system to a given section of the marshalling yard, continuously receives images coming through the controller into the memory module. The microcontroller reads each frame of the image and produces the actions necessary for calculating the parameters of the railway mobile objects over the images: object detection, preliminary recognition and correlation to a certain class, and calculation of their parameters. The data through the data transmission module and the radio channel at 2,4 GHz are transmitted to the computational module.

The computational module, after receiving the next data from all intelligent modules, performs a comprehensive analysis of the situation at the marshalling yard, and also continuously and in real time transmits the results of the analysis and calculated parameters of the mobile objects (cars, platforms, shunting locomotives) in the process of sorting the train into an automated intellectual subsystem for analysis and forecasting the loading of the marshalling yard, which having an input task formation of a particular train issues recommendations





**Pic. 2. Generalized algorithm for functioning of the forecasting system.**

on the movement of cars for the formation of the target train, taking into account the chosen optimality criterion.

In the general case, the structure of the flows of a train's composition at the marshalling yard is represented in the form of a graph  $G$  [5, 13].

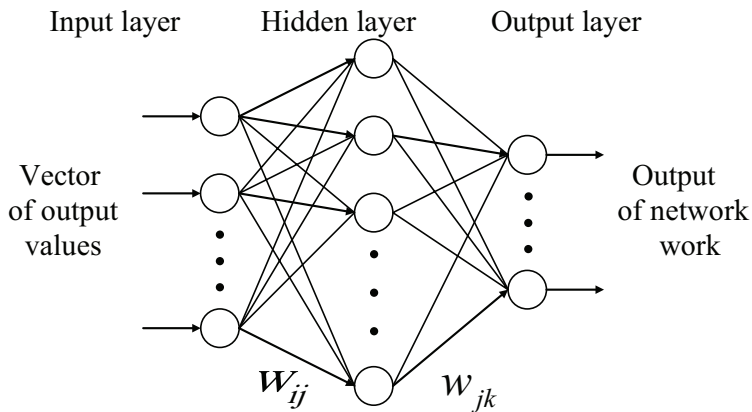
The capacity of the stations is significantly affected by the processing capacity of the humps, which is the processing of the most probable number of trains (cars) per day with optimal use of track facilities and technical equipment. The processing capacity of the hump, in addition to technical and technological

factors, is also influenced by the parameters of the composition to be broken up, in particular the weight of cars, the characteristics of the load, the number of uncouplings in the train, the number of closing groups, etc. No less important is the consideration of weather conditions, which can have a significant impact on the operation of the station.

Movement of cars after uncoupling on a hump is realized in accordance with the following parameters [5, 13]:

– carrying capacity matrix  $C = C[c_{ij}]$ , where  $c_{ij}$  are the carrying capacities of branches of graph  $G$





**Pic. 3. The structure of the perceptron with two layers of neurons.**

corresponding to tracks connecting node  $i$  to node  $j$ ;  
 – matrix of distances between nodes, vertices of the graph  $GL = [l_{ij}]$ ;

– cost matrix  $Q = [q_{ij}]$ , where  $q_{ij}$  determines the cost per unit of the track of car coupling movement along the branch  $ij$ ;

– input matrix of assignments  $Z_i = [z_{ik}(t)]$ , the elements of which correspond to the train formation plan (number of cars arriving at the input node at time  $t$ );

– output matrix of assignments  $Y_i = [y_{ik}(t)]$ , the elements of which correspond to the predicted load of the tracks of the sorting node (the number of cars located on the exit tracks at time  $t$ ).

Minimizing the cost of formation of a train is provided by minimizing the functional  $P = \sum \sum P_{ij} = \sum \sum (k_1 \cdot l_{ij} + k_2 \cdot g_{ij} + k_3 \cdot t_{av})$ , where  $k_i$  is weighting coefficients determining the influence of distance, time, cost of movement on branches;  $t_{av}$  is the average time spent by the trains for formation-breaking up at the node.

At the same time, on the one hand, it is necessary to ensure the maximum flow between nodes, and on the other hand, to have a minimum of costs. The search for correlation of quantities is realized using the approaches [13–16].

The process of formation and breaking up of trains is described using the probability distribution. The distribution functions for each  $i$ -th node of the network are given by the matrix  $H_i = [h_{ik}(t)]$ , where each element is the function of time distribution for formation-breaking up in the  $i$ -th node for the composition that came from node  $k$  and following to the node  $i$ . In the developed system, these functions

are calculated using statistical analysis and methods of neural network processing of information [17].

The capacity matrix  $C = C[c_{ij}]$ , is filled on the basis of a statistical approach, analysis of throughput for several years, taking into account the train's parameters and weather conditions, which requires a predictive neural network.

The distance matrix  $L = [l_{ij}]$  is a known quantity and is determined by the existing structure of the location of tracks and switches on the hump.

The cost matrix  $Q = [q_{ij}]$  is based on the automated collection of information on delays at the station of locomotives and locomotive brigades in real time. In addition, it is proposed to take into account the forecasting, the analysis of carrying capacity for several years, which also requires a neural network.

The input matrix of assignments in  $Z_i = [z_{ik}(t)]$ , is also known and determined by the work plan for the hump.

The output matrix of assignments  $Y_i = [y_{ik}(t)]$  is calculated using the neural network approach.

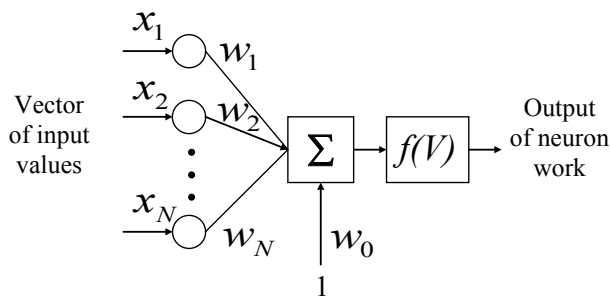
A generalized algorithm for the functioning of the forecasting system is shown in Pic. 2.

### III.

The neural network approach is used as the mathematical apparatus of the automated intellectual subsystem of analysis of the loading of the marshaling yard. It implies the need for the following main steps [17]:

1. Preliminary processing of data, identification of characteristic features, the most significant features and their combinations.

2. Preparation of the initial data, consisting in their coding and normalization to increase the informativeness



**Pic. 4. Structural diagram of the neuron used in constructing the system of intellectual analysis of the load of the sorting node.**

of the examples and bring them to a form that is available for processing by the network.

3. The choice of neural network architecture (paradigm) and its key parameters, such as the number of layers and the number of neurons in each of them.

4. Training, in the process of which the neural network implements the construction of rules that characterize the existing regularities in the data.

5. Using a trained neural network as an expert, submitting to the input new, not yet presented vector of input parameters, and getting the result of its work.

6. Interpretation of the result.

At the first stage, all possible technical and technological characteristics are analyzed, e.g. parameters of the current load, in particular the number of free / occupied tracks and the number of cars in the sorting park, trains awaiting breaking up and planned for the receipt, weight of cars, the presence of dangerous goods, the number of uncouplings in the train, closing groups, and so on. In addition, it is possible to take into account the influence of weather conditions, air temperature, wind speed and direction, the presence of precipitation.

At the second stage, the initial data is coded and normalized, which is associated with the need to work with a large number of different types of parameters. These can be numbers in an arbitrary range, dates, character strings, categorized data, etc. At the same time, the distinctive feature of neural networks is that in them all input and output parameters are represented as floating-point numbers, usually in the range [0 ... 1] or [-1 ... 1]. An additional purpose of data preprocessing is to increase the informative nature of the examples to increase the speed and effectiveness of training. The more bits of information each sample brings, the better the available data are used.

The average amount of information provided by each example  $x$  is equal to the entropy of the distribution of the values of the component  $H(x)$ . If these values are concentrated in a relatively small region of the unit interval, the information content of such a component is small and when all the values of the variable coincide, it does not carry any information. On the contrary, if the values of the variable  $x$  are uniformly distributed in the unit interval, the information is maximal.

The general principle of data preprocessing for neural network analysis is to encode and normalize consistent data in order to maximize the entropy of inputs and outputs.

The next two stages are inextricably linked and are the selection of the neural network paradigm, its key parameters and the adjustment of the weight coefficients. To solve the problem, it is quite possible to use a network of direct propagation, namely, a multilayer perceptron, the structure of which is shown in Pic. 3.

The input values of the neural network are the matrices presented above and converted into a column of input parameters.

At the nodes of the network neurons are located, each of which sequentially carries out the next set of calculations. First, the weighted sum  $V$  of the input quantities  $x_i$  [18] is calculated:

$$V = \sum_{i=1}^N w_i \cdot x_i + w_0.$$

Here  $N$  is the dimension of the space of input signals,  $w_i$  is the synaptic coefficients or weights, and  $w_0$  is the displacement.

Then the activation function  $f$  comes into effect. One of the most commonly used functions is the logistic or sigmoid, which has the form:

$$f(V) = \frac{1}{1 + \exp(-b \cdot V)},$$

where the coefficient  $b$  determines the steepness of the sigmoid.

Schematically, the structure of the neuron is shown in Pic. 4.

Applying the above formulas to all neurons of the network, we obtain the resulting formula for the operation of the entire network as a whole:

$$y_k(x_1, \dots, x_N) = f\left(\sum_{j=0}^m w_{jk} f\left(\sum_{i=0}^n w_{ji} x_i\right)\right),$$

where  $y_k$  – the value of  $k$ -th neuron of the output layer [19].

#### IV.

One of the main problems in using the neural network approach is to select the optimal network topology, parameter values and structural features that would best suit the problem being solved on the available initial data. On the one hand, the number of hidden elements should be sufficient to solve the task, and on the other hand it cannot be too large to provide the expected generalizing ability and avoid retraining. This is due to the fact that the number of hidden elements depends on the complexity of the mapping that the neural network tends to reproduce, and it is not known in advance.

It is obvious that each sorting unit is a unique object and even stations close in their processing capacity can differ greatly in technical and technological features, the degree of influence of individual parameters on the resulting productivity. In this regard the construction of the neural network must be carried out individually for each object, and the selection of data for training the network, too, should be conducted individually. As the initial sample, it is possible to use both real historical data characterizing the parameters of the station operation over a period of time within which its main technical and technological indicators have not changed, as well as data obtained within the framework of simulation modeling, including in developing non-standard scenarios and regimes of critical congestion.

To train networks of the «multilayer perceptron» class, it is possible to use the Backpropagation (BP) algorithm, which is a gradient descent algorithm that minimizes the average quadratic network error:

$$E = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P \sum_k (d_p^k - y_p^k)^2,$$

where  $P$  is the number of examples in the training set,  $d_p^k$  is the desired output of the  $k$ -th neuron of the output layer on the  $p$ -th training example.

Minimization of the value of  $E$  is carried out using gradient methods. The change in weights occurs in the direction opposite to the direction of the greatest steepness for the cost function:

$$w(t+1) = w(t) - \varepsilon \frac{\partial E}{\partial w},$$

where  $\varepsilon$  is the value of the gradient step or the training coefficient.

The result of the work of the output layer neurons can be taken as values in the range [0, 1], where values close to 0 characterize a small load, and close to 1 values describe critical loading of the sorting node.

**Conclusion.** In the future, the trained neural network is able to perform the role of an automatic expert for continuous monitoring of the current load

of the marshalling yard, forecasting and early warning on a risk of occurrence of a critical situation. Integration of many such experts with the help of communication technologies into the global system of regulation of traffic flows promises to provide timely warning of risks and optimization of the parameters of the cargo transportation process.

## REFERENCES

1. Rakhmangulov, A. N. Railway transport-technological systems: organization of functioning: Monograph [*Zheleznodorozhnye transportno-technologicheskie sistemy: organizacija funkcionirovanija. Monografija*]. Magnitogorsk, Publishing house of MSTU n.a. G. I. Nosov, 2014, 300 p.

2. Miroshnichenko, V. M., Nedzelsky, E. V. Simulation modeling of complex transport systems (using the example of railway stations) [*Imitacionnoe modelirovanie slozhnykh transportnykh sistem (na primere zheleznodorozhnykh stancij)*]. Proceedings of International conference «Sisteme de transport și logistic» (Chișinău, 11–13 Decembrie 2013), ATIC; Chișinău, Evrica, 2013, pp. 394–400.

3. Ulyanitsky, E. M., Lomash, D. A. Modeling of systems. Part 1: Simulation modeling of objects (processes) in railway transport: Teaching-methodological guide [*Modelirovanie sistem. – Chast' 1: Imitacionnoe modelirovanie ob'ektov (processov) na zheleznodorozhnom transporte: Ucheb.-metod. posobie*]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2008, 38 p.

4. Kazakov, A. L., Maslov, A. M. Application of simulation modeling for synthetic planning of cargo terminals of railway transport [*Primenenie imitacionnogo modelirovanija dlja sinteticheskogo planirovanija gruzovykh terminalov zheleznodorozhnogo transporta*]. *Vestnik IrGTU*, 2010, Iss. 6, pp. 146–153.

5. Maksimei, I. V., Sukach, E. I., Giruts, P. V., Erofeeva, E. A. Simulation modeling of probabilistic characteristics of the railway network functioning [*Imitacionnoe modelirovanie veroyatnostnykh harakteristik funkcionirovanija zheleznodorozhnoj seti*]. *Matematicheskie mashiny i sistemy*, 2008, Iss. 4, pp. 147–153.

6. Maksimei, I. V., Sukach, E. I., Giruts, P. V., Erofeeva, E. A. Automation of the stages of development and operation of simulation models of transport systems [*Avtomatizacija etapov razrabotki i ekspluatatsii imitacionnykh modelej transportnykh sistem*]. *Problemy programirovanija*, 2008, Iss. 4, pp. 104–111.

7. Aleksandrov, A. E., Kovalev, I. A., Permikin, V. Yu. Modeling of transport systems: Training-methodological guide [*Modelirovanie transportnykh sistem: Ucheb.-metod. posobie*]. Yekaterinburg, UrGUPS publ., 2011, 56 p.

8. Lychkina, N. N. Designing the logistics infrastructure of an interregional multimodal logistics center with the use of simulation modeling [*Proektirovanie logisticheskoy infrastruktury mezhhregional'nogo mul'timodal'nogo logisticheskogo centra s primeneniem imitacionnogo modelirovanija*]. *Logistika i upravlenie cepjami postavok*,

2014, Iss. 5, pp. 48–56.

9. Modern problems of the transport complex in Russia [*Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*]. Interuniversity collection of scientific works. Ed. by A. N. Rakhmangulov. Magnitogorsk, Publishing house of MSTU n.a. G. I. Nosov, 2011, 209 p.

10. Simulation modeling program for operation of a railway station with a probability-statistical approach to changing the parameters of the incoming car flow. Certificate of state registration of the computer program № 2014613827 / Registered in the register of computer programs on 08.04.2014. R. G. Korol, P. V. Danilenko [*Programma imitacionnogo modelirovanija raboty priporotovy zheleznodorozhnoj stancii s veroyatnostno-statisticheskim pododom k izmeneniju parametrov postupajushhego vagonopotoka. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlja EVM № 2014613827 / Zaregistr. v reestre programm dlja EVM 08.04.2014. R. G. Korol, P. V. Danilenko*].

11. Electronic resource: <http://gdsu.stu.ru/science/>. Last accessed 22.08.2017.

12. Ryzhikov, Yu. I. Imitation modeling. Theory and technology [*Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i tehnologii*]. St. Petersburg, Korona-print; Moscow, Alteks-A, 2004, 384 p.

13. Technology of system modeling [*Tehnologija sistemnogo modelirovanija*]. Ed. by S. V. Emelyanov. Moscow, Mashinostroenie publ., Berlin, Technic publ., 1988, 520 p.

14. Shannon, R. Simulation modeling of systems – art and science [*Imitacionnoe modelirovanie sistem – iskusstvo i nauka: Transl. from English*]. Moscow, Mir publ., 1978, 420 p.

15. Sterligova, A. N. Inventory Management in Supply Chains: A Textbook [*Upravlenie zapasami v cepyah postavok: Uchebnik*]. Moscow, Infra-M publ., 2008, 430 p.

16. Gridin, V. N., Solodovnikov, V. I. Preprocessing of data and revealing of logical regularities on the basis of genetic algorithm [*Predobrabotka dannykh i vyjavenie logicheskikh zakonomernostey na osnove geneticheskogo algoritma*]. *Sistemy i sredstva informatiki*, 2013, Iss. 2, pp. 244–259.

17. Gridin, V. N., Solodovnikov, V. I., Karnakov, V. V. Choice of initial values and optimization of neural network parameters [*Vybor nachal'nykh znachenij i optimizacija parametrov nejronnoj seti*]. *Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannykh sistemah*, 2016, Iss. 19, pp. 270–273.

18. Gridin, V. N., Solodovnikov, V. I., Karnakov, V. V. Use of the modular neural network BP-SOM for extracting rules [*Ispol'zovanie modul'noj nejronnoj seti BP-SOM dlja izvlechenija pravil*]. *Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve*, 2015, Iss. 4, pp. 3–7.

19. Evdokimov, I. A., Solodovnikov, V. I. Automation of neural network construction within object-oriented approach [*Avtomatizacija postroenija nejronnoj seti v ramkah ob'ektno-orientirovannogo podhoda*]. *Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannykh sistemah*, 2015, Iss. 18, pp. 89–97. ●

Information about the authors:

**Gridin, Vladimir N.** – D.Sc. (Eng), professor, head of Center for Information Technologies in Design of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, [info@ditc.ras.ru](mailto:info@ditc.ras.ru).

**Doenin, Viktor V.** – D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, [vidovas@mail.ru](mailto:vidovas@mail.ru).

**Panishchev, Vladimir S.** – Ph.D. (Eng), senior researcher of Center for Information Technologies in Design of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, +7(495) 596–02–19.

Article received 19.07.2017, accepted 31.08.2017.

The work was supported by the Russian Fundamental Research Foundation, project 17–20–01133 ofi\_m\_Russian Railways.



# Эксперимент и теория: распределения характеристик движения автомобиля



Сергей ОГОРОДНОВ  
Sergey M. OGORODNOV

Сергей МАЛЕЕВ  
Sergey I. MALEEV



*Огороднов Сергей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и тракторов Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия.*

*Малеев Сергей Игоревич – ассистент кафедры автомобилей и тракторов Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексева, Нижний Новгород, Россия.*

## Experiment and Theory: Distribution of Characteristics of Car Motion

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 28)

**Основным фактором, формирующим возмущение, действующее на автомобиль в условиях эксплуатации, является скорость движения. Аналитические исследования эксплуатационных свойств и показателей надёжности базируются на характеристиках движения – распределениях пробегов и скорости, в некоторых случаях устаревших, или неполных и не коррелируемых с характеристиками макропрофиля маршрутов движения. Приведены данные об исследованиях характеристик макропрофиля загородных дорог средней полосы России, предложена их классификация. Выделены стационарные массивы случайных величин относительных пробегов и выполнена аппроксимация случайных распределений скорости аналитическими зависимостями. Полученные результаты позволяют моделировать движение автомобиля на ранних стадиях проектных работ и повысить точность оценки исследуемых параметров и характеристик.**

*Ключевые слова:* автомобиль, возмущение, макропрофиль, аналитические исследования, теоретические методы, эксперимент, аппроксимация, распределение, пробег, скорость, проектирование, модель движения.

**П**роектирование автомобилей, выбор конструктивных параметров узлов и агрегатов осуществляется с использованием математических (расчётных) моделей [1–3]. Теоретические методы позволяют выполнить исследования динамических свойств объекта на ранних этапах проектных работ. При исследовании математической модели значимость конечного результата во многом зависит от способа формирования действующих возмущений. Движение транспортных средств (ТС) в условиях эксплуатации происходит при случайных вариациях скорости, обусловленных продольным рельефом пути (макропрофиль), типом микропрофиля и состоянием поверхности дороги, инфраструктурой, интенсивностью движения и другими факторами, в том числе субъективными.

Скорость движения признаётся решающим фактором, формирующим возмущение опорной поверхности. Аналитические исследования вибронгруженности, долговечности, топливной эффективности и других эксплуатационных свойств автомобилей опираются на характеристики, устанавливающие связь пройденного пути

(пробег) или времени движения автомобиля со скоростью.

Основным недостатком методик расчёта показателей эксплуатационных свойств автомобиля является идеализированное представление о распределениях пробегов на различных передачах коробки передач [3]. В них не учитываются изменившиеся за последние годы состояние автомобильных дорог, типаж ТС, условия движения и другие моменты. Кроме того, методики исходят из предположения нормальных законов распределения пробега (времени движения) на каждой из передач и скорости движения автомобиля в зависимости от пробега. В отдельных случаях распределения уточняются с помощью эмпирических коэффициентов [4].

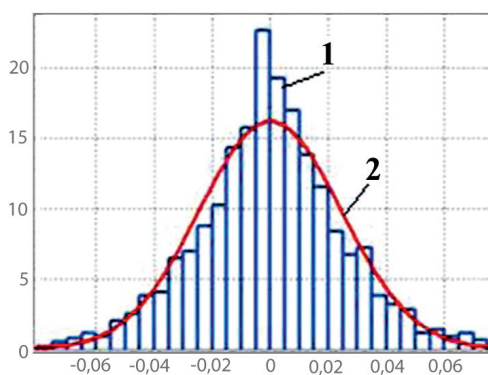
Достоверность результатов расчётов возрастает при использовании экспериментально установленных распределений относительных пробегов или аппроксимирующих их аналитических зависимостей, коррелированных с типом макропрофиля дороги (рельефа местности). Основное отличие полученных экспериментальных данных о распределениях пробегов состоит в увеличении доли пробега на высшей — пятой передаче и снижении доли пробега на третьей и четвёртой передачах. Объяснение этого факта может быть связано с увеличением скорости движения автомобилей вне города вследствие роста удельной мощности двигателя. Результаты такого рода подтверждаются, в частности, близкой по тематике поставленным задачам работой, выполненной в МГТУ им. Н. Э. Баумана [5].

В нашей статье приводятся сведения о выполненных авторами экспериментальных исследованиях [6–8]:

- макропрофиля загородных автомобильных дорог средней полосы России (Нижегородская область), предложена их систематизация в зависимости от типа рельефа местности;

- распределений времени и пробегов на каждой из передач и для различных маршрутов;

- распределений относительных величин пробегов и времени движения в зависимости от скорости и используемой передачи.



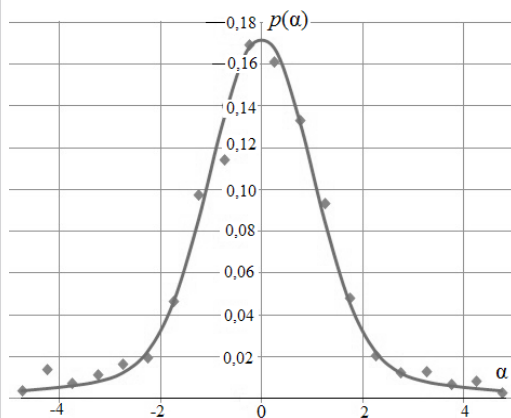
**Рис. 1. Характеристики макропрофиля:**  
1 — дискретная экспериментальная;  
2 — плотность распределения нормального закона.

## ИССЛЕДОВАНИЯ МАКРОПРОФИЛЯ ДОРОГ

Маршруты, выбранные в пределах Нижегородской области, отличались рельефом местности и наличием овражно-балочной сети. Протяжённость их составила от 50 до 150 км и зависела от продолжности рельефа. Параметры распределений продольных углов макропрофиля маршрутов движения определены методом регистрации географических координат и уклонов дороги с помощью приложения «Google Планета Земля». Для оценки статистической достоверности полученных характеристик дополнительно проведены экспериментальные исследования макропрофиля. Установлено, что необходимые условия стационарности исследуемых случайных процессов выполняются при размере выборочных реализаций 60 км для сильно пересечённой местности и 40 км для местности с малым числом пологих холмов.

Для определения закона распределения и количественных показателей характеристик плотности распределения продольных углов (уклонов) дороги применена методика обработки данных с условным геопространственным соотношением «пробег—высота над уровнем моря» [6]. При этом отмечено, что аппроксимация экспериментально полученной дискретной зависимости кривой плотности распределения нормального закона (рис. 1) не может быть признана удачной. Несоответствие плот-





**Рис. 2.** Плотность вероятности продольных уклонов макропрофиля дорог.

ности распределения продольных углов макропрофиля нормальному закону объясняется технологическими воздействиями на поверхность при строительстве загородных дорог, в результате которых относительно небольшие уклоны пути сглаживаются, а спуски и подъёмы значительной длины изменяются значительно меньше. Аналитическая зависимость, в большей степени соответствующая экспериментально полученному дискретному распределению, состоит из двух составляющих с нормальными законами распределений и может быть представлена выражением

$$p(\alpha_i) = k_1 \frac{\Delta\alpha}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\alpha_i)^2}{2\sigma_1^2}} + k_2 \frac{\Delta\alpha}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\alpha_i)^2}{2\sigma_2^2}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, k_1, k_2$  – параметры распределения,  $(k_1 + k_2) = 1$ ,  $\alpha_{i(j+1)} = \alpha_{ij} + \Delta\alpha$ ,  $\Delta\alpha = 0,5^\circ$ ,  $\alpha_i = 0,5(\alpha_{ij} + \alpha_{i(j+1)})$ .

На рис. 2 показана характеристика плотности распределения продольных углов макропрофиля испытательного участка, полученная аппроксимацией дискретной экспериментальной зависимости с помощью выражения (1).

В результате исследований предложена систематизация типов макропрофиля дорог по степени «холмистости», отличающихся: максимальными значениями величин продольных углов  $\alpha_{\max}$ ; максимальными

ми значениями плотности вероятности  $p(0)$  при  $\alpha = 0$ ; значениями плотности вероятности  $p(1^\circ), p(2^\circ), p(3^\circ)$ , соответствующими продольным углам макропрофиля  $\alpha$ , равным  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ .

Среди выбранных маршрутов движения с однозначным трендом характеристик макропрофиля имеются такие, в которых относительно ровные и длинные участки пути сменяются продолжительными крутыми подъёмами и спусками. Они отнесены к категории «сложный макропрофиль». Обозначения типов макропрофиля в соответствии со значениями параметров плотности вероятности продольных углов и по степени «холмистости» дороги, предложенные авторами, приведены в таблице 1 и имеют условный характер.

## МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Объектом исследования являлся лёгкий коммерческий автомобиль «ГАЗель NEXT» грузоподъёмностью 1,5 т с дизельным двигателем CUMMINS ISF 2.8, оборудованным электронным блоком управления. В состав блока входит шина CAN, предназначенная для передачи команд управления и информации. Сигналы шины обрабатывались с помощью дополнительного оборудования Electronic control module (ECM), обеспечивающего регистрацию: частоты вращения коленчатого вала, мгновенных значений скорости автомобиля, времени в пути, мгновенного расхода топлива и других параметров. Устройство ECM обеспечивает регистрацию сигналов через заданный промежуток времени – 0,8 с. Способ регистрации и обработки сигналов датчиков даёт представление о непрерывном неравномерном движении автомобиля, состоящем из отдельных режимов (разгон, постоянная скорость, замедление), совокупностью вариаций режимов, в пределах которых скорость считалась постоянной.

**Таблица 1**

### Систематизация типов макропрофиля

Наименование	Обозначение	$\alpha_{\max}, ^\circ$	$p(0)$	$p(1^\circ)$	$p(2^\circ)$	$p(3^\circ)$
Ровный	P	2,75	0,430	0,290	0,007	–
Среднехолмистый	CX	4,75	0,171	0,011	0,034	0,012
Холмистый	X	4,75	0,190	0,089	0,046	0,180
Сложный	C	4,75	0,214	0,078	0,039	0,210

Испытания велись при наиболее интенсивном движении на дороге. В целях исключения влияния на режим движения автомобиля субъективных факторов при испытательных заездах периодически менялись водители. Участки маршрутов, на которых скорость автомобиля определялась случайными факторами, при регистрации параметров не учитывались. Протяжённость маршрутов составляла 350–520 км. Измерения проводились при движении ТС в прямом и обратном направлении.

## ОЦЕНКА СТАЦИОНАРНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК

При расчёте эксплуатационных показателей ТС аналитическими методами [4, 5, 8, 9] имеет значение не только продолжительность движения, но и возможные изменения скорости на каждой из передач.

Продолжительность движения измеряется временем или пробегом. Анализ движения автомобиля по испытательным маршрутам выполнен с использованием экспериментальных распределений случайных дискретных величин пробега (времени) и скорости движения в зависимости от передачи. Случайные характеристики величин пробега (времени) могут рассматриваться как относительные. Относительный пробег – отношение суммарного пробега на данной передаче к длине маршрута движения. Относительное время – отношение суммарного времени движения на данной передаче ко времени движения в пределах маршрута.

Для получения статистически достоверной информации о законах распределения скорости движения в зависимости от величин относительных пробегов выполнены исследования характера стационарности случайных дискретных совокупностей (вариационный ряд) величин относительных пробегов на каждой из передач. Вариационные ряды получены как функции размеров выборочных реализаций (выборка). Массивы экспериментальных данных, соответствующих стационарным выборкам случайных процессов относительных пробегов, позволяют при обработке получить полноценную информацию.

В качестве примера приведена процедура обработки экспериментальных данных, полученных при движении ТС по маршруту протяжённостью 420 км, соот-

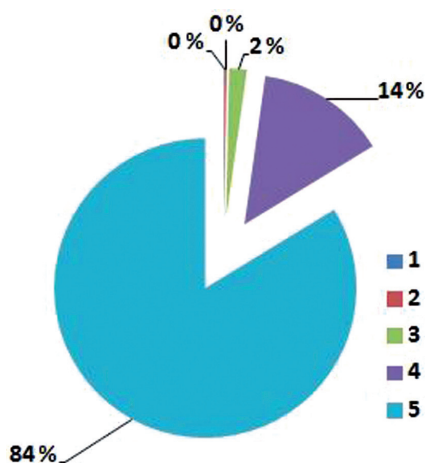


Рис. 3. Относительный пробег на передачах.

ветствующему дороге типа Р (таблица 1), с покрытием хорошего качества. С учётом приоритета, определяемого величиной пробегов на 4-й и 5-й передачах (98 % от длины маршрута), исследуются условия стационарности выборочных реализаций относительных пробегов (рис. 3).

Для оценки стационарности случайной величины используется коэффициент вариации  $V_x$  как относительная мера отклонения значений среднеквадратической величины от её среднеарифметического значения:

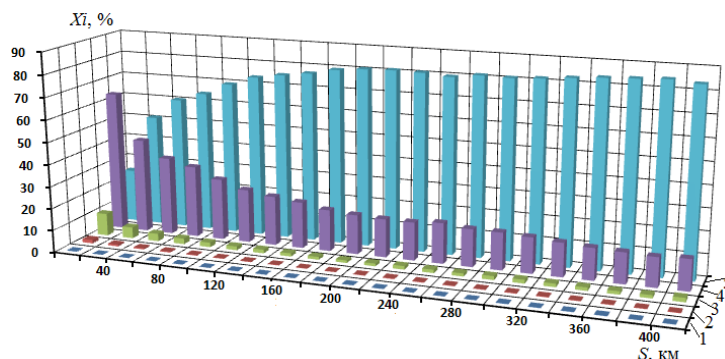
$$V_x = \frac{\sigma_x 100\%}{m_x}, \quad (2)$$

где  $m_x$  – среднее значение случайной величины,  $\sigma_x$  – среднее квадратическое отклонение.

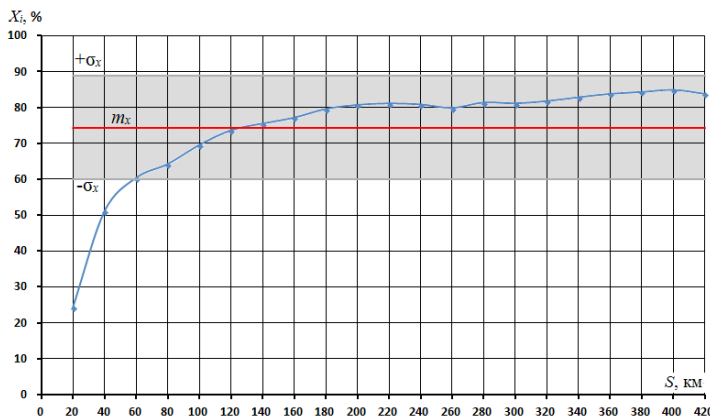
В технических задачах случайный процесс считается практически стационарным при значениях коэффициента вариации, меньших 10 %, и условно стационарным – при значениях коэффициента, не превышающих 20 %.

На рис. 4 показано распределение относительных пробегов  $X_i$  при движении на 5-й передаче в зависимости от размера выборки  $s_i$  и передачи. Для сокращения трудоёмкости обработки результатов испытаний размеры выборок принимались кратными 20 км. Расчёт среднеарифметических и среднеквадратических значений относительных пробегов, коэффициентов вариаций выполняется отдельно для каждой выборки. Наиболее полная выборка размером 420 км (длина маршрута) имеет сравнительно большой





**Рис. 4.** Дискретные совокупности случайных величин относительных пробегов в зависимости от размера выборки и передачи.



**Рис. 5.** Относительный пробег в зависимости от размера выборки и передачи.

разброс величин относительных пробегов  $X_i$  и малую выравненность дискретного ряда значений за счёт начального этапа (рис. 5). Установленная особенность распределения свидетельствует о возможной нестационарности исследуемого процесса. Относительная выравненность дискретного ряда значений относительных пробегов наступает при смещении начала отсчёта не менее чем на 80 км.

С этого момента значения коэффициента вариации для выборок существенно не отличаются, изменчивость вариационного ряда следует считать незначительной, а процесс практически стационарным.

Результаты расчёта моментных функций и коэффициентов вариации в зависимости от типа макропрофиля и передачи в таблице 2.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Установлено, что скорость автомобиля является многопараметрической функцией и зависит от характеристик макропрофиля

участков маршрута, передачи и ряда субъективных факторов.

При построении распределений скорости в зависимости от используемой передачи и относительного пробега (рис. 6) из массива данных выделяются массивы случайных величин относительных пробегов, отвечающие условию стационарности, и соответствующие им массивы данных о скорости движения. Для каждой передачи устанавливается диапазон изменения скорости движения, который разбивается на интервалы  $\Delta V_i = 5$  км/ч. В интервалы  $\Delta V_i$  отнесены мгновенные (измеренные) значения скорости движения  $V_p$ , большие или равные минимальному значению скорости  $V_{\min}$  интервала «n», и меньше максимальной скорости  $V_{\max}$  этого интервала.

Следующим шагом алгоритма обработки данных определяются величины относительных пробегов для интервалов  $\Delta V_i$  в диапазоне скоростей движения на каждой передаче.

В пределах выборочной реализации расстояние, пройденное за время движения



**Моментные функции и коэффициенты вариации относительных пробегов на 4-й и 5-й передачах в зависимости от типа макропрофиля**

Тип макропрофиля маршрута	№ передачи	Размер выборки, $n$ , км	Среднее значение относительных пробегов, $m_x$	Среднее квадратическое отклонение, $\sigma_x$	Коэффициент вариации, $V_x$ , %
Ровный	4	300	0,167	0,022	13,9
	5		0,783	0,025	3,2
Среднехолмистый	4	340	0,195	0,017	8,5
	5		0,720	0,036	5,0
Холмистый	4	260	0,144	0,012	8,5
	5		0,798	0,019	2,4
Сложный	4	240	0,171	0,013	1,7
	5		0,789	0,016	9,2

на каждой передаче, находится в соответствии с выражением

$$s_{\Sigma n} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m s_i = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m v_i t_{vi}, \quad (3)$$

где  $s_{\Sigma n}$  – суммарный пробег на передаче;  $n$  – номер передачи;  $v_i$  – скорость движения в пределах интервала  $\Delta V_i$ ;  $t_{vi}$  – время движения со скоростью  $v_i$  в пределах интервала  $\Delta V_i$ ;  $s_p$  – пробег со скоростью  $v_i$ ;  $k$  – число интервалов  $\Delta V_i$  в диапазоне изменения скорости на передаче  $n$ ;  $m$  – количество измеренных значений скорости в пределах интервала.

Относительный пробег на передаче определяется выражением

$$s_n = \frac{s_{\Sigma n}}{\sum_{n=1}^5 s_{\Sigma n}}, \quad (4)$$

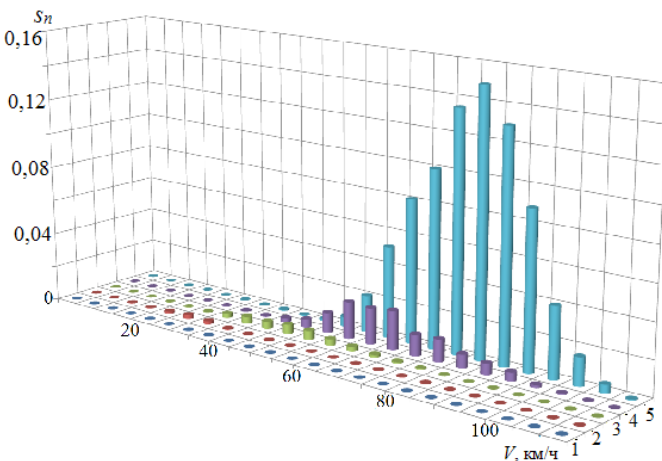
где  $s_n$  – относительный пробег на  $n$ -й передаче.

На рис. 6 приведены дискретные характеристики распределения скорости в зависимости от относительного пробега на каждой передаче.

На рис. 7–11 дискретные распределения скорости представлены отдельными точками, непрерывные аппроксимации дискретных зависимостей получены в результате их обработки методом наименьших средних квадратов. Экспериментальные распределения скорости могут быть аппроксимированы аналитическими выражениями. Установлено, что на дорогах с любым из исследованных типов макропрофилей распределения скоростей при движении на 1-й и 2-й передачах близки к логарифмически нормальному закону, а на высших передачах соответствуют нормальному закону.

Выражение для расчёта плотности вероятности скорости движения в заданном интервале (времени, пробега) для логарифмически нормального закона распределения имеет вид:

$$\rho(V_i) = \frac{\Delta V}{\sigma_{V_i} V_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln V_i - a)^2}{2\sigma_{V_i}^2}}, \quad (5)$$



**Рис. 6. Распределение скорости в зависимости от передачи и относительного пробега.**



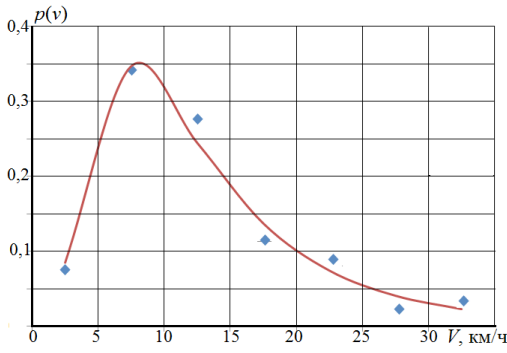


Рис. 7. Кривая распределения скорости, передача 1.

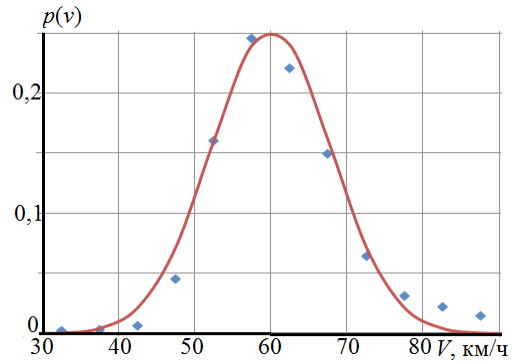


Рис. 10. Кривая распределения скорости, передача 4.

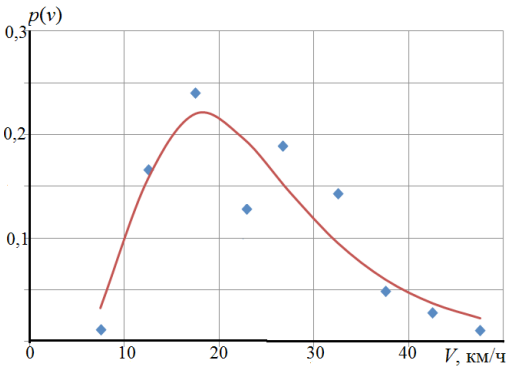


Рис. 8. Кривая распределения скорости, передача 2.

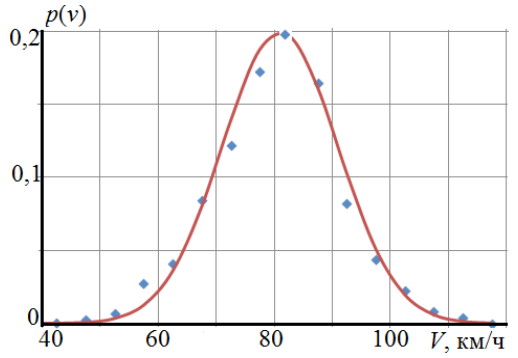


Рис. 11. Кривая распределения скорости, передача 5.

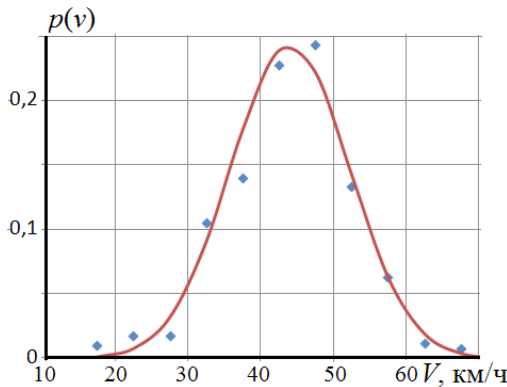


Рис. 9. Кривая распределения скорости, передача 3.

$$\rho(V_i) = \frac{\Delta V}{\sigma_{v_i} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V_i - \bar{V}_i)^2}{2\sigma_{v_i}^2}}, \quad (6)$$

где  $\bar{V}_i, \sigma_{v_i}$  – параметры распределения;

$$\Delta V = 5 \text{ км/ч}, V_{i(j+1)} = V_{i(j)} + \Delta V,$$

$$V_i = 0,5(V_{i(j)} + V_{i(j+1)}), V_i = (V_i^{\min}, V_i^{\max}),$$

$V_i^{\min}, V_i^{\max}$  – минимальное и максимальное значения диапазонов.

Параметры распределений скорости по пробегу в зависимости от передачи при движении автомобиля категории  $N_1$  по дорогам с макропрофилем типов Р, СХ, Х, С приведены в таблицах 3 и 4.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные и теоретические распределения скорости ТС и аппроксимирующие их аналитические зависимости позволяют моделировать движение автомобиля с целью аналитического исследования показателей эксплуатационных свойств по основным типам дорог средней

где  $a, \sigma_{v_i}$  – параметры распределения;  
 $V_{i(j+1)} = V_{i(j)} + \Delta V, \Delta V = 5 \text{ км/ч},$   
 $V_i = 0,5(V_{i(j)} + V_{i(j+1)}), V_i = (V_i^{\min}, V_i^{\max})$  – минимальное и максимальное значения диапазона изменения скорости.

Выражение для расчёта плотности вероятности скорости движения при нормальном законе распределения:

Таблица 3

## Параметры распределений скорости в зависимости от передачи для дорог типов Р и СХ

№ передачи	Параметры распределений скорости									
	a		$\bar{V}_i$		$\sigma_{v_i}$		$V_i^{\min}$		$V_i^{\max}$	
	Р	СХ	Р	СХ	Р	СХ	Р	СХ	Р	СХ
1	2,4	2,3	—	—	0,63	2,3	0	0	50	35
2	3,1	3,4	—	—	0,45	3,4	5	10	50	55
3	—	—	44	48	8,2	11	15	15	85	85
4	—	—	60	61	7,9	9	20	20	105	100
5	—	—	81	79	10	11	25	25	120	100

Таблица 4

## Параметры распределений скорости в зависимости от передачи для дорог типов Х и С

№ передачи	Параметры распределений скорости									
	a		$\bar{V}_i$		$\sigma_{v_i}$		$V_i^{\min}$		$V_i^{\max}$	
	Х	С	Х	С	Х	С	Х	С	Х	С
1	2,9	2,6	—	—	0,63	0,60	0	0	50	50
2	3,4	3,2	—	—	0,20	0,48	5	5	85	75
3	—	—	49	54	12	15,0	20	15	90	85
4	—	—	65	62	12	9,8	25	20	110	100
5	—	—	81	77	11	9,0	30	30	115	105

полосы РФ. Получаемые данные обеспечивают сравнительный анализ конструктивных вариантов узлов и агрегатов, или моделей ТС одной категории, или близких по основным массовым и техническим характеристикам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Feng Tyan, Yu-Fen Hong. Generation of random road profile. CSME: B04-0001. – 2006. – Pp. 1373–1377.
2. Зезюлин Д. В., Макаров В. С., Тумасов А. В., Огороднов С. М. Обоснование методов решения задачи оценки усталостной долговечности деталей и узлов подвески автомобилей // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. [Электронный ресурс]: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9695>. Доступ 31.08.2017.
3. Цитович И. С., Вавуло В. А., Хваль Б. Н. Зубчатые колёса автомобилей и тракторов: проектирование и расчёт. – Минск: Изд-во Минобразования БССР, 1962. – 396 с.
4. Кравец В. Н. Теория автомобиля: Учеб. пособие / Нижегород. гос. техн. ун-т им. П. Е. Алексеева. – 2-е изд., переработ. – Н. Новгород, 2013. – 413 с.

5. Бутарович Д. О., Смирнов А. А. Распределение относительных пробегов лёгких коммерческих автомобилей по результатам дорожных испытаний // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 6. – С. 28–32.

6. Ogorodnov, S. Methodology of Roadway Impacts Modeling to Predict the Fatigue Life of Vehicles / S. Ogorodnov, D. Zezyulin, V. Makarov, V. Belyakov. Acta Technica Jaurinensis. – 2014. – Vol. 7. – No. 3. – pp. 267–279, DOI: 10.14513/actatechjaur.v.n3.277.

7. Belyakov, V. Modeling of roads impacts for life prediction of light commercial vehicles part / V. Makarov, D. Zezyulin. – FISITA 2014 World Automotive Congress, the Netherlands, Maastricht, 2–6 June. – F2014-LWS-040.

8. Малеев С. И., Зезюлин Д. В., Макаров В. С. Разработка расчётно-экспериментальной оценки расхода топлива при движении автомобиля по заданному маршруту // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. [Электронный ресурс]: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14280>. Доступ 31.08.2017.

9. Мусарский Р. А. Математические модели колёсных экипажей: Учеб. пособие. – Н. Новгород: Нижегород. госуниверситет им. Н. И. Лобачевского, 2008. – 164 с.

10. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с. ●

Координаты авторов: **Огороднов С. М.** – [cte@mail.ru](mailto:cte@mail.ru), **Малеев С. И.** – [sergmaleev91@mail.ru](mailto:sergmaleev91@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 08.08.2017, принята к публикации 31.08.2017.

**Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (постановление правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218).**



## EXPERIMENT AND THEORY: DISTRIBUTION OF CHARACTERISTICS OF CAR MOTION

**Ogorodnov, Sergey M.**, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.

**Maleev, Sergey I.**, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.

### ABSTRACT

The main factor that forms the perturbation, acting on the car in operating conditions, is the speed of movement. Analytical studies of operational properties and reliability indicators are based on the characteristics of traffic – distribution of runs and speed, in some cases obsolete, or incomplete and not correlated with the characteristics of the macro profile of traffic routes. The data on research of

characteristics of the macro profile of country roads of the central Russia are given, their classification is offered. Stationary arrays of random values of relative mileages are allocated and the approximation of random speed distributions by analytic dependences is performed. The obtained results allow to simulate the car movement at early stages of design works and to improve the accuracy of the evaluation of parameters and characteristics studied.

**Keywords:** car, perturbation, macro profile, analytical studies, theoretical methods, experiment, approximation, distribution, mileage, speed, projection, motion model.

**Background.** The design of cars, the choice of design parameters of units and aggregates is carried out using mathematical (calculating) models [1–3]. Theoretical methods allow performing research of the dynamic properties of an object at early stages of design work. When studying a mathematical model, the significance of the final result depends to a large extent on the way in which the perturbations are formed. The movement of vehicles under operating conditions occurs with random variations in speed due to the longitudinal relief of the road (macro profile), the type of micro profile and the state of the road surface, infrastructure, traffic intensity and other factors, including subjective ones.

The speed of movement is recognized as a decisive factor that forms the perturbation of the supporting surface. Analytical studies of vibration loading, longevity, fuel efficiency and other operational properties of cars are based on characteristics that establish the relationship between the distance traveled (mileage) and the vehicle's travel time at a certain speed.

The main drawback of the methods of calculating the performance indicators of the car is an idealized idea of distribution of mileages in various transmissions of the gearbox [3]. They do not take into account the state of roads changed in recent years, the type of vehicle, traffic conditions and other factors. In addition, the techniques are based on the assumption of normal laws for the distribution of mileage (time of motion) on each of the gears and the speed of the car, depending on the mileage. In some cases, the distributions are refined by means of empirical coefficients [4].

Reliability of the results of calculations increases with the use of experimentally established distributions of relative mileages or approximating their analytical dependencies, correlated with the type of road macro profile (terrain). The main difference between the obtained experimental data on the distribution of the mileages is the increase in the mileage fraction on the higher–fifth gear and the decrease in the mileage fraction in the third and fourth gears. The explanation of this fact may be due to an increase in the speed of movement of cars outside the city, due to the increase in the specific power of the engine. The results of this kind are confirmed, in particular, by the work closely related to the subjects of the tasks, performed at the Bauman MSTU [5].

In this article we give information about the experimental studies performed by the authors [6–8]:

- macro profile of suburban roads of the central Russia (Nizhny Novgorod region), their systematization is proposed, depending on the type of terrain;
- distributions of time and mileages on each of the gears and for different routes;
- distributions of relative values of mileages time of movement, depending on the speed and the gear used.

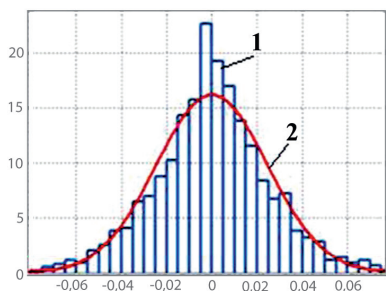
**Objective.** The objective of the authors is to consider different aspects connected with distribution of characteristics of car movement.

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

### Results.

#### Research of roads' macro profile

The routes chosen within Nizhny Novgorod region were characterized by terrain relief and the presence of a ravine-girder net. Their length was from 50 to 150 km and depended on the longitudinality of the relief. The parameters of the longitudinal angles distributions of the macro profile of the traffic routes are determined by the method of recording geographic coordinates and gradients of the road using the Google Earth application. To assess the statistical reliability of the obtained characteristics, further experimental studies of the macro profile were carried out. It is established that the necessary conditions for the stationarity of the random processes under investigation are fulfilled at a size of selective realizations of 60 km for a strongly crossed terrain and 40 km for a terrain with a small number of gentle hills.



**Fig. 1. Characteristics of the macro profile:**  
1 – discrete experimental;  
2 – distribution density of the normal law.

To determine the law of distribution and quantitative characteristics of the distribution density of longitudinal angles (inclinations) of the road, a data processing technique with a conventional geospatial «mileage–height above sea level» was applied [6]. It was noted that the approximation of the experimentally obtained discrete dependence of the distribution curve of the normal law (Pic. 1) cannot be considered successful. The discrepancy between the density distribution of the longitudinal angles of the macro profile is normal due to technological impacts on the surface during the construction of country roads, as a result of which relatively small inclinations of the path are smoothed out, and descents and lifts of considerable length change significantly less. The analytical dependence, which is more in line with the experimentally obtained discrete distribution, consists of two components with normal distribution laws and can be represented by the expression

$$p(\alpha_i) = k_1 \frac{\Delta\alpha}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\alpha_i)^2}{2\sigma_1^2}} + k_2 \frac{\Delta\alpha}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\alpha_i)^2}{2\sigma_2^2}}, \quad (1)$$

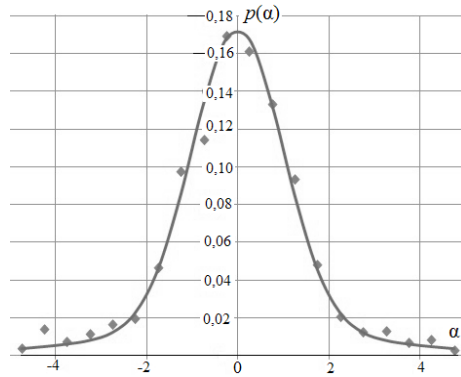
where  $\sigma_1, \sigma_2, k_1, k_2$  are distribution parameters,  $(k_1 + k_2) = 1, \alpha_{(j+1)} = \alpha_j + \Delta\alpha, \Delta\alpha = 0,5^\circ, \alpha_i = 0,5(\alpha_j + \alpha_{(j+1)})$ . Pic. 2 shows the characteristic of the distribution density of longitudinal angles of the macro profile of the test section, obtained by approximating the discrete experimental dependence by means of the expression (1).

As a result of the research, the systematization of types of road macro-profile according to the degree of «hilliness» is proposed, differing: maximum values of longitudinal angles  $\alpha_{max}$ ; the maximum values of the probability density  $p(0)$  for  $\alpha = 0$ ; the probability density  $p(1^\circ), p(2^\circ), p(3^\circ)$ , corresponding to the longitudinal angles of the macro profile  $\alpha$  equal to  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ .

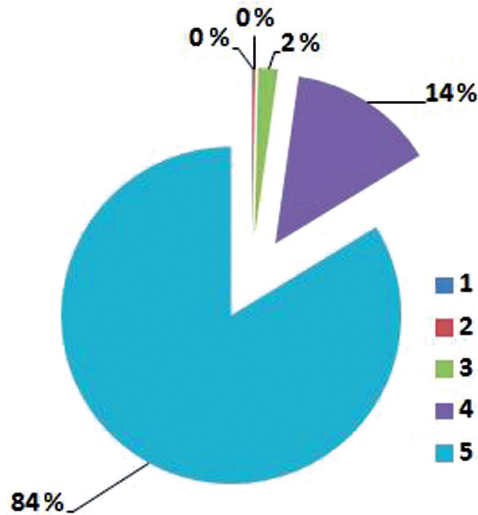
Among the chosen routes of movement with an unambiguous trend of characteristics of the macro profile there are those in which relatively flat and long sections of the path are replaced by long steep ascent and descent. They are classified as a «complex macro profile». The designations of macro profile types in accordance with the values of the probability density of longitudinal angles and the degree of «hilliness» of the road, proposed by the authors, are listed in Table 1 and have conditionality.

#### Methods of testing and data processing

The object of the study was a light commercial vehicle GAZelle NEXT with a load capacity of 1,5 tons with a diesel engine CUMMINS ISF 2.8 equipped with an electronic control unit. The structure of the unit includes a CAN bus intended for the transmission of control and information commands. The bus signals were processed using the optional Electronic control module (ECM), which provides the registration of: crankshaft speed, instantaneous vehicle speed, travel time, instant fuel consumption and other parameters. The ECM device records signals at a predetermined time interval of 0.8 seconds. The method of recording and processing sensor signals gives an idea of the



Pic. 2. The probability density of longitudinal slopes of the road macro profile.



Pic. 3. Relative mileage on gears.

continuous uneven movement of the car, consisting of individual modes (acceleration, constant speed, deceleration), a set of variations of modes within which the speed was assumed to be constant.

Tests were conducted with the most intensive traffic on the road. In order to exclude the influence of subjective factors on the mode of the car's movement, the drivers periodically changed during the test runs. The sections of routes on which the speed of the car was determined by random factors were not taken into account when registering the parameters. The length of the routes was 350–520 km. The measurements were carried out with the vehicle moving in the forward and backward directions.

#### Estimation of statistical characteristics

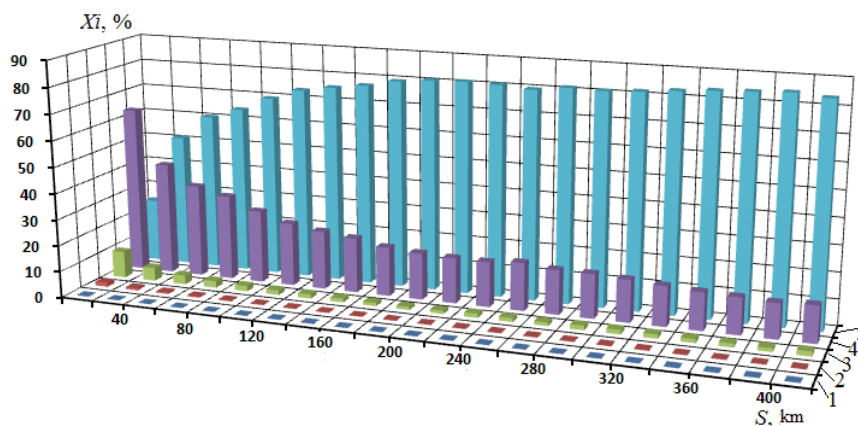
When calculating the operational performance of the vehicle with analytical methods [4, 5, 8, 9], not only the duration of the movement, but also the

Systematization of macro profile types

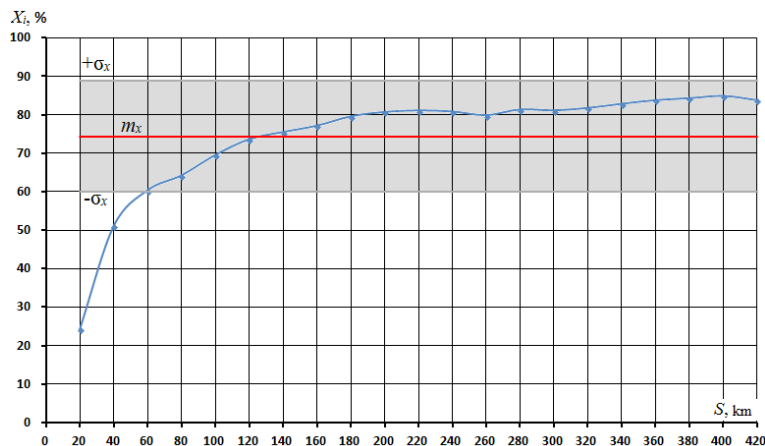
Name	Designation	$\alpha_{max}, ^\circ$	$p(0)$	$p(1^\circ)$	$p(2^\circ)$	$p(3^\circ)$
Smooth	P	2,75	0,430	0,290	0,007	–
Average hilly	CX	4,75	0,171	0,011	0,034	0,012
Hilly	X	4,75	0,190	0,089	0,046	0,180
Complex	C	4,75	0,214	0,078	0,039	0,210

Table 1





**Pic. 4. Discrete sets of random values of relative mileages, depending on the sample size and gear.**



**Pic. 5. Relative mileage, depending on the sample size and gear.**

possible changes in speed on each of the gears is important.

The duration of the movement is measured by time or mileage. Analysis of the vehicle's movement along the test routes is performed using the experimental distributions of random discrete values of the mileage (time) and the speed of movement, depending on the gear. Random characteristics of the mileage (time) can be considered as relative. Relative mileage is the ratio of the total mileage in a given gear to the length of the route. Relative time is the ratio of

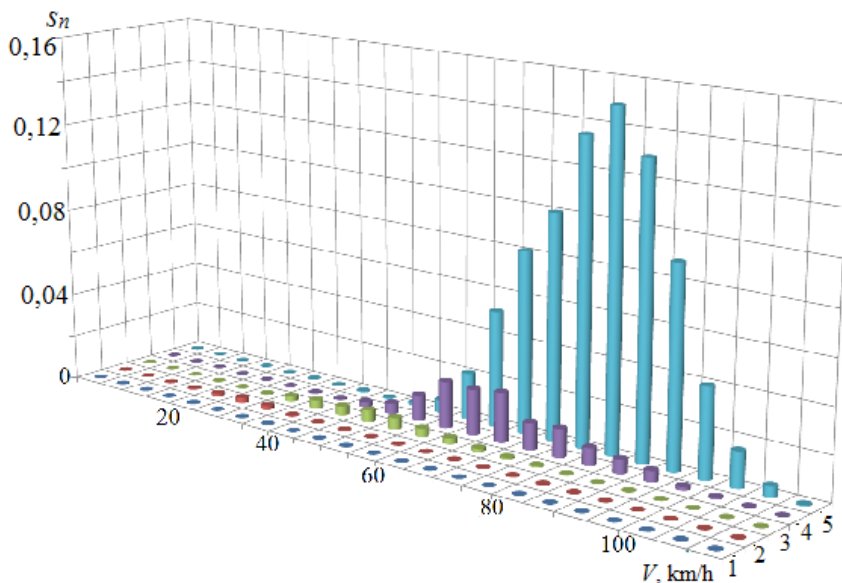
the total time of movement in a given gear to the time of travel within the route.

To obtain statistically reliable information about the laws of the distribution of the speed of motion, studies of the character of the stationarity of random discrete sets (a variation series) of the values of the relative mileages on each of the gears are performed, depending on the values of the relative mileages. Variational series are obtained as functions of the sizes of sample realizations (sample). Arrays of experimental data, corresponding to stationary samples of random

**Table 2**

**Moment functions and coefficients of variation of the relative mileages on the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> gears, depending on the type of macro profile**

Type of macro profile of the route	No. gear	Sample size, $x$ , km	Mean value of relative mileages, $m_x$	Mean square deviation, $\sigma_x$	Variation coefficient, $V_x, \%$
Smooth	4	300	0,167	0,022	13,9
	5		0,783	0,025	3,2
Average hilly	4	340	0,195	0,017	8,5
	5		0,720	0,036	5,0
Hilly	4	260	0,144	0,012	8,5
	5		0,798	0,019	2,4
Complex	4	240	0,171	0,013	1,7
	5		0,789	0,016	9,2



**Pic. 6. Speed distribution depending on the gear and relative mileage.**

processes of relative mileages, make it possible to obtain full information during processing.

As an example, the procedure for processing experimental data obtained by driving a vehicle along a 420 km route to the corresponding P-type road (Table 1) with good quality road pavement is given as an example. Taking into account the priority determined by the magnitude of the mileages on the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> gears (98 % of the length of the route), the stationary conditions of sample realizations of relative mileages are studied (Pic. 3).

To estimate stationarity of a random variable, the coefficient of variation  $V_x$  is used as a relative measure of the deviation of mean square values from its arithmetic mean value:

$$V_x = \frac{\sigma_x \cdot 100\%}{m_x}, \quad (2)$$

where  $m_x$  is average value of the random variable,  $\sigma_x$  is standard deviation.

In technical tasks, a random process is considered to be practically stationary at values of the coefficient of variation less than 10 %, and conditionally stationary – at values of the coefficient not exceeding 20 %.

Pic. 4 shows the distribution of the relative mileages  $X_i$  when moving on the 5<sup>th</sup> gear, depending on the sample size  $s_i$  and gear. To reduce the complexity of processing the test results, the sample sizes were taken as a multiple of 20 km. The calculation of arithmetic mean and mean-square values of relative mileages, variation coefficients is performed separately for each sample. The most complete sample of 420 km in size (the length of the route) has a relatively large variation in the values of the relative ranges  $X_i$  and the small equalization of the discrete series of values due to the initial stage (Pic. 5). The established feature of the distribution testifies to the possible nonstationarity of the process under study. The relative equalization of a discrete series of values of relative mileages occurs when the reference point is shifted by at least 80 km.

From this moment, the values of the coefficient of variation for the samples do not differ significantly, the variability of the variational series should be

considered insignificant, and the process is practically stationary.

Results of the calculation of moment functions and coefficients of variation, depending on the type of macro profile and gear in Table 2.

#### Distributions of motion speed

It is established that the speed of the car is a multiparameter function and depends on the characteristics of the macro profile of the route sections, gear and a number of subjective factors.

In the construction of speed distributions, depending on the gear used and the relative mileage (Pic. 6), arrays of random variables of relative mileages corresponding to the stationarity condition are allocated from the data array and the corresponding arrays of speed data. For each gear, a range of speed changes is set, which is divided into intervals  $\Delta V_i = 5$  km/h. In the intervals  $\Delta V_i$ , the instantaneous (measured) values of the speed  $V_i$  greater or equal to the minimum value of the speed  $V_{i\min}$  of the interval « $n$ », and smaller than the maximum speed  $V_{i\max}$  of this interval are assigned.

The next step of the data processing algorithm determines the relative mileage values for the  $\Delta V_i$  intervals in the speed range of each gear.

Within the sampling implementation, the distance traveled during the travel time on each gear is found in accordance with the expression

$$s_{\Sigma n} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m s_i = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^m v_i t_{vi}, \quad (3)$$

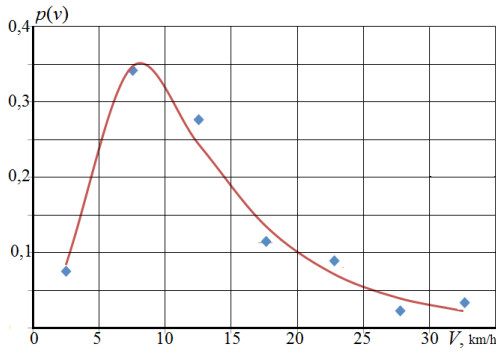
where  $s_{\Sigma n}$  is total mileage on the gear;  $n$  – gear number;  $v_i$  – speed within the interval  $\Delta V_i$ ;  $t_{vi}$  – time of movement at a speed  $v_i$  within the interval  $\Delta V_i$ ;  $s_i$  – mileage at a speed  $v_i$ ;  $k$  – number of intervals  $\Delta V_i$  in the range of speed change on the gear  $n$ ;  $m$  – number of measured values of speed within the interval.

The relative mileage on the gear is determined by the expression

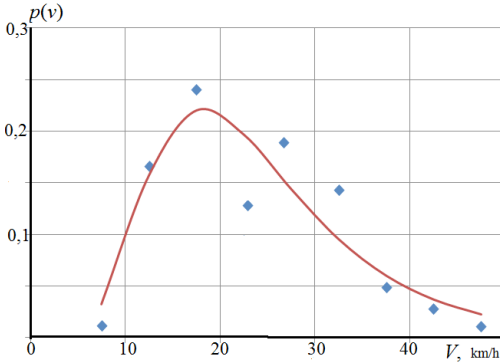
$$s_n = \frac{s_{\Sigma n}}{\sum_{n=1}^5 s_{\Sigma n}}, \quad (4)$$

where  $s_n$  is relative mileage on the  $n$ -th gear.

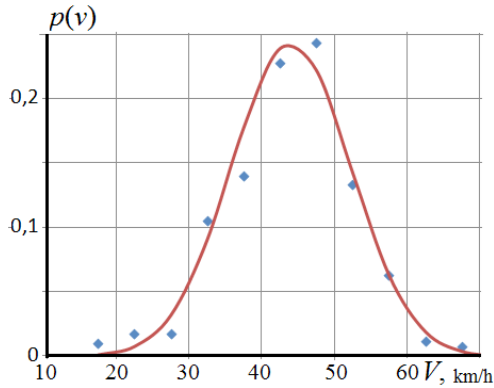




**Pic. 7. Curve of speed distribution, gear 1.**



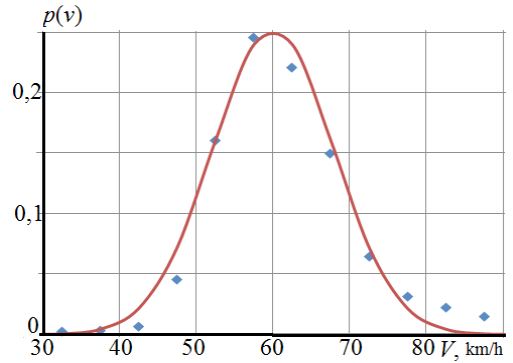
**Pic. 8. Curve of speed distribution, gear 2.**



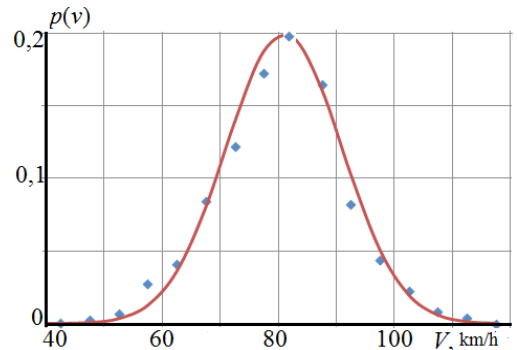
**Pic. 9. Curve of speed distribution, gear 3.**

Pic. 6 shows the discrete characteristics of the speedy distribution as a function of the relative mileage in each gear.

In Pic. 7–11 discrete speed distributions are represented by separate points, continuous approximations of discrete dependencies are obtained as a result of their processing by the method of least mean squares. Experimental speed distributions can be approximated by analytic expressions. It is established that on roads with any of the types of macro profiles examined, the speed distributions when moving on the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> gears are close to the logarithmically normal law, and on higher gears they correspond to the normal law. The expression for calculating the probability density of the speed of motion in a given interval (time, mileage)



**Pic. 10. Curve of speed distribution, gear 4.**



**Pic. 11. Curve of speed distribution, gear 5.**

for the log-normal distribution law has the form:

$$\rho(V_i) = \frac{\Delta V}{\sigma_{v_i} V_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln V_i - a)^2}{2\sigma_{v_i}^2}}, \quad (5)$$

where  $a, \sigma_{v_i}$  – distribution parameters;  $V_{(j+1)} = V_{(j)} + \Delta V$ ,  $\Delta V = 5 \text{ km/h}$ ,  $V_i = 0,5(V_{(j)} + V_{(j+1)})$ ,  $V_i = (V_i^{\min}, V_i^{\max})$  – minimum and maximum values of the range of speed change.

The expression for calculating the probability density of the speed of motion under the normal distribution law:

$$\rho(V_i) = \frac{\Delta V}{\sigma_{v_i} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V_i - \bar{V}_i)^2}{2\sigma_{v_i}^2}}, \quad (6)$$

where  $\bar{V}_i, \sigma_{v_i}$  – distribution parameters;  $\Delta V = 5 \text{ km/h}$ ,

$V_{(j+1)} = V_{(j)} + \Delta V$ ,  $V_i = 0,5(V_{(j)} + V_{(j+1)})$ ,  $V_i = (V_i^{\min}, V_i^{\max})$ ,  $V_i^{\min}, V_i^{\max}$  – minimum and maximum values of the ranges.

The parameters of the speed distribution by mileage, depending on the gear when driving a car category N, on roads with a macro profile of types P, CX, X, C are given in Tables 3 and 4.

**Conclusion.** The experimental and theoretical vehicle speed distributions and the analytical dependencies approximating them make it possible to simulate the movement of a car for the purpose of an analytical study of the performance indicators for the main types of roads in the central part of the Russian Federation. The obtained data provide a comparative analysis of design variants of units and



Table 3

## Parameters of speed distributions depending on the gear for roads of types P and CX

No. gear	Parameters of speed distribution									
	$a$		$\bar{V}_i$		$\sigma_{V_i}$		$V_i^{\min}$		$V_i^{\max}$	
	P	CX	P	CX	P	CX	P	CX	P	CX
1	2,4	2,3	–	–	0,63	2,3	0	0	50	35
2	3,1	3,4	–	–	0,45	3,4	5	10	50	55
3	–	–	44	48	8,2	11	15	15	85	85
4	–	–	60	61	7,9	9	20	20	105	100
5	–	–	81	79	10	11	25	25	120	100

Table 4

## Parameters of speed distributions depending on the gear for roads of types X and C

No. gear	Parameters of speed distribution									
	$a$		$\bar{V}_i$		$\sigma_{V_i}$		$V_i^{\min}$		$V_i^{\max}$	
	X	C	X	C	X	C	X	C	X	C
1	2,9	2,6	–	–	0,63	0,60	0	0	50	50
2	3,4	3,2	–	–	0,20	0,48	5	5	85	75
3	–	–	49	54	12	15,0	20	15	90	85
4	–	–	65	62	12	9,8	25	20	110	100
5	–	–	81	77	11	9,0	30	30	115	105

aggregates, or models of vehicles of one category, or close by the main mass and technical characteristics.

## REFERENCES

- Feng Tyan, Yu-Fen Hong. Generation of random road profile. CSME: B04–0001, 2006, pp. 1373–1377.
- Zezyulin, D. V., Makarov, V. S., Tumasov, A. V., Ogorodnov, S. M. Substantiation of methods for solving the problem of estimating fatigue life of car suspension parts and components [*Obosnovanie metodov reshenija zadachi ocenki ustalostnoj dolgovechnosti detalej i uzlov podveski avtomobilej*]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2013, Iss. 4. [Electronic resource]: <https://science-education.ru/en/article/view?id=9695>. Last accessed 31.08.2017.
- Tsitovich, I. S., Vavulo, V. A., Khval, B. N. Gear wheels of cars and tractors: design and calculation [*Zubchatye koljosa avtomobilej i traktorov: proektirovanie i raschjot*]. Minsk, Izd-vo Minobrazovanija BSSR, 1962, 396 p.
- Kravets, V. N. Car theory: Educational guide [*Teorija avtomobilja: Ucheb. posobie*] / Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev, 2<sup>nd</sup> ed., rev. Nizhny Novgorod, 2013, 413 p.
- Butarovich, D. O., Smirnov, A. A. Distribution of relative mileages of light commercial vehicles according to the results of road tests [*Raspredelenie odnositel'nyh probegov ljogkih kommercheskih avtomobilej po rezul'tatam dorozhnyh*

*ispytaniij*]. *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*, 2013, Iss. 6, pp. 28–32.

- Ogorodnov, S. Methodology of Roadway Impacts Modeling to Predict the Fatigue Life of Vehicles / S. Ogorodnov, D. Zezyulin, V. Makarov, V. Belyakov. *Acta Technica Jaurinensis*, 2014, Vol. 7, Iss. 3, pp. 267–279.
- Belyakov, V. Modeling of roads impacts for life prediction of light commercial vehicles part / V. Makarov, D. Zezyulin. – FISITA 2014 World Automotive Congress, the Netherlands, Maastricht, 2–6 June, Vol. 2, pp. 2817–2823.
- Maleev, S. I., Zezyulin, D. V., Makarov, V. S. Development of a calculation and experimental estimate of fuel consumption for vehicle movement along a given route [*Razrabotka raschjotno-eksperimental'noj ocenki rashoda topliva pri dvizhenii avtomobilja po zadannomu marshrutu*]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2014, Iss. 4. [Electronic resource]: <https://science-education.ru/en/article/view?id=14280>. Last accessed 31.08.2017.
- Musarsky, R. A. Mathematical models of wheeled vehicles: Educational guide [*Matematicheskie modeli koljosnyh jekipazhej: Ucheb. posobie*]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University n.a. N. I. Lobachevsky, 2008, 164 p.
- Venttsel, E. S., Ovcharov, L. A. The theory of probability and its engineering applications [*Teorija verojatnostej i ejo inzhenernyje prilozhenija*]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 2000, 480 p. ●

Information about the authors:

**Ogorodnov, Sergey M.** – Ph.D. (Eng), associate professor at the department of Automobiles and Tractors of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, cte@mail.ru.  
**Maleev, Sergey I.** – assistant at the department of Automobiles and Tractors of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, sergmaleev91@mail.ru.

Article received 08.08.2017, accepted 31.08.2017.

The studies were carried out with financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the project under contract No. 02.G25.31.0006 dated 12.02.2013 (Decree of the Government of the Russian Federation No. 218 dated April 9, 2010).





# Решение транспортной задачи методом последовательного уменьшения её размерности



Виктор ИВНИЦКИЙ  
Victor A. IVNITSKY

Андрей МАКАРЕНКО  
Andrey A. MAKARENKO



*Ивницкий Виктор Аронович – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Макаренко Андрей Александрович – студент Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

## Solution of the Transport Problem by the Method of Successively Decreasing its Dimension

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 39)

**В статье рассматривается решение транспортной задачи двумя способами: методом северо-западного угла и методом минимального элемента. В результате анализа доказывается, что метод минимального элемента позволяет сократить количество итераций в несколько раз.**

**При решении сложных задач большой размерности выбор рационального метода играет определяющую роль, что и демонстрирует способ последовательного уменьшения подобной размерности посредством используемых алгоритмов оптимизации распределения поставок (перевозок) товара.**

*Ключевые слова:* транспортная задача, логистика, оптимизация, программирование, методы решения, размерность, алгоритмы.

**Т**ранспортная задача – это поиск оптимального распределения поставок однородного товара от поставщиков к потребителям при известных затратах на перевозку (тарифах) между пунктами отправления и назначения. Является задачей линейного программирования специального вида. Решение её начинается с нахождения опорного плана.

В публикуемой статье сравниваются два способа решения такой задачи:

1. Опорный план формируется методом северо-западного угла.

2. Опорный план найден методом минимального элемента.

Искомый результат решения транспортной задачи: все заявки удовлетворены, все запасы исчерпаны, суммарная стоимость всех перевозок минимальна. Методы решения сводятся к операциям с таблицей, где в определённом порядке записаны все условия задачи. Такая таблица называется транспортной. В ней записываются:

- пункты отправления и назначения;
- запасы, имеющиеся в пунктах отправления (ПО);
- заявки, поданные пунктами назначения (ПН);

Образец транспортной таблицы

ПО / ПН	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$	Запасы $a_i$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	$a_1$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$	$a_2$
...	...	...	...	...	...
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$	$a_m$
Заявки $b_j$	$b_1$	$b_2$	...	$b_n$	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

– стоимости перевозок из каждого пункта отправления в каждый пункт назначения.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Имеется  $m$  пунктов отправления:  $A_1, \dots, A_m$ , в которых сосредоточены запасы какого-то однородного товара (груза) в количестве  $a_1, \dots, a_m$  единиц. Кроме того, известны  $n$  пунктов назначения:  $B_1, \dots, B_n$ , подавших заявку соответственно на  $b_1, \dots, b_n$  единиц товара. Предполагается, что сумма всех заявок равна сумме всех запасов:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j.$$

Установлена стоимость  $a_{ij}$  перевозки единицы груза от каждого пункта отправления до каждого пункта назначения. Таблица (матрица) стоимостей перевозки  $a_{ij}$  единиц груза задана в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Размерностью этой матрицы  $m \cdot n$  можно определять и размерность самой транспортной задачи.

Требуется составить такой план перевозок, при котором все заявки были бы выполнены, и при этом общая стоимость перевозок оказалась минимальна. При такой постановке задачи показателем эффективности плана является стоимость.

Обозначим  $x_{ij}$  – количество груза, перевозимого из пункта отправления  $A_i$  в пункт назначения  $B_j$ . Неотрицательные переменные  $x_{ij}$  должны удовлетворять следующим условиям:

1. Суммарное количество груза, направляемого из каждого пункта отправления во

все пункты назначения, должно быть равно запасу груза в своём пункте. Это даёт  $m$

условий равенств:  $\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, \dots, m$ .

2. Суммарное количество груза, доставляемого в каждый пункт назначения из всех пунктов отправления, должно быть равно заявке, поданной соответствующим пунктом. Это даёт  $n$  условий равенств:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, \dots, n.$$

3. Суммарная стоимость всех перевозок должна быть минимальной, т.е. должен

быть найден  $\min_{x_{11}, \dots, x_{mn}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij}$ .

Стоимости перевозок помещаются в правом верхнем углу каждой ячейки таблицы 1, чтобы в самой ячейке при составлении плана помещать перевозки  $x_{ij}$  (см. таблицу 1).

Ранг системы ограничений-уравнений равен  $r = m + n - 1$ , где  $m$  – число строк,  $n$  – число столбцов транспортной таблицы. В каждом опорном плане будут отличны от нуля не более  $m + n - 1$  перевозок. Ячейки таблицы, в которых будем записывать отличные от нуля перевозки, называются базисными, а остальные (пустые) – свободными.

Решение задачи сводится к следующему. Надо найти те значения перевозок, которые, будучи проставлены в базисных клетках транспортной таблицы, удовлетворяли бы таким условиям:

– сумма перевозок в каждой строке таблицы должна быть равна запасу данного ПО;

– сумма перевозок в каждом столбце должна быть равна заявке данного ПН;

– общая стоимость перевозок – минимальная.



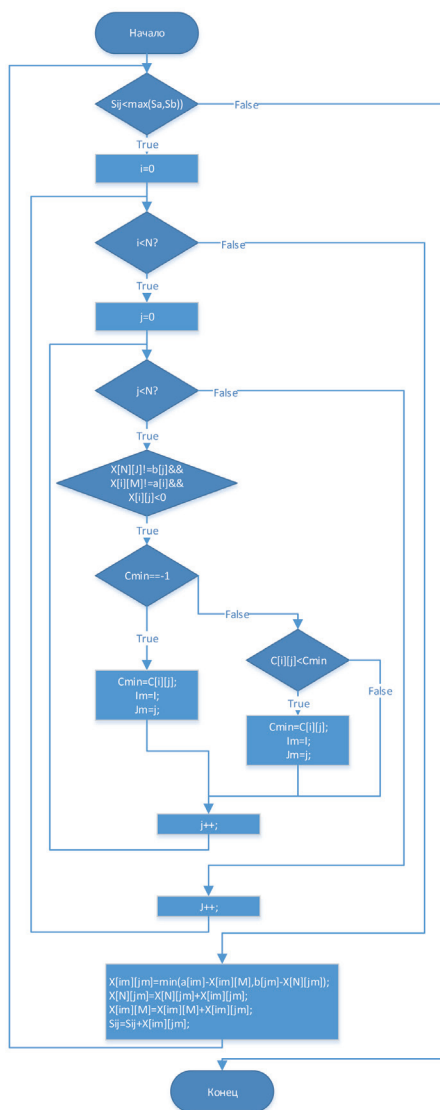


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы программы.

## СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ

Метод северо-западного угла рассчитан на получение доступного начального решения транспортной задачи. Был предложен Дж. Данцигом в 1951 г. и позднее назван «правилом северо-западного угла» (Чарнес, Купер). Суть метода в последовательном переборе строк и столбцов транспортной таблицы, начиная с левого столбца и верхней строки, и выписывании максимально возможных отгрузок в соответствующие ячейки таблицы так, чтобы не были превышены заявленные в задаче ресурсы поставщика или потребности товарополучателя. На цены доставки метод не акцентирован, поскольку

в дальнейшем ожидается оптимизация отгрузок.

Метод последовательного уменьшения размерности транспортной задачи (метод минимального элемента) состоит в использовании следующего алгоритма.

1. Находим клетку таблицы 1 с минимальной стоимостью перевозки единицы груза, т.е.  $\min_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} a_{ij}$ , где  $i$  – номер пункта

отправления (ПО),  $j$  – номер пункта назначения (ПН).

2. В этой клетке будет находиться стоимость  $a_{i_1, j_1}$  и номер клетки равен  $(i_1, j_1)$ , то есть она находится на пересечении  $j_1$ -го столбца с заявкой  $b_{j_1}$  и  $i_1$ -й строки с запасом  $a_{i_1}$ .

3. Далее находим  $\min(a_{i_1}, b_{j_1})$ .

4. Если  $\min(a_{i_1}, b_{j_1}) = a_{i_1}$ , то в клетку с номером  $(i_1, j_1)$  ставим перевозку  $x_{i_1, j_1} = a_{i_1}$ , запас  $a_{i_1}$  полагается равным нулю и строка  $A_{i_1}$  вычёркивается. При этом транспортная задача исходной размерности  $m \cdot n$  превращается в транспортную задачу размерности  $(m - 1) \cdot n$ . Стоимость обслуживаемой перевозки будет равна  $a_{i_1} \cdot a_{i_1, j_1}$ .

5. Если  $\min(a_{i_1}, b_{j_1}) = b_{j_1}$ , то в клетку с номером  $(i_1, j_1)$  ставим перевозку  $x_{i_1, j_1} = b_{j_1}$ , заявка  $b_{j_1}$  полагается равной нулю и столбец  $B_{j_1}$  вычёркивается. При этом транспортная задача исходной размерности  $m \cdot n$  превращается в транспортную задачу размерности  $m \cdot (n - 1)$ . Стоимость перевозки будет  $b_{j_1} \cdot a_{i_1, j_1}$ .

6. Если  $\min(a_{i_1}, b_{j_1}) = a_{i_1} = b_{j_1}$ , то в клетку с номером  $(i_1, j_1)$  ставим перевозку  $x_{i_1, j_1} = b_{j_1} = a_{i_1}$ , запас  $a_{i_1}$  полагается равным нулю и строка  $A_{i_1}$  вычёркивается и заявка  $b_{j_1}$  полагается равной нулю и столбец  $B_{j_1}$  вычёркивается. Стоимость перевозки  $b_{j_1} \cdot a_{i_1, j_1} = a_{i_1} \cdot a_{i_1, j_1}$ .

7. При этом транспортная задача исходной размерности  $m \cdot n$  превращается в транспортную задачу размерности  $(m - 1) \cdot (n - 1)$ .

8. Далее в видоизменённой таблице 1 находим клетку с минимальной стоимостью перевозки единицы груза, т.е.

$\min_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} a_{ij}$ , где  $i$  – номер пункта отправления,  $j$  – номер пункта назначения.

9. Затем повторяются пункты 2–7 алгоритма до тех пор, пока не будут вычеркнуты все строки и столбцы таблицы 1.

```

//Макаренко А.А. УИС-411
float Sij = 0;
do
{
int im;
int jm;
int Cmin = -1;
for(int i = 0; i < N; i++)
for(int j = 0; j < M; j++)
if(X[N][j] != b[j])
if(X[i][M] != a[i])
if(X[i][j] < 0)
{
if(Cmin == -1)
{
Cmin = C[i][j];
im = i;
jm = j;
}
else
if(C[i][j] < Cmin)
{
Cmin = C[i][j];
im = i;
jm = j;
}
}

X[im][jm] = min(a[im]-X[im][M], b[jm]-X[N][jm]);
X[N][jm] = X[N][jm] + X[im][jm];
X[im][M] = X[im][M] + X[im][jm];
Sij = Sij + X[im][jm];

} while(Sij < max(Sa, Sb));

```

Рис. 2. Код программы. Построение начального опорного плана методом минимального элемента.

Максимальное число шагов предлагаемого алгоритма равно  $n + m - 1$ . Минимальное число шагов  $\lfloor \frac{n+m-1}{2} \rfloor$ , т.е. целая часть от  $\frac{n+m-1}{2}$  плюс 1.

Опишем теперь алгоритм поиска клетки таблицы 1 с минимальной стоимостью перевозки единицы груза.

1. Выделяем три ячейки для хранения текущего минимума стоимости перевозки единицы груза и координат этой стоимости: номера строки и номера столбца. В эти три ячейки записываем последовательно значение вектора  $(a_{1,1}, 1, 1)$ .

2. В верхней строке таблицы 1 берём вектор  $(a_{1,2}, 1, 2)$ .

3. Проверяем выполнение неравенства  $a_{1,1} > a_{1,2}$ . Если оно выполняется, то в выде-

ленные три ячейки для хранения текущего минимума стоимости перевозки единицы груза и координат этой стоимости записываем последовательно значение вектора  $(a_{1,2}, 1, 2)$ . Если оно не выполняется, то в выделенных ячейках ничего не изменяется.

4. Далее п. 3 выполняется для всех оставшихся стоимостей первой строки.

5. Затем пп. 3 и 4 выполняются для всех последующих строк таблицы 1.

Таким образом, находим клетку таблицы с минимальной стоимостью перевозки единицы груза.

## ВЫВОДЫ

Проведя ряд опытов, можно убедиться, что построение начального опорного плана с помощью метода минимального





# SOLUTION OF THE TRANSPORT PROBLEM BY THE METHOD OF SUCCESSIVELY DECREASING ITS DIMENSION

Ivnitsky, Victor A., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

Makarenko, Andrey A., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

## ABSTRACT

The article considers the solution of the transport problem in two ways: by the method of the north-western angle and the method of the minimal element. As a result of the analysis, it is proved that the minimal element method allows to reduce the number of

iterations by several times. In solving complex problems of large dimension, the choice of a rational method plays a decisive role, which is demonstrated by the method of successively reducing this dimension by means of the algorithms used to optimize the distribution of shipments of goods.

**Keywords:** transport problem, logistics, optimization, programming, decision methods, dimension, algorithms.

**Background.** The transport problem is the search for the optimal distribution of supplies of a homogeneous product from suppliers to consumers at known costs of transportation (tariffs) between origin and destination points. It is a linear programming task of a special kind. Its solution begins with finding a basic plan.

In the article published, two ways of solving this problem are compared:

1. The basic plan is formed by the method of the north-western angle.
2. The basic plan is found by the method of the minimal element.

The required result of solving the transport problem: all applications are satisfied, all stocks are exhausted, the total cost of all transportation is minimal. The solution methods are reduced to operations with the table, where in a certain order all the conditions of the problem are written down. Such a table is called a transport table. It records:

- points of departure and destination;
- stocks available at departure points (DepP);
- applications submitted by destination points (DesP);
- cost of transportation from each point of departure to each destination.

**Objective.** The objective of the authors is to consider the solution of the transport problem in two ways: by the method of the north-western angle and the method of the minimal element.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, mathematical analysis, north-western angle method, minimal element method.

## Results.

**Formulation of the problem**

There are  $m$  departure points:  $A_1, \dots, A_m$ , in which the stocks of some homogeneous goods (cargo) are concentrated in the amount of  $a_1, \dots, a_m$  units. In addition,  $n$  destination points are known:  $B_1, \dots, B_n$ , who applied for  $b_1, \dots, b_n$  units of goods, respectively. It

is assumed that the sum of all applications is equal to

the sum of all stocks:  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ . The cost  $a_{ij}$  of

transportation of a unit of cargo from each point of departure to each point of destination has been established. The table (matrix) of transportation costs  $a_{ij}$  of the unit of cargo is given in the following form:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

The dimension of this matrix  $m \cdot n$  can also be used to determine the dimension of the transport problem itself.

It is required to make such a plan of transportation, in which all applications would have been fulfilled, and the total cost of all transportations would be minimal. With such a statement of the problem, the indicator of the efficiency of the transportation plan is the cost.

Let  $x_{ij}$  be the amount of cargo sent from the departure point  $A_i$  to the destination point  $B_j$ . Non-negative variables  $x_{ij}$  must satisfy the following conditions:

1. The total amount of cargo sent from each point of departure to all destinations should be equal to the cargo stock at this point. This gives  $m$  conditions for the equalities:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, \dots, m.$$

2. The total amount of cargo delivered to each destination point from all points of departure must be equal to the application filed by the relevant paragraph. This gives  $n$  conditions for the equalities:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, \dots, n.$$

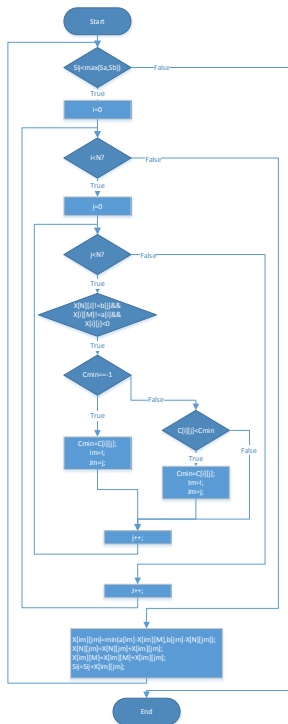
3. The total cost of all transportation should be minimal, i.e.  $\min_{x_{11}, \dots, x_{mn}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij}$  must be found.

Table 1

Sample of a transport table

DepP / DesP	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$	Stocks $a_i$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	$a_1$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$	$a_2$
...	...	...	...	...	...
$A_m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$	$a_m$
Applications $b_j$	$b_1$	$b_2$	...	$b_n$	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$





**Pic. 1. Block diagram of the program operation algorithm.**

```
//Makarenko A.A. UIS-411
float Sij = 0;
do
{
    int im;
    int jm;
    int Cmin = -1;
    for(int i = 0; i < N; i++)
    for(int j = 0; j < M; j++)
    if(X[N][j] != b[j])
    if(X[i][M] != a[i])
    if(X[i][j] < 0)
    {
        if(Cmin == -1)
        {
            Cmin = C[i][j];
            im = i;
            jm = j;
        }
        else
        if(C[i][j] < Cmin)
        {
            Cmin = C[i][j];
            im = i;
            jm = j;
        }
    }
    X[im][jm] = min(a[im] - X[im][M], b[jm] - X[N][jm]);
    X[N][jm] = X[N][jm] + X[im][jm];
    X[im][M] = X[im][M] + X[im][jm];
    Sij = Sij + X[im][jm];
} while(Sij <= max(Sa, Sb));
```

**Pic. 2. The code of the program. Construction of the initial basic plan by the minimal element method.**

Costs of transportation are placed in the upper right corner of each cell of the table in order to place  $x_{ij}$  transportation in the cell itself when drawing a plan (see table 1).

The rank of the constraint-equation system is  $r = m + n - 1$ , where  $m$  is the number of rows,  $n$  is the

number of columns in the transport table. In each basic plan, no more than  $m + n - 1$  transportation will be different from zero. The cells of the table, in which we will write the nonzero transportations, are called basic, and the remaining (empty) are free.

The solution of the problem reduces to the following. It is necessary to find those values of transportation, which, if affixed to the basic cells of the transport table, would satisfy such conditions:

- the amount of transportation in each row of the table should be equal to the stock of this DepP;
- the amount of transportation in each column should be equal to the application of this DesP;
- the total cost of transportation is minimal.

**Ways of solution**

The north-western angle method is designed to obtain an accessible initial solution to the transport problem. It was proposed by J. Dantzig (1951) and later called «the rule of the north-western angle» (Charnes, Cooper). The essence of the method is the sequential search for the rows and columns of the transport table, starting with the left column and the top row, and writing out the maximum possible shipments to the appropriate table cells so that the stated resources of the supplier or the needs of the consignee are not exceeded. The method is not focused on delivery prices, since in the future the optimization of shipments is expected.

The method of successively reducing the dimension of the transport problem (the minimal element method) consists in using the following algorithm.

1. We find the cell of Table 1 with the minimum cost of transporting the unit of cargo, i.e.  $\min_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} a_{ij}$ ,

where  $i$  - number of the departure point (DepP),  $j$  - number of the destination point (DesPПH).

2. In this cell there will be the cost  $a_{i_1, j_1}$  and the cell number is  $(i_1, j_1)$ , that is, it is at the intersection of the  $j_1$ -th column with the application  $b_{j_1}$  and the  $i_1$ -th row with the stock  $a_{i_1}$ .

3. Then we find  $\min(a_{i_1}, b_{j_1})$ .

4. If  $\min(a_{i_1}, b_{j_1}) = a_{i_1}$ , then we put in the cell with the number  $(i_1, j_1)$  transportation  $x_{i_1, j_1} = a_{i_1}$ , the stock  $a_{i_1}$  is set equal to zero and the row  $A_{i_1}$  is deleted. In this case the transport problem of the original dimension  $m \cdot n$  turns into a transport problem of dimension  $(m - 1) \cdot n$ . The cost of serviced transportation will be equal to  $a_{i_1} \cdot a_{i_1, j_1}$ .

5. If  $\min(a_{i_1}, b_{j_1}) = b_{j_1}$ , we put in the cell with the number  $(i_1, j_1)$  transportation  $x_{i_1, j_1} = b_{j_1}$ , the application  $b_{j_1}$  is set equal to zero and the column  $B_{j_1}$  is deleted. In this case the transport problem of initial dimension  $m \cdot n$  turns into a transport problem of the dimension  $m \cdot (n - 1)$ . The cost of transportation will be  $b_{j_1} \cdot a_{i_1, j_1}$ .

6. If  $\min(a_{i_1}, b_{j_1}) = a_{i_1} = b_{j_1}$ , then we put in the cell with the number  $(i_1, j_1)$  transportation  $x_{i_1, j_1} = a_{i_1} = b_{j_1}$ , the stock  $a_{i_1}$  is set equal to zero and the row  $A_{i_1}$  is deleted and the application  $b_{j_1}$  is set equal to zero and the column  $B_{j_1}$  is deleted. The cost of transportation  $b_{j_1} \cdot a_{i_1, j_1} = a_{i_1} \cdot a_{i_1, j_1}$ .

7. In this case the transport problem of initial dimension  $m \cdot n$  turns into a transport problem of dimension  $(m - 1) \cdot (n - 1)$ .

8. Further in the modified table 1 we find a cell with a minimum cost of transportation of a unit of cargo, i.e.  $\min_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} a_{ij}$ , where  $i$  - number of the point of

departure,  $j$  - number of the point of destination.

9. Then steps 2-7 of the algorithm are repeated until all the rows and columns of Table 1 are deleted.

The maximum number of steps of the proposed



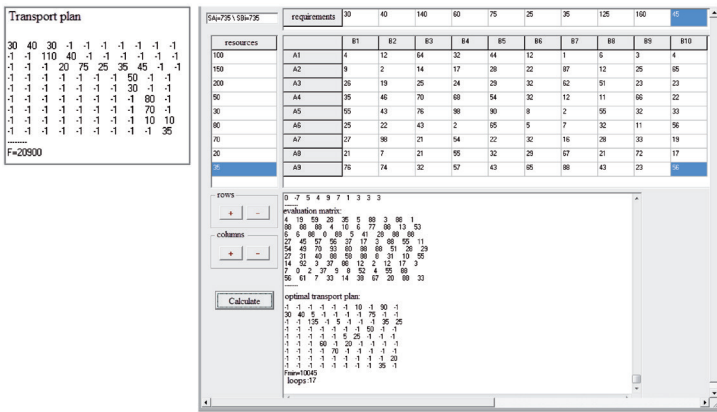


Fig. 3. North-western angle method.

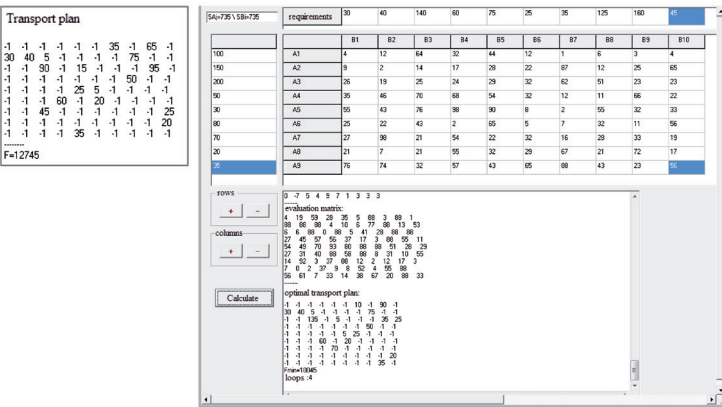


Fig. 4. Minimum element method.

$$E = 17/4 = 4.25$$

algorithm is equal to  $n + m - 1$ . The minimum number of steps is  $\lfloor \frac{n+m-1}{2} \rfloor$ , i.e. the whole part from  $\frac{n+m-1}{2}$  plus 1.

We describe now the algorithm for searching for a cell in Table 1 with the minimum cost of transportation of a unit of cargo.

1. We allocate three cells for storing the current minimum of the cost of transportation of the unit of cargo and the coordinates of this cost: number of the row and number of the column. In these three cells, we record successively the value of the vector  $(a_{1,1}, 1, 1)$ .

2. In the top row of Table 1 we take the vector  $(a_{1,2}, 1, 2)$ .

3. We verify the fulfillment of the inequality  $a_{1,1} > a_{1,2}$ . If it is fulfilled, then in the allocated three cells for storing the current minimum of the cost of transportation of the unit of cargo and the coordinates of this cost, we write sequentially the value of the vector  $(a_{1,2}, 1, 2)$ . If it is not fulfilled, then nothing changes in the selected cells.

4. Further, step 3 is satisfied for all remaining values of the first row.

5. Then, steps 3 and 4 are satisfied for all subsequent rows of Table 1.

Thus, we find the cell of Table 1 with the minimum transportation cost of the unit of cargo.

**Conclusions.** Having carried out a series of experiments, one can be sure that the construction of the initial basic plan with the help of the minimal element method gives a great advantage in its optimization. Based on the results, it can be stated that due to the minimal element method, the number of optimization iterations is reduced by two or more times, depending on the complexity of the problem.

## REFERENCES

- Ivnitsky, V. A. Lectures on mathematical methods of transport logistics [*Lekcii po matematicheskim metodam transportnoj logistiki*]. Moscow, MIIT publ., 2015, 336 p.
- Danzig, J. B. Linear programming, its generalizations and applications [*Linejnoe programmirovaniye, ego obobshheniya i primeneniya. Transl. from English*]. Moscow, Progress publ., 1966, 600 p.
- Kravtsov, M. K. On the problem of lowering the dimension of the transport problem [*K voprosu ponizheniya razmernosti transportnoj zadachi*]. *Izvestiya AN BSSR: Seriya fiz.-mat. nauk*, 1973, Iss. 2, pp. 59–62. ●

Information about the authors:

**Ivnitsky, Victor A.** – D.Sc. (Eng), professor of the department of Automated control systems of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, ivnitsky.viktor@vniizht.ru.

**Makarenko, Andrey A.** – student of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, dronskiy95@yandex.ru.

Article received 27.10.2016, revised 30.11.2016, accepted 04.03.2017.





# Формула вычисления возвращающей силы для колёс с криволинейным профилем



Евгений КОРОЛЬКОВ  
Evgeny P. KOROLKOV

Анастасия ИВАНОВА  
Anastasia A. IVANOVA



*Корольков Евгений Павлович – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Иванова Анастасия Андреевна – аспирант Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

## Formula for Calculating the Restoring Force for Wheels with a Curvilinear Profile

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 46)

**Предложен метод вычисления возвращающей силы колёсной пары при использовании колёс с криволинейным профилем, имеющим параболическую форму.**

**Сделаны соответствующие математические расчёты.**

**Результаты вычислений показали, что применение криволинейного профиля увеличивает возвращающую силу по сравнению с колёсами, имеющими коническую поверхность.**

**Одновременно установлено, что возвращающая сила играет роль силы упругости.**

Ключевые слова: рельсовый путь, колёсная пара, возвращающая сила, метод вычисления, математическая модель, профиль колеса, кривизна, конус.

**Д**ля начала определимся с главным: возвращающей силой будем считать сумму проекций на горизонтальную плоскость нормальных реакций рельсов на колёса при поперечном перемещении колёсной пары от оси пути.

При изложении материала использована система координат (рис. 1), движущаяся со скоростью  $v$  вдоль оси  $Ox$ , начало которой расположено на оси пути и совпадает с центром тяжести колёсной пары (КП) в центральной установке, назовём её так. Базисные векторы образуют правую тройку, так что ось  $Oy$  направлена поперёк пути, влево по отношению к его оси.

В представленной системе приняты следующие обозначения координат:  $x$  – перемещение вдоль пути;  $y$  – перемещение поперёк пути;  $z$  – вертикальное перемещение центра тяжести КП. Обозначения элементов КП и пути, расположенные слева от начала координат по оси  $Oy$ , индексируются цифрой 1, справа – цифрой 2.

Локальные системы координат  $O_i \xi \Delta_i$  и  $O_i \eta z$ , в которых задаются уравнения профилей катания колёс и рельсов, связаны с точками контакта колёс с рельсами. Для

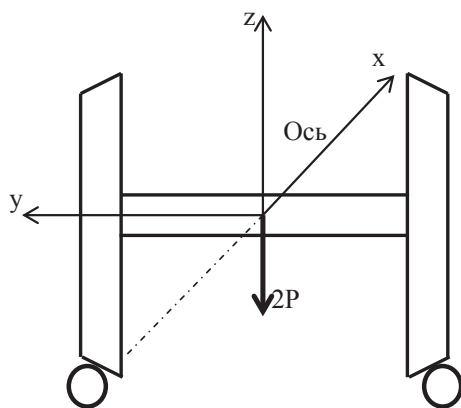


Рис. 1.

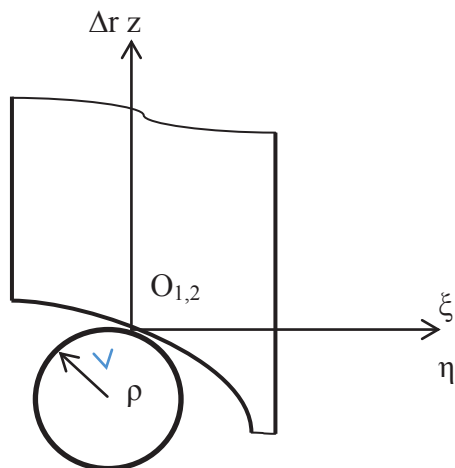


Рис. 2.

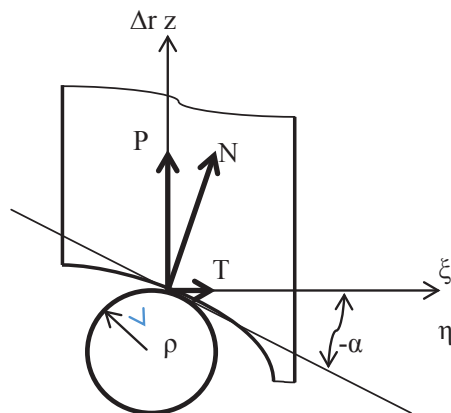


Рис. 3.

единообразия уравнений профилей поверхности катания колёс (ППКК) горизонтальные оси  $O_i\xi$  и  $O_i\eta$  ( $i = 1,2$ ) повернуты внутрь колеи, оси  $O_i\Delta\Gamma$ ,  $O_i z$  – вертикально вверх.

В этих системах уравнение ППКК присутствует в виде

$$\Delta\Gamma = \beta\xi^2 + b\xi, \quad (1)$$

а уравнение головки рельса – в виде

$$(z - z_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2 = \rho^2, \quad (2)$$

где  $\rho$  – радиус профиля головки рельса,  $(z_0, \eta_0)$  – координаты центра окружности и  $b = -\eta_0/z_0$ .

Каждая из локальных систем координат (рис. 2) жёстко связана с соответствующими точками контакта в центральной установке, так что системы  $O_i\xi\Delta\Gamma$  перемещаются вместе с колёсной парой вдоль оси  $Oy$  и  $Ox$ , а системы  $O_i\eta z$  – вдоль оси  $Ox$ .

С перемещением КП вдоль оси  $Oy$  радиусы катания колёс, величина которых в центральной установке  $r_0$  одинакова,

изменяются и при  $y > 0$   $r_1 > r_2$ , а их разность  $\Delta r = |r_1 - r_2|$ . Следовательно,  $r_1 = r_0 + \Delta r$ , а  $r_2 = r_0 - \Delta r$ .

Известно [2, 3], что с конической поверхностью катания колёс (линейный профиль) радиусы катания легко вычисляются и при  $y > 0$   $r_1 = r_0 + by$ ,  $r_2 = r_0 - by$ .

С износом поверхности катания определение радиусов кругов катания, положения нормальной реакции (рис. 3) существенно усложняется в связи с неизвестностью уравнения профиля поверхности катания колеса.

В данной работе для учёта влияния криволинейности профиля на горизонтальные составляющие нормальной реакции использованы уравнения профилей, имеющих вид параболы [4], в частности выпуклый (1) и криволинейно-прямолинейный:

$$\begin{cases} b\xi + \beta\xi^2, & \xi \geq 0, \\ b\xi, & \xi < 0. \end{cases} \quad (3)$$





Таблица 1

2β	1/600	1/700	1/800	1/1000	1/1200	1/1800	1/2000	1/3000
(1-κ)10	1,66	2,85	3,75	5,0	5,83	6,67	7,5	8,33
$\frac{2\beta}{1-\kappa}10^3$	10,04	5,01	3,33	2,00	1,43	0,99	0,67	0,40
$\frac{2\beta S}{(1-\kappa)i}$	158	79	53	32	23	16	11	6,3

В заданной системе координат (рис. 3) уравнения (1), (3) принимают выпуклый вид:

$$\Delta r = -b\xi - \beta\xi^2 \quad (4)$$

и криволинейно-прямолинейный:

$$\begin{cases} -b\xi - \beta\xi^2 & \xi \geq \\ -b\xi & \xi < \end{cases} \quad (5)$$

В этих уравнениях  $b$  – тангенс угла наклона касательной в точке  $O_1$  профиля поверхности катания колеса;  $2\beta$  – кривизна профиля катания в точке  $O_1$ , удовлетворяющая неравенству  $0 < 2\beta < 1/\rho = \beta_0$ , где  $\rho$  – радиус головки рельса.

В работе [4] получены формулы для вычисления абсцисс точек контакта колёс с рельсами при поперечном перемещении колёсной пары на величину  $y$ . Для выпуклого профиля их можно записать в виде:

$$\begin{cases} \xi = (-1)^{n+1} \frac{1}{1-k} y, \\ \eta = (-1)^{n+1} \frac{k}{1-k} y, \end{cases} \quad (6)$$

где  $k = 2\beta/\beta_0 < 1$ ;  $n = 1, 2$ .

В случае линейного профиля абсциссы точек контакта принимают вид:

$$\begin{cases} \xi = (-1)^{n+1} y, \\ \eta = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Сравнивая формулы (6) и (7), можно установить, что точки контакта перемещаются по профилям колеса и рельса в случае криволинейности профиля катания колеса, причём зона контакта зависит от кривизны профиля колеса. Видно, что зона контакта

колеса в  $\frac{1}{1-\kappa}$  больше, чем на прямолинейном, и эта величина тем больше, чем больше  $\beta$ :  $\beta(0 \leq 2\beta < 1)$ .

Если же  $\beta = 0$ , то  $-\Delta \leq y \leq \Delta$ , где  $\Delta$  – зазор между гребнем колеса и головкой рельса.

Пусть теперь КП сдвинута на величину  $y$ . Тогда координаты точки контакта переместятся на величины  $\xi_1$  и  $\xi_2$  на левом и правом колёсах соответственно, считая поверхности абсолютно гладкими, нормальные реакции будут наклонены к горизонтальным осям  $O\xi$  под углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Следовательно, горизонтальные составляющие  $T_1$  и  $T_2$  нормальных реакций, направленных внутрь колеи, могут быть получены как

$$T_1 = P_1 \cdot \text{tg}\alpha_1 = P_1 \Delta r_1', \quad (8)$$

$$T_2 = P_2 \cdot \text{tg}\alpha_2 = P_2 \Delta r_2',$$

где  $P_1, P_2$  – вертикальные реакции рельсов, которые будем считать одинаковыми ( $P_1 = P_2$ );  $\Delta r_i'$  – производные уравнений профилей колёс.

Рассматривая уравнение выпуклого профиля, про дифференцируем функцию (3):

$$\frac{d(\Delta r)'}{d\xi} = -i - 2\beta\xi; \quad (9)$$

$$\Delta r_1' = -i - 2\beta \frac{1}{1-k} y; \quad (10)$$

$$\Delta r_2' = -i + 2\beta \frac{1}{1-k} y. \quad (11)$$

Вычислим теперь сумму составляющих, учитывая их направления:

$$\Delta T_{\text{в}} = T_1 + T_2 = P \left( -i - 2\beta \frac{1}{1-k} y \right) - P \left( -i + 2\beta \frac{1}{1-k} y \right) = -\frac{4\beta}{1-k} y P. \quad (12)$$

Таким образом, если  $y > 0$ , то  $\Delta T$  направлена в сторону, противоположную перемещению колёсной пары, и эта сила пропорциональна перемещению и вертикальной реакции рельса.

Если же профиль криволинейно конический, то

$$\left. \begin{aligned} \Delta \Gamma_1' &= -i - 2\beta \xi \\ \Delta \Gamma_2' &= -i \end{aligned} \right\}$$

и  $\Delta T = -\frac{2\beta}{1-k} y P. \quad (13)$

Анализируя формулы (12) и (13), можно видеть преимущество применения выпуклого профиля в сравнении с криволинейно-прямолинейным. Причем величина возвращающей силы увеличивается в два раза. Следует заметить, что при выводе формул вычисления  $\Delta T$  не учитывался поворот КП вокруг оси  $Ox$ , поскольку влияние поворота считается незначительным.

Однако для прямолинейного профиля  $\Delta \Gamma = -i\xi$  только поворот КП вокруг оси  $Ox$  вызывает появление горизонтальных составляющих нормальных реакций. Смещая КП на величину  $y > 0$ , радиусы качения колёс изменяются, и вся колёсная пара поворачивается на угол  $\varphi = \frac{iy}{S}$ .

В результате сумма горизонтальных составляющих:

$$\Delta T_{\text{н}} = T_1 - T_2 = -\frac{2i}{S} y P. \quad (14)$$

Для сравнения влияния кривизны профиля на горизонтальную составляющую вертикальных сил примем радиус головки рельса  $\rho = 500$  мм  $\left( \beta = \frac{1}{500} \right)$ , тангенс угла наклона профилей в начале координат  $i = 1/20$ . Радиус кривизны криволинейных участков катания будем менять. Подсчёт

производим при одинаковом давлении на колёса и одинаковом перемещении  $y = 1$  мм,  $i/S$ . Поэтому можно сравнивать лишь коэффициенты произведения  $yP$ . Для выпуклого профиля (4) значения коэффициентов приведены в таблице 1. Коэффициент для прямолинейного профиля при том же произведении  $yP$  будет

$$\frac{2i}{S} = 6,33 \cdot 10^{-5}.$$

В таблице 1 дано отношение коэффициентов выпуклого профиля с разной кривизной к коэффициенту прямолинейного профиля. Из последней её строчки видно, что с уменьшением  $2\beta$  (с увеличением радиуса кривизны профиля поверхности катания) возвращающая сила также уменьшается и при  $2\beta = 1/3000$  лишь в 6,3 раза превышает возвращающуюся силу при прямолинейном профиле. Так, если принять  $y = 3$  мм,  $P_1 = P_2 = 125000$  н, то возвращающая сила для прямолинейного профиля будет  $\Delta T_{\text{н}} = 23,74$  н, для криволинейно-конического  $2\beta = 1/800$   $\Delta T_{\text{кк}} = 1258$  н, а для выпуклого —  $\Delta T_{\text{в}} = 2516$  н.

## ВЫВОДЫ

1) Применение криволинейных профилей увеличивает возвращающую силу в разы по сравнению с колёсами конической поверхности катания.

2) Возвращающая сила рассмотренных криволинейных профилей пропорциональна перемещению и, следовательно, играет роль силы упругости.

3) С увеличением кривизны величина возвращающей силы увеличивается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корольков Е. П., Сергеев К. А., Бондаренко А. И. Выбор профиля поверхности катания из условия вписывания в кривые // Наука и техника транспорта. — 2016. — № 2. — С. 49–51.
2. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагонов. — М.: Транспорт, 1991. — 360 с.
3. Гарг В. К., Дуккипати Р. В. Динамика подвижного состава. — М.: Транспорт, 1988. — 392 с.
4. Корольков Е. П. Свойства точек контакта криволинейного профиля // Наука и техника транспорта. — 2016. — № 1. — С. 76–78.

Координаты авторов: **Корольков Е. П.** — epkorolk37@rambler.ru,  
**Иванова А. А.** — gerdakatarsis@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 25.01.2017, принята к публикации 03.04.2017.





## FORMULA FOR CALCULATING THE RESTORING FORCE FOR WHEELS WITH A CURVILINEAR PROFILE

**Korolkov, Evgeny P.**, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.  
**Ivanova, Anastasia A.**, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

A method is proposed for calculating the restoring force of a wheel set using wheels with a curvilinear profile having a parabolic shape. The corresponding mathematical calculations are made.

**Keywords:** wheel set, restoring force, calculation method, mathematical model, wheel profile, curvature, cone.

**Background.** First, let's define the main thing: the restoring force will be the sum of the projections on the horizontal plane of the normal reactions of the rails to the wheels of the wheel set when it is transversely moved from the axis of the track.

In the presentation of the material, the coordinate system (Pic. 1) is used, moving with velocity  $v$  along the axis  $O_x$ , whose origin is located on the axis of the track and coincides with the center of gravity of the wheel set (WS) in the central installation, let's call it so. The basis vectors form the right-hand triple, so that the axis  $O_y$  is directed transversely to the track, to the left with respect to its axis.

**Objective.** The objective of the authors is to consider a method for calculating the restoring force for wheels with a curvilinear profile.

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

**Results.** In the presented system, the following coordinate notations are accepted:  $x$  – movement along the track;  $y$  – movement across the track;  $z$  – vertical displacement of the center of gravity of WS. The designations of the WS elements and the track to the left of the origin along  $O_y$  axis are indexed by 1, and to the right by the number 2.

The local coordinate systems  $O_i\xi\Delta r$  and  $O_i\eta z$ , in which the equations of the rolling profiles of wheels and rails are given, are associated with the contact points of the wheels with rails. For the uniformity of the equations of the profiles of the rolling surface of wheels (PRSW), the horizontal axes  $O_i\xi$  and  $O_i\eta$  ( $i = 1, 2$ ) are turned inside the track, the axes  $O_i\Delta r$ ,  $O_i z$  are vertically upward.

In these systems, the PRSW equation is presented in the form

$$\Delta r = \beta\xi^2 + b\xi, \quad (1)$$

and the equation of the rail head – in the form

$$(z - z_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2 = \rho^2, \quad (2)$$

where  $\rho$  is radius of the head profile,  $(z_0, \eta_0)$  are coordinates of the center of circle  $b = -\eta_0/z_0$ .

Each of the local coordinate systems (Pic. 2) is rigidly connected to the corresponding contact points in the central installation, so that the  $O_i\xi\Delta r$  systems move together with the wheel set along  $O_y$  and  $O_x$  axes, and the  $O_i\eta z$  systems along  $O_x$  axis.

With the movement of WS along  $O_y$  axis, the radii of rolling of wheels, whose values in the central installation  $r_0$  are the same, also change for  $y > 0$ ,  $r_1 > r_2$ , and their difference  $\Delta r = |r_1 - r_2|$ . Therefore,  $r_1 = r_0 + \Delta r$ , and  $r_2 = r_0 - \Delta r$ .

It is known [2, 3] that with the conical rolling surface of wheels (linear profile), the radii of rolling are easily computed and for  $y > 0$ ,  $r_1 = r_0 + by$ ,  $r_2 = r_0 - by$ .

With the wear of the rolling surface, the determination of the radii of the rolling circles, the

position of the normal reaction (Pic. 3) is significantly complicated in connection with the unknown equation of the profile of the rolling surface of the wheel.

The results of the calculations showed that the application of the curvilinear profile increases the restoring force compared to the wheels having a conical surface. Simultaneously it was established that the restoring force plays the role of elastic force.

In this paper, to take into account the effect of the curvilinearity of the profile on the horizontal components of the normal reaction, the equations of the profiles having the form of a parabola [4], in particular convex (1) and curvilinear-rectilinear are used:

$$\begin{cases} b\xi + \beta\xi^2, & \xi \geq 0, \\ b\xi, & \xi < 0. \end{cases} \quad (3)$$

In the given coordinate system (Pic. 3), equations (1), (3) take the convex form:

$$\Delta r = -b\xi - \beta\xi^2, \quad (4)$$

and curvilinear-rectilinear:

$$\begin{cases} -b\xi - \beta\xi^2, & \xi \geq 0, \\ -b\xi, & \xi < 0. \end{cases} \quad (5)$$

In these equations,  $b$  is the tangent of the tangent angle at the point  $O_1$  of the rolling surface profile of the wheel;  $2\beta$  is the curvature of the rolling profile at the point  $O_1$ , satisfying the inequality  $0 < 2\beta < 1/\rho = \beta_0$ , where  $\rho$  is the radius of the rail head.

In [4], formulas were obtained for calculating the abscissas of the contact points of wheels with rails when the wheel set is transversely displaced by the value  $y$ . For a convex profile, they can be written in the form:

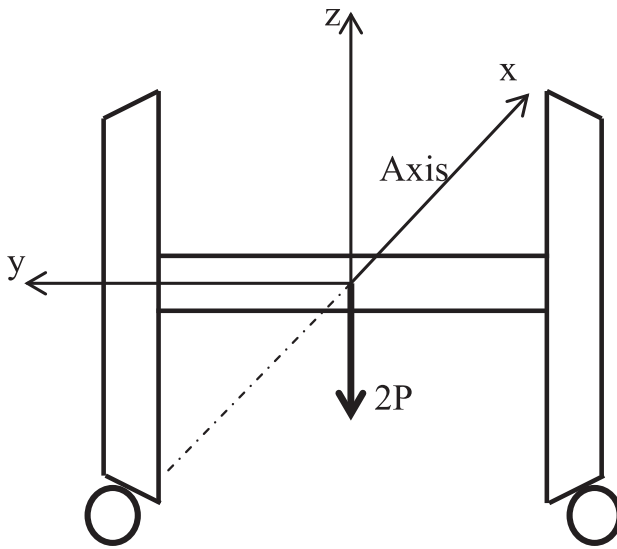
$$\begin{cases} \xi = (-1)^{n+1} \frac{1}{1-k} y, \\ \eta = (-1)^{n+1} \frac{k}{1-k} y, \end{cases} \quad (6)$$

where  $k = 2\beta/\beta_0 < 1$ ;  $n = 1, 2$ .

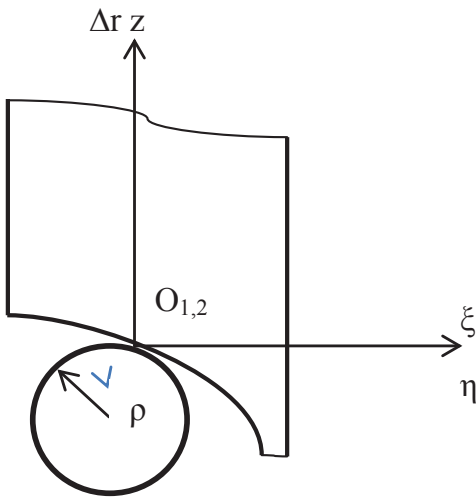
In the case of a linear profile, the abscissas of the contact points take the form:

$$\begin{cases} \xi = (-1)^{n+1} y, \\ \eta = 0. \end{cases} \quad (7)$$

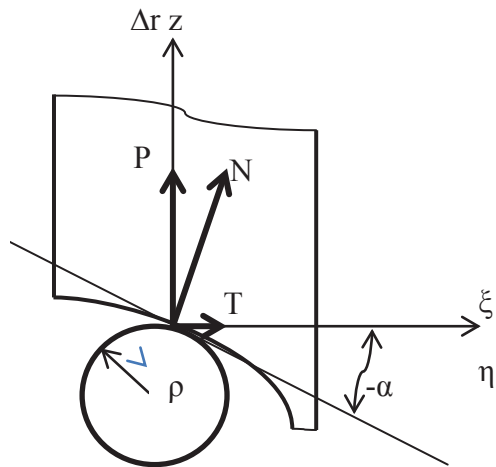
Comparing formulas (6) and (7), it can be established that contact points move along the profiles of the wheel and rail in the case of curvilinear rolling profile of the wheel, the contact zone being dependent on the curvature of the wheel profile. It can be seen that the contact area of the wheel in



Pic. 1.



Pic. 2.



Pic. 3.

$\frac{1}{1-k}$  is greater than in the rectilinear one, and this value is the larger, the larger is  $\beta$ :  
 $\beta (0 \leq 2\beta < 1)$ .

If  $\beta = 0$ , then  $-\Delta \leq y \leq \Delta$ , where  $\Delta$  is a gap between the wheel flange and the rail head.

Now let WS be shifted by the value «y». Then the coordinates of the contact point will move to the values  $\xi_1$  and  $\xi_2$  on the left and right wheels respectively, assuming the surfaces are absolutely smooth, the normal reactions will be inclined to the horizontal axes  $0 \xi$  at angles  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$ .

Consequently, the horizontal components  $T_1$  and  $T_2$  of normal reactions directed into the inside of the track can be obtained as

$$\begin{aligned} T_1 &= P_1 \cdot \tan \alpha_1 = P_1 \Delta r_1', \\ T_2 &= P_2 \cdot \tan \alpha_2 = P_2 \Delta r_2', \end{aligned} \quad (8)$$

where  $P_1, P_2$  – vertical reactions of rails, which we will consider the same ( $P_1 = P_2$ );  $\Delta r_i'$  – derivatives of the equations of the wheel profiles.

Considering the equation of the convex profile (3), we differentiate the function (3):

$$\frac{d(\Delta r)}{d\xi} = -i - 2\beta\xi; \quad (9)$$

$$\Delta r_1' = -i - 2\beta \frac{1}{1-k} y; \quad (10)$$

$$\Delta r = -i + 2 \frac{1}{1-k} y. \quad (11)$$

We now calculate the sum of the components, taking into account their directions:



**Table 1**

$2\beta$	1/600	1/700	1/800	1/1000	1/1200	1/1800	1/2000	1/3000
$(1-\kappa)10$	1,66	2,85	3,75	5,0	5,83	6,67	7,5	8,33
$\frac{2\beta}{1-\kappa}10^3$	10,04	5,01	3,33	2,00	1,43	0,99	0,67	0,40
$\frac{2\beta S}{(1-\kappa)i}$	158	79	53	32	23	16	11	6,3

$$\Delta T_b = T_1 + T_2 = P \left( -i - 2\beta \frac{1}{1-\kappa} y \right) - P \left( -i + 2\beta \frac{1}{1-\kappa} y \right) = -\frac{4\beta}{1-\kappa} y P. \quad (12)$$

Thus, if  $y > 0$ ,  $\Delta T$  is directed to the side opposite to the movement of the wheel set, and this force is proportional to the displacement and vertical reaction of the rail.

If the profile is curvilinearly conical, then

$$\left. \begin{aligned} \Delta r_1' &= -i - 2\beta \xi \\ \Delta r_2' &= -i \end{aligned} \right\}$$

$$\text{and } \Delta T = -\frac{2\beta}{1-\kappa} y P. \quad (13)$$

Analyzing formulas (12) and (13), one can see the advantage of using a convex profile in comparison with the curvilinear-rectilinear profile. Moreover, the magnitude of the restoring force is doubled. It should be noted that in deriving the calculation formulas  $\Delta T$ , the rotation of WS around  $O_x$  axis was not taken into account, since the effect of the rotation is considered insignificant.

However, for a rectilinear profile  $\Delta r = -i\xi$ , only rotation of WS around  $O_x$  axis causes the horizontal components of normal reactions to appear. By shifting WS by the value  $y > 0$ , the radii of the rolling of the wheels change, and the whole wheel set rotates by an angle  $\varphi = \frac{iy}{S}$ .

As a result, the sum of the horizontal components:

$$\Delta T_n = T_1 - T_2 = -\frac{2i}{S} y P. \quad (14)$$

To compare the effect of the curvature of the profile on the horizontal component of the vertical forces, we take the radius of the rail head  $\rho = 500 \text{ mm}$   $\left( \beta = \frac{1}{500} \right)$ , the tangent of the slope angle of the profile at the origin  $i = 1/20$ . The radius of curvature of the curvilinear sections of rolling will be

changed. The calculation is made at the same pressure on the wheels and the same displacement  $y = 1 \text{ mm}$ ,  $i/S$ . Therefore, we can only compare the coefficients of the product  $yP$ . For the convex profile (4), the coefficients are given in Table 1. The coefficient for the rectilinear profile for the same product  $yP$  will be

$$\frac{2i}{S} = 6.33 \cdot 10^{-5}.$$

Table 1 gives the ratio of the coefficients of the convex profile with different curvatures to the coefficient of the rectilinear profile.

It can be seen from the last line that with a decrease in  $2\beta$  (with an increase in the radius of curvature of the profile of the rolling surface), the restoring force also decreases, and at  $2\beta = 1/3000$  it is only 6,3 times greater than the restoring force for a rectilinear profile. So, if we take  $y = 3 \text{ mm}$ ,  $P_1 = P_2 = 125000 \text{ n}$ , then the restoring force for the rectilinear profile will be  $\Delta T_n = 23,74 \text{ n}$ , for the curvilinear-conic with  $2\beta = 1/800$   $\Delta T_{nk} = 1258 \text{ n}$ , and for the convex profile  $-\Delta T_b = 2516 \text{ n}$ .

#### Conclusions.

- 1) The use of curvilinear profiles increases the restoring force by a factor of times compared to the wheels with the conical rolling surface.
- 2) The restoring force of the curvilinear profiles considered is proportional to the displacement and, consequently, plays the role of an elastic force.
- 3) As the curvature increases, the magnitude of the restoring force increases.

#### REFERENCES

1. Korolkov, E. P., Sergeev, K. A., Bondarenko, A. I. The choice of the rolling surface profile from the condition of inscribing into curves [Vybor profilja poverhnosti katanija iz uslovija vpsyvvanija v krivye]. Nauka i tehnika transporta, 2016, Iss. 2, pp. 49–51.
2. Vershinsky, S. V., Danilov, V. N., Khusidov, V. D. Dynamics of cars [Dinamika vagonov]. Moscow, Transport publ., 1991, 360 p.
3. Garg V. K., Dukkupati R. V. Dynamics of the rolling stock [Dinamika podvzhnogo sostava]. Moscow, Transport publ., 1988, 392 p.
4. Korolkov, E. P. Properties of points of contact in curvilinear profile [Svoystva toчек kontakta krivolinejnogo profilja]. Nauka i tehnika transporta, 2016, Iss. 1, pp. 76–78. ●

Information about the authors:

**Korolkov, Evgeny P.** – D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, epkorolk37@rambler.ru.

**Ivanova, Anastasia A.** – Ph.D. student of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, gerdakatarsis@yandex.ru.

Article received 25.01.2017, accepted 03.04.2017.





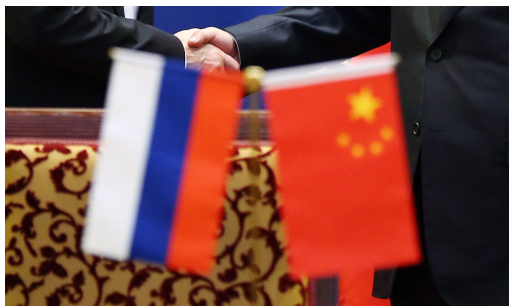
### ПРОЕКТ ВСМ «ЕВРАЗИЯ»

**В**осьмое заседание российско-китайской рабочей группы предприятий по сотрудничеству в области ВСМ прошло в Пекине.

Участники заседания рассмотрели предварительное технико-экономическое обоснование и признали перспективным проект ВСМ «Евразия», предполагающий создание высокоскоростного грузопассажирского транспортного коридора между Китаем и ЕС.

Протяжённость магистрали по территории России превысит 2,3 тыс. км по маршруту Красное (граница с Белоруссией)—Москва—Казань—Екатеринбург—Челябинск—Золотая сопка (граница с Казахстаном).

Рабочая группа признала этот проект частью инициативы «Один пояс — один путь», который свяжет воедино транспортные системы Китая и Европы. Для объединения усилий в этом направлении участники заседания до-



говорились создать совместную экспертную группу.

Также участники рабочей группы договорились о принципах использования инновационных технологий и приступили к формированию его перечня.

Девятое заседание рабочей группы предприятий по сотрудничеству в области ВСМ будет проведено в России.

По материалам пресс-службы  
ОАО «РЖД» ●



### «EURASIA» HIGH-SPEED RAIL PROJECT

**T**he eighth meeting of the Russian-Chinese work group of enterprises on high-speed rail cooperation has been held in Beijing.

The participants at the meeting considered the preliminary feasibility study and considered the Eurasia high-speed rail project, which envisages the creation of a high-speed freight and passenger transport corridor between China and the European Union.

The railway will exceed 2,300 km in length across Russia and run along the route from Krasnoe on the border with Belarus—Moscow—Kazan—Yekaterinburg—Chelyabinsk—Zolotaya Sopka at the border with Kazakhstan.

The work group also recognised this project as part of the One Belt, One Road initiative, which will link the transport systems of China and Europe.

To unite efforts in this direction, the meeting participants agreed to establish a joint expert group.

In addition, the work group participants agreed on the principles to be applied in using innovative technologies and began to formulate its specifications.

The ninth meeting of the working group of enterprises on cooperation on high-speed rail projects will be held in Russia.

Based on information of press service  
of JSC Russian Railways ●





# Скрытые каналы передачи информации



Виктор АЛЕКСЕЕВ

Viktor M. ALEKSEEV

## Covert Channels of Information Transfer

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 54)

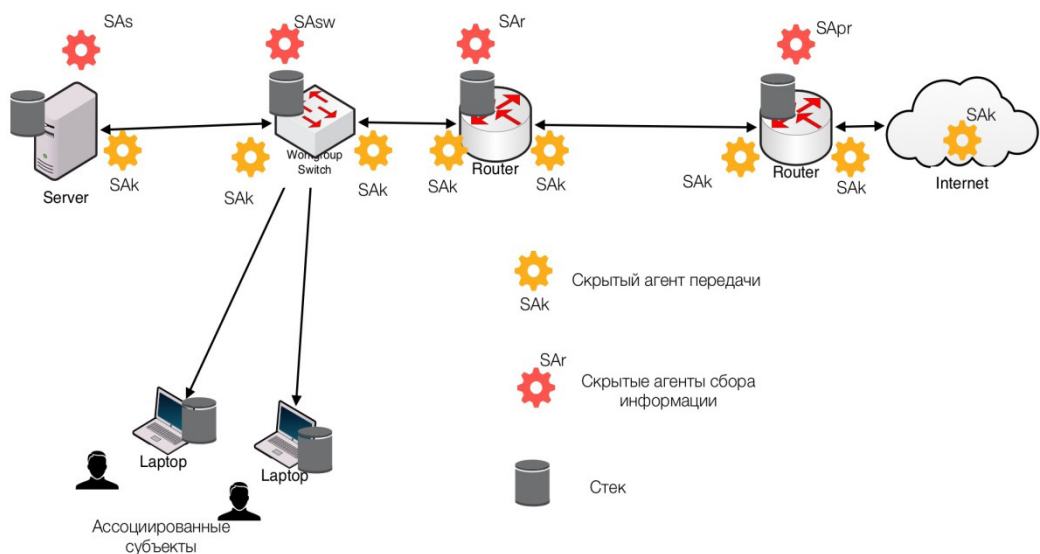
**В статье рассмотрены вопросы организации скрытых каналов передачи информации с помощью встроенных агентов в операционные системы. Современное состояние исследований в данной области науки, сравнение с мировым уровнем показывают, что отсутствуют теоретические разработки анализаторов скрытых каналов, а также программно-аппаратная реализация их моделей. Автор предлагает свой подход к созданию анализаторов скрытых каналов на основе методов самоорганизации, а также алгоритм сетевых операций, позволяющий выполнять функции перепутывания пакетов с целью разрушения процесса передачи информации по скрытым каналам.**

**Ключевые слова:** каналы информации, корпоративная сеть, скрытый канал, анализатор, тайный агент, пакет, перцептрон.

*Алексеев Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры управления и защиты информации Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

**О**бзор публикаций по скрытой передаче информации показал, что проблема исследования этой сферы является актуальной. Скрытые агенты, поставляемые в современных операционных системах (ОС), выполняют различные задачи по сбору данных с компьютеров через, казалось бы, безобидные приложения. Объёмы памяти, занимаемые операционными системами, растут значительно, а функции практически остаются прежними. Это косвенно доказывает то, что внутри операционных систем на базе приложений присутствуют тайные агенты-организаторы, скрытые агенты по передаче информации. Приложения – необходимый инструмент для сбора информации, легально установленный на персональных компьютерах, коммуникаторах, серверах и других вычислительных средствах [1–3, 6, 7]. Причём с обновлением ОС одновременно обновляются и тайные агенты.

Технология работы скрытых каналов основана на следующем принципе. Скрытое программное обеспечение (агенты) не позволяет себя контролировать, так как непосредственно располагается в ядре операционной системы. Тайный агент начинает действовать от команды извне,



**Рис. 1. Структурная схема формирования скрытых каналов:  $SAs$ ,  $sw$ ,  $r$ ,  $pr$  – скрытые агенты, отвечающие за сбор данных с сетевых устройств и формирование объема передаваемой информации;  $SA_k$  – скрытый агент передачи информации по одному из признаков или их комбинации.**

а следовательно, в системе должны быть организованы скрытые каналы доставки управляющей команды. Занимаются этим агенты-организаторы. Передача и приём их информации осуществляют по тем же каналам, которые использует и общая корпоративная сеть предприятия. Процесс поначалу идёт посредством оборудования локальной сети: точки доступа, коммутаторы, защитные экраны, маршрутизаторы. Передача информации по скрытым каналам происходит далее через оборудование оператора связи, где основными звеньями становятся сервера и маршрутизаторы.

Иначе говоря, через канал связи от внешнего источника к нелегальному агенту должна быть передана информация, объём которой зависит от типа решаемых задач. Но если такая операция будет замечена, то «закладку» можно тут же уничтожить. Ясно, что передача информации автомату такого агента осуществляется через ту же входную последовательность, что и информация компьютерной системе (КС). За работой КС наблюдает некий субъект  $U$ , который не видит скрытого управления агентом и располагает некоторой информацией относительно текущего состояния КС и поданного на вход задания.

Субъект  $U$  не видит в состоянии  $s$  скрытый канал  $X \rightarrow Y$  тогда и только тогда,

когда  $I_s(X, Y) \rightarrow I_s(X, Y|Z)$  [3, 5, 8]. Данное заключение интерпретируется следующим образом. Если  $C$  получает сообщение  $z \in Z$  и не хочет, чтобы этот факт был замечен субъектом  $U$ , то информационный поток от  $X$  к  $Y$  должен оставаться таким же, как и в случае, когда скрытой передачи по каналу  $X \rightarrow Z$  просто нет.

В формировании скрытого канала участвуют нелегальные агенты серверов, коммутаторов, маршрутизаторов. Наиболее рационально контролировать появление скрытых каналов передачи информации на оборудовании с большими очередями: коммутаторах и маршрутизаторах, обязательным атрибутом которых является наличие стека пакетов, куда они отправляются и откуда могут извлекаться недостающие пакеты в случае их отсутствия в информационном потоке. Именно таким образом из текущего информационного потока и стека пакетов происходит формирование последовательности в скрытом канале (рис. 1).

Работа анализатора информационного потока на основе перцептрона [4] базируется на анализе ситуации по сформированным решающим правилам в пространстве заданных признаков. Особенность анализатора заключается в том, что требуется распознать комбинацию из существующих



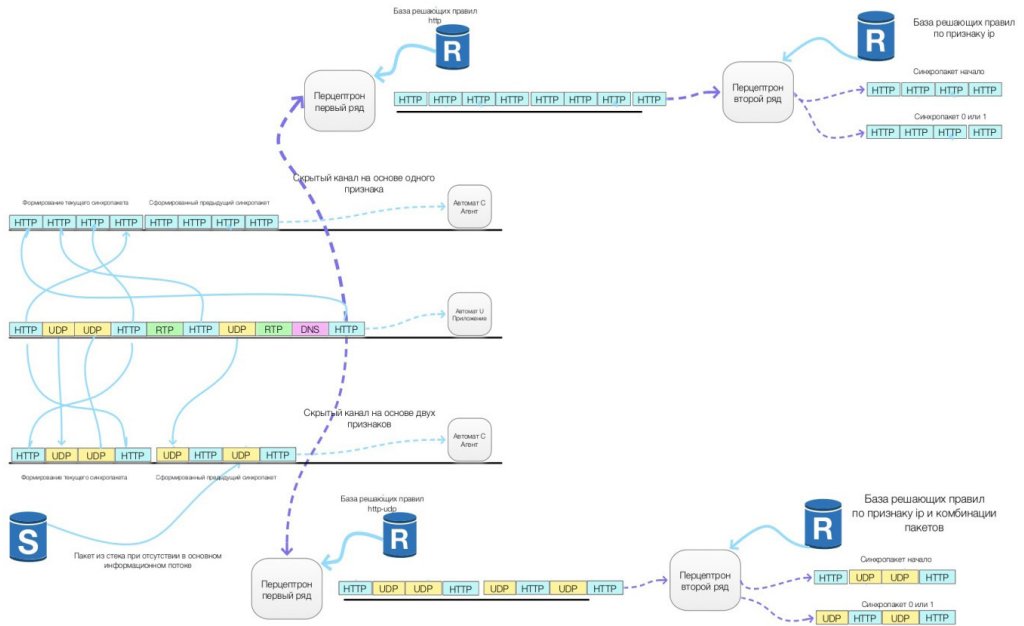


Рис. 2. Формирование информационного потока по признакам.

параметров. Для реализации скрытого канала возможно использование синхронизирующих последовательностей, обозначающих начало и конец передачи информационного потока (соответственно используются синхропакеты начала и окончания). Организатором любой передачи является тайный агент-посредник. Повторяемость некоторых комбинаций служит признаком, что существует скрытая передача.

Однорядный перцептрон в случае применения одного признака для передачи информации по скрытому каналу содержит возможные комбинации пакетов, упорядоченных по некоторому признаку, например по протоколу. В варианте применения двух признаков решающие функции будут содержать два признака и так далее (рис. 2).

Формирование скрытого канала при использовании двух признаков происходит следующим образом. В качестве признака может использоваться заранее заданная последовательность  $i_p$ -адресов для определённых протоколов (HTTP-UDP или любая другая пара, например HTTP-RTCP). Необходимо отметить, что создание скрытой последовательности может быть основано на порядке расположения пакетов. Следовательно, перцептрон должен содер-

жать в базе решающих правил комбинации расположения пакетов, как в приведённом примере: UDP и HTTP.

Последовательность пакетов разделяется на потоки по протоколам, при этом в каждом потоке может формироваться скрытый канал. В случае последовательности из двух признаков синхροпоток рождается из последовательностей пакетов двух протоколов.

На рис. 2 показаны два случая формирования скрытых каналов на пакетах одного протокола и пакетах двух протоколов. Во втором случае решающие правила должны учитывать то, что комбинация расстановки пакетов может быть использована и для формирования синхροпакетов скрытых каналов.

Если попытаться сформировать на признаке  $X_j$  последовательность из общего потока, то у субъекта  $U$  ничего не получится, так как пакеты перепутаны. Первый ряд перцептрона с двумя признаками будет иметь решающие функции:

$$R_j = (x_1^* - x_1)_j^2 + (x_2^* - x_2)_j^2,$$

где  $x_1^*$  и  $x_2^*$  – центральные значения признаков при обучении перцептрона (принимает числовое значение, соответствующее типу пакета DNS – 1, DHCP – 2, HTTP – 3 и т.д.).

Использование перцептрона позволяет создавать анализаторы скрытых каналов, работающих на нескольких признаках, при этом перцептрон должен быть многорядным.

Назначение второго ряда анализатора на базе перцептрона — анализ комбинаций пакетов протоколов, «несущих» определённые признаки, на основании которых должна осуществляться передача информации. Передача синхронизируется начальной и конечной комбинациями, составленными из пакетов протоколов в строго определённой последовательности (об этом заранее договариваются агенты передачи). Модель второго ряда перцептрона при использовании одного «несущего» протокола будет включать в себя (например, при наличии двух  $ip$ -адресов:  $ip_1$  — логический ноль,  $ip_2$  — логическая единица) возможные комбинации, указывающие на начало или окончание передачи информации. Например, при использовании комбинации из восьми пакетов модель содержит 256 вариантов реализации синхросигналов начала и окончания передачи.

С целью ускорения потока информации блок данных, заключённый между началом и окончанием процесса, передаётся логическими нулями и единицами, в качестве которых могут выступать, как указано ранее,  $ip$ -адреса. На выходе второго ряда перцептрона имеем следующую последовательность в моменты времени  $[t_k]$ :

$R_{j}^{nk}[t_k], \{R_{i+1}^b[t_{k+1}], \dots, R_{i+1}^b[t_{k+j}], \dots\}, R_{m}^{nk}[t_{k+p}]$ , где  $R_{j}^{nk}[t_k]$  — выход анализатора, обученный на синхропакет «начало передачи»;

$R_{m}^{nk}[t_{k+p}]$  — выход анализатора, обученный на синхропакет «окончание передачи»;

$R_{i+1}^b[t_{k+1}], \dots, R_{i+1}^b[t_{k+j}]$  — выходы анализатора, обученные на фиксацию логической единицы и нуля; формируются в блоке передаваемых данных.

Полученная последовательность представляет данные, идущие по скрытому каналу. При этом следует отметить, что их передача должна осуществляться в ограниченный временной интервал, чтобы не быть распознанной. И, кроме того, выявить вероятность существования скрытого ка-

нала без использования адекватных задач анализаторов практически невозможно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информация, полученная от анализатора скрытого канала, необходима, чтобы применить методы, позволяющие предотвратить возможность продолжения процесса с участием «нелегальных» агентов. Для реализации такой задачи предлагается исследовать методы перепутывания пакетов. Технически это требует значительных скоростей обработки информации, что предопределяет использование оптических интерфейсов, связывающих сервер перепутывания и буферное хранилище, куда временно помещаются пакеты. Причём алгоритм должен беспрепятственно пропускать определённые пакеты, которые нельзя перепутывать, иначе произойдёт нарушение работы сетевых устройств.

Таким образом, реализация анализатора на базе перцептрона для распознавания скрытых каналов позволяет существенно повысить эффективность борьбы с ними в корпоративном сегменте сетей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Info Jett. [Электронный ресурс]: [http://www.jetinfo.ru/jetinfo\\_arhiv/raspredelennye-ataki-naraspredelennye-sistemy/o-kanalakh-skrytykh-potajnykh-pobochnykh-i-ne-tolko/2006](http://www.jetinfo.ru/jetinfo_arhiv/raspredelennye-ataki-naraspredelennye-sistemy/o-kanalakh-skrytykh-potajnykh-pobochnykh-i-ne-tolko/2006). Доступ 10.01.2017.
2. Internet-technology. [Электронный ресурс]: [http://www.internet-technologies.ru/articles/article\\_2826.html](http://www.internet-technologies.ru/articles/article_2826.html). Доступ 10.01.2017.
3. Грушко А. А. Скрытые каналы и безопасность информации в компьютерных системах // Дискретная математика. — 1998. — № 1. — С. 3–9.
4. Алексеев В. М. Система мониторинга информационной безопасности для высокоскоростного транспорта // Наука и техника транспорта. — 2016. — № 4. — С. 71–79.
5. Alcaraz C., Lopez J., Kim-Kwang, Choob R. Resilient interconnection in cyber-physical control systems: Computers & Security, Vol. 71, October 2017, pp. 2–14.
6. Osborn E., Simpson A. On small-scale IT user's system architectures and cyber security: A UK case study: Computers & Security, Vol. 70, September 2017, pp. 27–50.
7. Lei Ding, Jun Liu, Tao Qin, Haifei Li Internet traffic classification based on expanding vector of flow Computer Networks, October 2017, pp. 178–192.
8. Hongtao Sun, Chen Peng, Taicheng Yang, Hao Zhang, Wangli He Resilient control of networked control systems with stochastic denial of service attacks, Neurocomputing, October 2017, pp. 170–177. ●

Координаты автора: **Алексеев В. М.** — [alekseewm@ramber.ru](mailto:alekseewm@ramber.ru).

Статья поступила в редакцию 14.07.2017, изменена 02.10.2017, принята к публикации 05.10.2017.



# COVERT CHANNELS OF INFORMATION TRANSFER

Alekseev, Viktor M., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

## ABSTRACT

The article deals with the organization of hidden channels of information transfer with the help of embedded agents in operating systems. The current state of research in this field of science, comparison with the world level, shows that there are no theoretical developments of hidden channel analyzers, as well as

software and hardware implementation of their models. The author offers his approach to creating covert channel analyzers based on methods of self-organization, as well as an algorithm for network operations that allows to perform the functions of entanglement of packets in order to destroy the process of transmitting information over hidden channels.

**Keywords:** information channels, corporate network, hidden channel, analyzer, secret agent, packet, perceptron.

**Background.** The review of publications on the hidden transfer of information showed that the problem of research in this field is relevant. Hidden agents, supplied in modern operating systems (OS), perform various tasks to collect data from computers through seemingly innocuous applications. The amount of memory occupied by operating systems is growing significantly, and the functions practically remain the same. This proves indirectly that within the operating systems on the basis of applications there are secret agents-organizers, hidden agents for the transfer of information. Applications are a necessary tool for gathering information legally installed on personal computers, communicators, servers and other computing facilities [1–3, 6, 7]. And with the update of the operating system at the same time, secret agents are updated.

**Objective.** The objective of the author is to consider hidden channels of information transfer.

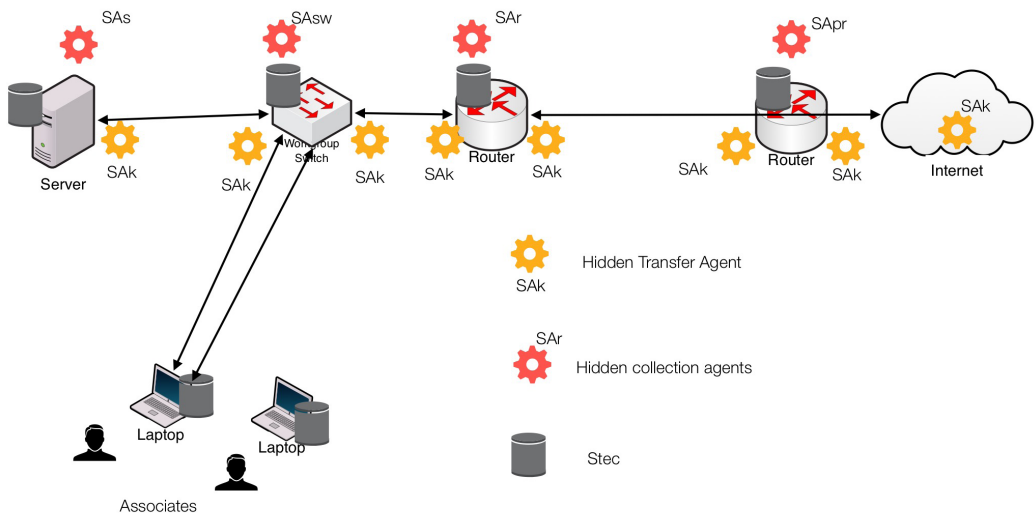
**Methods.** The author uses general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, scientific description.

**Results.** The technology of hidden channels is based on the following principle. The hidden software (agents) does not allow itself to be controlled, since it is directly located in the kernel of the operating system. The secret agent starts to act from the command from

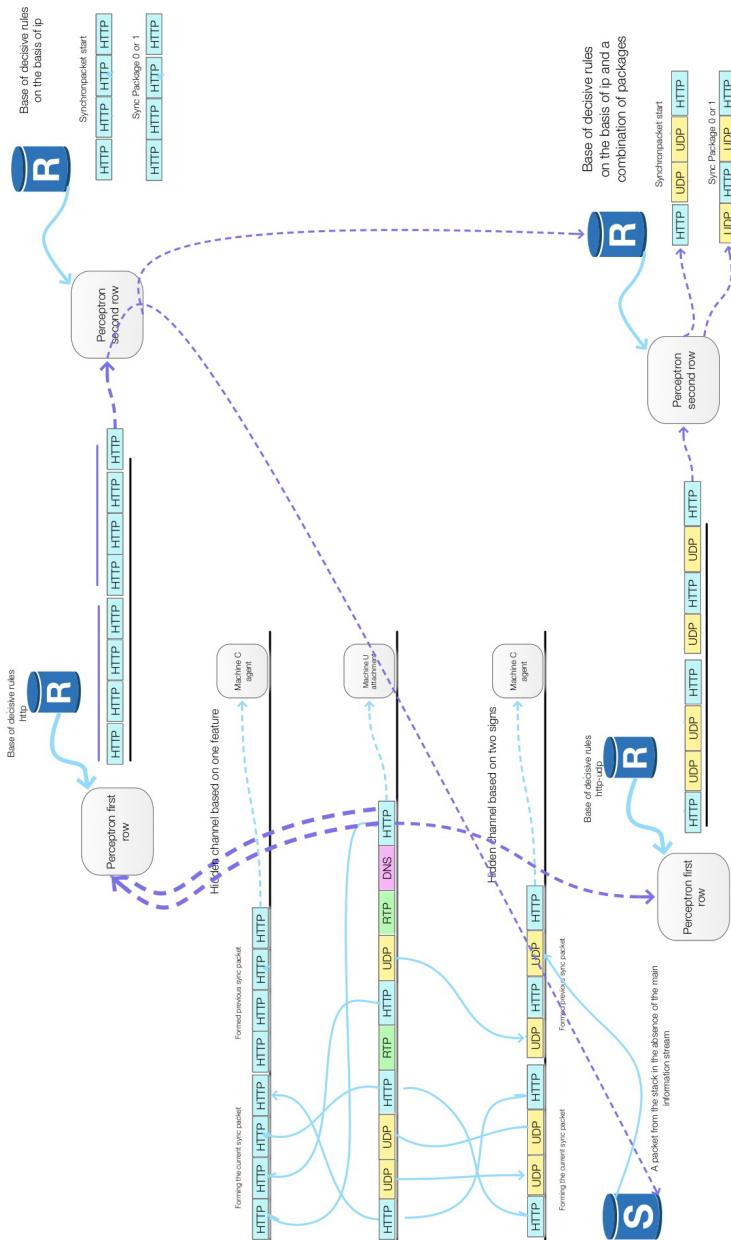
the outside, and therefore, the hidden delivery channels of the management command must be organized in the system. The agent-organizers are engaged in this. The transfer and reception of their information is carried out through the same channels that the corporate network also uses. The process first goes through the equipment of the local network: access points, switches, protective screens, routers. The transfer of information over the hidden channels occurs further through the equipment of the communication operator, where the main links are the servers and routers.

In other words, through the communication channel from an external source to an illegal agent information must be transferred, the volume of which depends on the type of tasks being solved. But if such an operation is noticed, then the «bookmark» can be immediately destroyed. It is clear that the transfer of information to the automated device of such an agent is carried out through the same input sequence as information to the computer system (CS). The CS is monitored by a U subject which does not see the hidden management of the agent and has some information about the current state of the CS and the task submitted to the input.

The subject U does not see in the state s the hidden channel  $X \rightarrow Y$  then and only then  $I_s(X, Y) \rightarrow I_s(X, Y|Z)$  [3, 5, 8]. This conclusion is interpreted as



**Pic. 1. Structured scheme of the formation of hidden channels: SA<sub>s</sub>, sw, r, pr – hidden agents responsible for data collection from network devices and formation of the volume of transmitted information; SA<sub>k</sub> – hidden information transfer agent for one of the features or a combination thereof.**



**Pic. 2. Formation of the information flow according to the features.**

follows. If  $C$  receives a message  $z \in Z$  and does not want this fact to be seen by the subject  $U$ , then the information stream from  $X$  to  $Y$  should remain the same as in the case when there is simply no hidden transfer through the channel  $X \rightarrow Z$ .

In the formation of a hidden channel illegal agents of servers, switches, routers are involved. The most rational way to control the appearance of hidden channels of information transfer can be applied for equipment with large queues: switches and routers, the mandatory attribute of which is the presence of a stack of packets, where they are sent and where the missing packets can be extracted in the absence of them in the information flow. This is how the sequence of the hidden channel is formed from the current information flow and the stack of packets (Pic. 1).

The work of the information-flow analyzer based on perceptron [4] is based on the analysis of the situation according to the formed decision rules in the space of given characteristics. The peculiarity of the analyzer is that it is required to recognize a combination of existing parameters. To implement a hidden channel, it is possible to use synchronization sequences that denote the beginning and the end of the transfer of the information flow (respectively, the sync packets of the beginning and the end are used). The organizer of any transfer is a secret agent-intermediary. The repeatability of some combinations is a sign that there is a hidden transfer.

A single-row perceptron, in the case of applying one feature to transfer information over a hidden channel, contains possible combinations of packets



arranged in accordance with a certain feature, for example, via a protocol. In the variant of applying two characteristics, the decision functions will contain two characteristics, etc. (Pic. 2).

The formation of a hidden channel using two signs occurs as follows. A predefined sequence of  $i_p$ -addresses for certain protocols (HTTP-UDP or any other pair, for example, HTTP-RTCP) can be used as a sign. It should be noted that the creation of a hidden sequence can be based on the order of the packets. Therefore, the perceptron must contain a combination of the location of the packets in the base of the decision rules, as in the following example: UDP and HTTP.

The sequence of packets is divided into flows by protocols, and a hidden channel can be formed in each flow. In the case of a sequence of two, the sync flow is generated from the packet sequences of two protocols.

Pic. 2 shows two cases of forming hidden channels on packets of one protocol and packets on two protocols. In the second case, the decision rules should take into account the fact that the combination of packet allocation can also be used for the formation of synchronous packets of hidden channels.

If you try to generate a sequence from a common flow on attribute  $X_p$ , then the subject  $U$  does not succeed, since the packets are confused. The first series of perceptron with two signs will have decision functions:

$$R_j = (x_1^* - x_1)_j^2 + (x_2^* - x_2)_j^2,$$

where  $x_1^*$  and  $x_2^*$  – central values of the attributes when training the perceptron (it takes a numerical value corresponding to the type of the packet DNS – 1, DHCP – 2, HTTP – 3, etc.).

The use of the perceptron allows the creation of analyzers of hidden channels that operate on several characteristics, and the perceptron must be multi-row.

The assignment of the second series of the perceptron-based analyzer is the analysis of combinations of protocol packets that «bear» certain characteristics on the basis of which the information should be transferred. The transfer is synchronized with the initial and final combinations formed from the protocol packets in a strictly defined sequence (the transfer agents agree in advance). The model of the second perceptron series using one «carrier» protocol will include (for example, if there are two ip-addresses:  $ip_1$  – logical zero,  $ip_2$  – logical unit) possible combinations indicating the beginning or the end of the information transfer. For example, if you use a combination of eight packets, the model contains 256 options for implementing the start and end timing signals.

In order to speed up the flow of information, the data block between the beginning and the end of the process is transferred by logical zeros and units, which can be, as indicated earlier, ip-addresses. At the output of the second row of the perceptron, we have the following sequence at time instants  $[t_k]$ :

$R^{ik}[t_k], \{R^{b_{i+1}}[t_{k+1}], \dots, R^{b_{i+1}}[t_{k+i}]\}, \dots, \{R^{b_{i+1}}[t_{k+i}], \dots, R^{b_{i+1}}[t_{k+i}]\}, R^{ik}[t_{k+i}]$ , where  $R^{ik}[t_k]$  – analyzer output, trained for sync packet «beginning of transfer»;

$R^{ik}[t_{k+i}]$  – analyzer output, trained for sync packet «end of transfer»;

$R^{b_{i+1}}[t_{k+1}], \dots, R^{b_{i+1}}[t_{k+i}]$  – analyzer outputs trained to fix a logical unit and zero; are formed in a block of transmitted data.

The resulting sequence represents data traveling along a hidden channel. It should be noted that their transfer should be carried out in a limited time interval, so as not to be recognized. And besides, to reveal the probability of the existence of a hidden channel without using adequate task of analyzers is almost impossible.

**Conclusion.** The information received from the hidden channel analyzer is necessary to apply methods that prevent the possibility of continuing the process with the participation of «illegal» agents. To implement such a task, it is proposed to investigate the methods of packet entanglement. Technically, this requires considerable data processing speeds, which predetermines the use of optical interfaces connecting the entanglement server and buffer storage, where packets are temporarily placed. Moreover, the algorithm should allow certain packets to be passed unchecked, which cannot be confused, otherwise the network devices will malfunction.

Thus, the implementation of the perceptron-based analyzer for recognizing hidden channels allows to significantly increase the effectiveness of the control over them in the corporate segment of networks.

## REFERENCES

1. Info Jett. [Electronic resource]: [http://www.jetinfo.ru/jetinfo\\_arhiv/raspredelemnnye-ataki-na-raspredelemnnye-sistemy/o-kanalakh-skrytykh-potajnykh-pobochnykh-ine-tolko/2006](http://www.jetinfo.ru/jetinfo_arhiv/raspredelemnnye-ataki-na-raspredelemnnye-sistemy/o-kanalakh-skrytykh-potajnykh-pobochnykh-ine-tolko/2006). Last accessed 10.01.2017.
2. Internet-technology. [Electronic resource]: [http://www.internet-technologies.ru/articles/article\\_2826.html](http://www.internet-technologies.ru/articles/article_2826.html). Last accessed 10.01.2017.
3. Grushko, A. A. Hidden channels and information security in computer systems [Skrytye kanaly i bezopasnost' informacii v komp'juterных sistemah]. Diskretnaja matematika, 1998, Iss. 1, pp. 3–9.
4. Alekseev, V. M. Monitoring system of information security for high-speed transport [Sistema monitoringa informacionnoj bezopasnosti dlja vysokoskorostnogo transporta]. Nauka i tehnika transporta, 2016, Iss. 4, pp. 71–79.
5. Alcaraz Cristina, Lopez Javier, Kim-Kwang, Choob Raymond. Resilient interconnection in cyber-physical control systems: Computers & Security, Vol. 71, October 2017, pp. 2–14.
6. Osborn Emma, Simpson Andrew. On small-scale IT user's system architectures and cyber security: A UK case study: Computers & Security, Vol. 70, September 2017, pp. 27–50.
7. Lei Ding, Jun Liu, Tao Qin, Haifei Li. Internet traffic classification based on expanding vector of flow Computer Networks, October 2017, pp. 178–192.
8. Hongtao Sun, Chen Peng, Taicheng Yang, Hao Zhang, Wangli He. Resilient control of networked control systems with stochastic denial of service attacks, Neurocomputing, October 2017, pp. 170–177. ●

Information about the author:

**Alekseev, Viktor M.** – D.Sc. (Eng), professor of the department of Management and Information Protection, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, [alekseevm@ramber.ru](mailto:alekseevm@ramber.ru).

Article received 14.07.2017, revised 02.10.2017, accepted 05.10.2017.



# TV

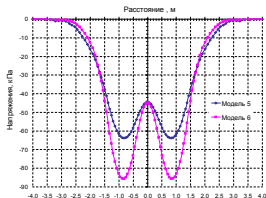
## АВТОМОБИЛЬ 58

Электроника помогает рулить механике.



## ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО 70, 102

• Экспериментальная проверка насыпи.

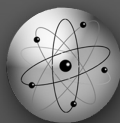


• «Сильные» расчёты для слабых грунтов.

## КПД 92

Чем измерить полезность транспортной работы.

### НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING

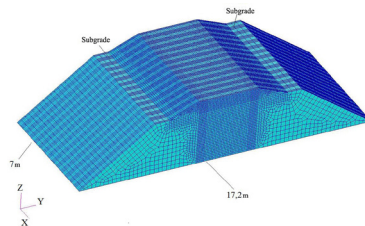


## MOTOR VEHICLES 58

Electronics assists mechanics to drive.

## FOUNDATION 70, 102

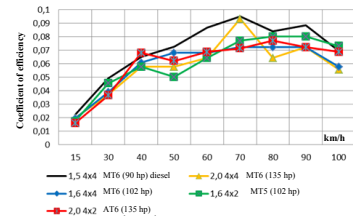
• Experimental testing of the railbed.



• Stronger calculations for weak soils.

## ENGINE EFFICIENCY 92

How to measure transportation work?





# Функции надёжности электромеханических усилителей рулевого управления



Илья ДЕНИСОВ  
Ilya V. DENISOV

Алексей СМИРНОВ  
Alexey A. SMIRNOV



*Денисов Илья Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия. Смирнов Алексей Александрович – магистрант кафедры автомобильного транспорта Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия.*

## Reliability Functions of Electromechanical Power Steering

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 65)

**Подавляющее большинство новых автомобилей комплектуются электромеханическими усилителями (ЭМУ) рулевого управления ввиду их явных преимуществ по сравнению с гидравлическими и пневматическими устройствами. Вместе с тем ещё не до конца изучен вопрос о технической эксплуатации узла, сочетание в котором электронных и механических систем не позволяет в полной мере использовать существующие методы и средства контроля работоспособности автомашины, её фактического технического состояния. В связи с этим особо актуальны разработка нормативов управления техническим состоянием на основе диагностической информации, систематизация научных достижений в этой области, проблемы повышения надёжности рулевого ЭМУ в эксплуатации. Результаты проводимого исследования станут подспорьем в создании методики управления безотказностью узла.**

**Ключевые слова:** автомобиль, рулевое управление, электромеханический усилитель, управление техническим состоянием, надёжность, эксплуатация.

**В** мировой автомобильной промышленности наблюдается растущая тенденция к использованию в конструкции автомобилей электромеханических систем различного назначения. Среди многообразия таких устройств наибольшее распространение получили антиблокировочная система тормозов, электромеханический тормоз, климат-контроль, стартёр-генератор, система регулировки положения зеркал, сидений, стёкол и т.д. [1].

## ТИПОЛОГИЯ И ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Итак, приоритет сегодня за электромеханическими усилителями (ЭМУ), основными задачами которых являются [2–4]:

– добавление компенсирующего момента  $M_k$  к рулевому валу при приложении к рулевому колесу входного момента  $M_{вх}$  (в зависимости от скорости движения соотношение  $M_k/M_{вх}$  может достигать 0,5–7);

– обеспечение оптимальных по эргономическим условиям нагрузочных и скоростных характеристик РУ;

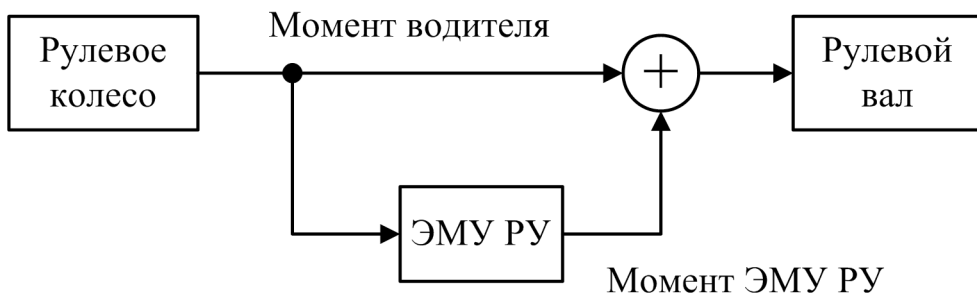


Рис. 1. Схема применения колоночного ЭМУ в конструкции рулевого управления.

- обеспечение прямолинейного движения автомобиля при повреждении шин или подвески;

- сохранение возможности управления автомобилем при отказе усилителя;

- сохранение стабилизации колёс (удержание их в нейтральном положении при воздействии различных возмущающих факторов);

- снижение энергетических затрат водителя и, как следствие, повышение комфортности управления автомобилем;

- уменьшение времени реакции и повышение безопасности дорожного движения.

Современные электромеханические усилители рулевого управления производят в различных компоновках, которые отличаются местом приложения вспомогательного усилия [2, 5]:

- усилие от электрического двигателя прикладывается к рулевому валу – это самый распространённый тип компоновки для автомобилей малого класса (Column Drive EPS);

- усилие от электрического двигателя передаётся на шестерню редуктора рулевого механизма – такая компоновка применяется для автомобилей среднего класса (Pinion Drive EPS);

- усилие от электрического двигателя через шариковую винтовую пару передаётся на рейку рулевого привода – эта компоновка применяется для крупных легковых автомобилей и для лёгких грузовиков (Rack Drive EPS);

- «управление по проводам», или следящая система с двумя согласованными электроприводами на рулевом колесе и рулевой рейке, не имеющими механического соединения (Steer-By-Wire).

При этом необходимо отметить, что наибольшее распространение получили усилители колоночного типа (Column Drive EPS), использование которых в серийном выпуске автомобилей ведётся уже более 10 лет такими мировыми автопроизводителями, как Renault, Citroen, Opel, Fiat, Toyota, Honda [6]. А первым массовым автомобилем, оснащённым электромеханическим усилителем руля, стал Suzuki Cervo в 1988 году [7].

В зависимости от конструкции электромеханического привода усилители колоночного типа можно разделить на редукторные и безредукторные.

В редукторном ЭМУ исполнительный электродвигатель через редуктор, представляющий собой червячную передачу, которая предназначена для преобразования вращательного движения червячного вала во вращательное движение рулевого вала [8], связан с рулевым механизмом. В таких конструкциях нужна значительная частота вращения ротора электродвигателя, но при этом снижаются требования к развиваемому усилию [9].

Безредукторный усилитель представляет собой систему на базе бесконтактного вентильного низкоскоростного высокомоментного электродвигателя прямого действия, имеет более простую конструкцию по сравнению с редукторным ЭМУ и, как следствие, обладает высокой надёжностью в дополнение к улучшенным динамическим качествам. Отсутствие редуктора даёт ряд преимуществ, в такой конструкции нет дополнительного трения в механической части, которое приводит к дополнительному переменному моменту сопротивления, что, в свою очередь, принуждает к реали-





Таблица 1

## Технические характеристики ЭМУ руля, выпускаемых ОАО «Автоэлектроника»

Применяемость	Для автомобилей ВАЗ-2170 «Priora» с рулевой рейкой 4.1.	Для автомобилей ВАЗ-1118 «Kalina» и ВАЗ-2190 «Granta» с рулевой рейкой 4.1.	Для автомобилей ВАЗ-2170 «Priora» с рулевой рейкой 4.1.	Для автомобилей ВАЗ-1117 «Kalina» и ВАЗ-2190 «Granta» с рулевой рейкой 3.1.
Серийный номер производителя	121.3405010–05	122.3405010–02 А	121.3405010–04	122.3405010–02
Серийный номер ОАО «АвтоВАЗ»	2172–3450008–02	11186–3450008–02	2172–3450008–02	1117–3450008–02
Номинальное напряжение питания, В	13, 5			
Потребление тока, А	не более 55			
Компенсирующий момент при скорости вращения рулевого колеса 360°/с, Нм	28 ± 1	24,5	28 ± 1	28 ± 1
Габаритные размеры	440 x 203 x 162			
Масса, кг	не более 9,3			

зации более сложного алгоритма управления с компенсациями сухого и вязкого трения в редукторе. Скорость реакции безредукторного усилителя при смене направления вращения рулевого колеса, а также скорость поворота управляемых колёс могут значительно превышать те же показатели на редукторном электромеханическом усилителе. Однако основной проблемой при создании безредукторных ЭМУ руля остаётся использование электродвигателей специального исполнения, развивающих значительное усилие (момент) на низких скоростях вращения [2, 10].

Схематично [11] применение электромеханического усилителя руля колончатого типа в конструкции рулевого управления показано на рис. 1.

Представленная схема подчёркивает роль ЭМУ руля как вспомогательного механизма, не разрывающего связь водителя и дороги и не препятствующего управлению автомобилем в отключенном состоянии.

В отечественной автомобильной промышленности развитие получила концепция построения электромеханической системы рулевого управления типа Column Drive EPS, основным преимуществом которой является минимальное

изменение в конструкции рулевого устройства в целом.

Анализируя хронологию внедрения в производство российских усилителей рулевого управления [12, 13], следует отметить, что первые работы по проектированию и последующему запуску узла в серийный выпуск велись в Новосибирске в 1999 году [14], причём в отличие от зарубежных аналогов была выбрана безредукторная конструкция ЭМУ.

Одним из начальных разработчиков электромеханических усилителей редукторного типа являлось предприятие НПК «Энергия» (г. Воронеж). Однако узел, спроектированный там, существовал лишь на стадии опытных образцов до 2003 года и не был принят в серийное производство.

Созданием безредукторного ЭМУ для автомобилей Lada Kalina и Lada Priora в период с 2005 по 2007 год занималось ОАО «ДААЗ» (г. Димитровград), а затем (2008–2010 гг.) опытные образцы передали ПО «Север» (г. Новосибирск), но и здесь новый узел не был запущен в серийное производство.

Электромеханический усилитель производства ОАО «Авиаагрегат» (г. Махачкала) выпускался серийно с 2004 по 2009 год и устанавливался на автомобили Lada

Kalina. Конструктивное исполнение включало червячный редуктор с передаточным отношением 15, 5:1.

Современные разработки ЭМУ связаны с деятельностью «Концерн КЭМЗ» (г. Кизляр), который рассматривался в качестве альтернативного поставщика электромеханических усилителей для автомобилей Lada Priora. Но спроектированные там опытные образцы опять не пошли в серийное производство.

Сейчас в Калуге на предприятии ОАО «Автоэлектроника» выпускается целый модельный ряд ЭМУ, которые устанавливаются на автомобили Lada Kalina и Lada Priora, а с 2011 года на Lada Granta. В таблице 1 представлены технические характеристики производимых узлов [15].

Добавим, что альтернативным поставщиком ЭМУ ОАО «АвтоВАЗ» с 2008 года является производитель Mando Corporation (Корея). Узлы этого предприятия устанавливаются на автомобили Lada Kalina и Lada Granta. Конструктивное отличие от усилителей ОАО «Автоэлектроника» — червячный редуктор с передаточным отношением 15, 33:1.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭМУ

Согласно [9, 16], питание безредукторного усилителя на всех режимах осуществляется от бортовой сети автомобиля по силовым проводам. Ток, потребляемый усилителем в режиме «компенсация», когда электродвигатель создаёт дополнительное усилие, может достигать значительной величины — 55 А. Поэтому на большинстве автомобилей работа ЭМУ на действующем двигателе невозможна или ограничена из-за угрозы чрезмерного разряда аккумуляторной батареи.

Работой усилителя управляет контроллер (электронный блок управления — ЭБУ). Поворот ключа в замке зажигания активирует ЭБУ, который, в свою очередь, запускает операции инициализации и поиска ошибок. Обнаружение на данном этапе каких-либо неисправностей влечёт за собой переход усилителя в режим «отказ», и помощь водителю в управлении автомобилем будет отсутствовать. После получения тахометрического сигнала, определяющего устойчивую работу

двигателя автомобиля, контроллер переключает усилитель в основной режим «компенсация».

В режиме «компенсация» при повороте рулевого колеса возникает момент на входном валу, происходит рассогласование между входным и выходным валами. Расположенный между ними упругий элемент — торсион скручивается на угол, пропорциональный величине входного момента. Значение угла определяется датчиком момента и, в свою очередь, передаётся в систему управления электродвигателем ЭМУ. Получая и обрабатывая сигналы, блок управления формирует информацию о величине и направлении прикладываемого водителем усилия (входного момента). При превышении величины момента на входном валу заданного минимального значения ЭБУ электродвигателем вырабатывается силовой управляющий сигнал для создания на рулевом механизме требуемого компенсирующего момента. При этом величина сигнала на обмотке статора электродвигателя формируется с учётом сигналов датчика положения ротора. Кроме того, в контроллер поступают сигналы от датчика скорости и датчика числа оборотов коленчатого вала двигателя.

Зависимость выходного компенсирующего момента от входного обычно задаётся таким образом, чтобы водителю достаточно было прикладывать усилие к рулевому колесу не более определённого комфортного минимума (5–7 Нм) независимо от типа дорожного покрытия.

С увеличением скорости движения автомобиля снижаются сцепные свойства между колёсами и дорожным покрытием, и, следовательно, необходимо уменьшить величину компенсирующего усилия для создания «тяжёлого руля» и обеспечения «чувства дороги». Выполнение этого требования осуществляется за счёт получения ЭБУ информации о скорости движения автомобиля через отдельный вход. С ростом скорости транспортного средства величина компенсирующего момента уменьшается. Зависимость эта не является линейной и в большинстве случаев определяется экспериментально для той или иной марки автомобиля [9].





## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСИЛИТЕЛЕЙ

Сделанный нами сравнительный анализ [4–5, 17–19] безредукторного ЭМУ с редукторными и гидравлическими усилителями (ГУР) позволяет выделить ряд достоинств и недостатков рассматриваемого узла.

*Основные преимущества безредукторного ЭМУ перед гидравлическим усилителем рулевого управления:*

- технологичность, адаптивность и компактность установки (усилитель монтируется на автомобиль одним узлом без вторжения в моторный отсек);
- простота конструкции и обслуживания;
- время установки – не более 1,5 ч;
- высокая надёжность (отсутствуют шланги, ремни, шкивы, сальники, жидкости);
- обеспечение пассивной безопасности при ударе;
- наличие встроенной системы самодиагностики;
- отсутствие трущихся деталей и, как следствие, износа;
- независимость от частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- независимость от температурных перепадов;
- экологичность, экономичность и энергосберегаемость (ЭМУ потребляет мощность только при маневрировании, что заметно снижает затраты энергии и приводит к экономии топлива);
- информативность (возможность легко изменять степень помощи водителю при изменении скорости автомобиля);
- простота настройки в эксплуатации.

*Недостатки безредукторного электро-механического усилителя рулевого управления по сравнению с ГУР:*

- ограниченный диапазон значений компенсирующего момента (не более 28 Нм);
- низкий КПД;
- сложность и необходимость использования специального оборудования при техническом обслуживании;
- неремонтопригодность (в случае отказа меняется единым узлом, тем самым увеличивая стоимость технических воздействий на транспорт);

- возможность перегрева обмоток электродвигателя;
- необходимость усложнения программного обеспечения;
- применение специальных алгоритмов и блока управления ЭМУ;
- использование синхронного двигателя принуждает к применению в конструкции датчика положения ротора.

*Основные преимущества безредукторного перед редукторным вариантом ЭМУ:*

- надёжность (обеспечение прямой передачи момента, приложенного к РК, на вал рулевого механизма, в отличие от редукторного варианта, где присутствует зубчатая передача);
- быстрое действие (обеспечение высокой степени реакции со стороны управляемых колёс на изменение положения рулевого колеса);
- очень низкий уровень шума;
- отсутствие редуктора снимает необходимость компенсации сухого и вязкого трения, самовозврата в алгоритме управления ЭМУ, а также повышает безопасность системы рулевого управления, на рулевой колонке не возникает дополнительного момента сопротивления;
- компактные размеры.

*Недостатки ЭМУ безредукторного типа по сравнению с редукторным:*

- невозможность получения больших значений компенсирующего момента без значительных увеличений габаритных размеров узла;
- низкий КПД;
- наличие дополнительных датчиков (датчика положения ротора);
- большой нагрев электродвигателя.

Авторы работы [20], выполнившие сравнительный анализ влияния усилителей рулевого управления на потребительские характеристики автомобиля ВАЗ-2170 методом экспертного опроса, отмечают, что безредукторный усилитель превосходит гидравлический по большинству параметров, уступая ему лишь по вибрации на рулевом колесе и чувствительности на малых углах поворота. По суммарной экспертной оценке система усилителя с электро-механическим приводом опережает гидравлический привод на 13 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что из представленных конструкций на-

и более эффективным является электро-механический усилитель безредукторного типа.

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭМУ АВТОМОБИЛЕЙ КАТЕГОРИИ М1

Установлено [21], что основные требования, которым должна отвечать система рулевого управления, касаются:

- долговечности и безотказности узлов и агрегатов в течение всего срока эксплуатации автомобиля;

- правильности и точности поворота колёс;

- лёгкости управления и удобства в эксплуатации;

- способности рулевого колеса возвращаться в исходное положение и сохранять заданное направление движения автомобиля;

- минимальной передачи обратных ударов на рулевом колесе.

Поскольку электро-механический усилитель является одним из элементов рулевого управления, техническое состояние которого оказывает непосредственное влияние на безопасность дорожного движения, то его безотказное функционирование напрямую влияет не только на траекторную устойчивость и управляемость АТС, но и на надёжность всей системы, а также риск возникновения ДТП. Поэтому к ЭМУ предъявляются жёсткие требования по безопасности, комфортности и надёжности функционирования [1].

Анализ технических условий, сформулированных автомобильными заводами «ВАЗ», «ГАЗ», «УАЗ» для ЭМУ руля легковых автомобилей [22], и результатов исследований [23] позволяет обобщить требования, предъявляемые к усилителю, и определить круг задач, которые он должен решать:

- обеспечивать снижение управляющего усилия, прилагаемого водителем к рулевому колесу, до 5–7 Нм при частоте вращения рулевого колеса до  $1 \text{ с}^{-1}$ ;

- обеспечивать компенсирующий момент в пределах 0–28 Нм (при радиусе рулевого колеса  $\approx 200 \text{ мм}$ ) для автомобиля, стоящего на ровной горизонтальной асфальтированной поверхности дороги с полной допустимой нагрузкой, при



- скорости вращения рулевого колеса от 0 до 360 градусов в секунду;

- обеспечивать плавное, без провалов, изменение усилия на руле в зависимости от его угла поворота;

- обеспечивать плавное изменение момента, прикладываемого водителем к рулю, в зависимости от скорости движения автомобиля;

- сохранить минимально возможный уровень колебаний на управляемых колёсах, связанных с переходными процессами в ЭМУ;

- при движении автомобиля, находящегося под действием динамической пассивной стабилизации, обеспечивать активный плавный возврат управляемых колёс и руля в центральное (соответствующее прямолинейному движению) положение при снятии управляющего воздействия;

- не допускать активного возврата рулевого колеса в центральное положение в стоящем на месте автомобиле;

- осуществлять активное демпфирование поступающих на его ведомый вал ударов и пульсаций, вызванных взаимодействием автомобильных колёс с неровностями дороги;

- обеспечивать «информированность» водителя в процессе управления автомобилем на высоких скоростях.

Однако, как отмечается в [24], система управления отдельных моделей ЭМУ редукторной компоновки выполнена без обратной связи, т.е. момент на выходном валу не измеряется и не контролируется. Этот недостаток является существенным и может послужить причиной возникно-



вения определённых проблем, в том числе:

- появлению статических ошибок;
- возникновению низкочастотных пульсаций момента, обусловленных особенностями электрического двигателя;
- потере «чувства дороги» у водителя из-за наличия сил трения редукторного механизма.

(Окончание в следующем номере).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волокитин В. Н. Алгоритмизация управления электроприводом постоянного тока в системе «электромеханический усилитель руля – человек» / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Воронеж, 2004. – 20 с.
2. Боченков Б. М., Тюрин М. В. Пути повышения динамической точности управления электромеханическим усилителем рулевого управления // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 3. – С. 3–10.
3. Николаев П. А., Кукулина А. В. Испытания электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля к электромагнитному воздействию // Технологии электромагнитной совместимости. – 2015. – № 2. – С. 38–41.
4. Электромеханический усилитель рулевого управления [Электронный ресурс]: [http://www.ae.ru/production/wide/48/jelektromehanicheskij\\_usilitel\\_rulevogo\\_upravlenija\\_jemuru.html](http://www.ae.ru/production/wide/48/jelektromehanicheskij_usilitel_rulevogo_upravlenija_jemuru.html). Доступ 18.04.2017.
5. Арефьев В. А. Математическая модель электроусилителя руля // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2005. – № 32. – С. 123–129.
6. Тюрин М. В. Повышение эффективности безредукторного электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля / Дис... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2009. – 167 с.
7. Шалаев Д. В. Алгоритм работы электроусилителя руля // Актуальные проблемы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Часть I. – М.: АР-Консалт, 2014. – С. 101–103.
8. Кутепов П. А., Малеев Р. А., Коротков В. И. Тенденции и перспективы развития усилителя руля // Известия Московского государственного технического университета (МАМИ). – 2013. – № 2. – С. 97–101.
9. Байда А. С. Конструктивные особенности усилителей рулевого управления // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Омск: СибАДИ, 2011. – Кн. 2. – С. 3–7.
10. Нестерин В. А., Спиридонов А. А. К вопросу выбора оптимальной толщины магнитов в безредукторном электромеханическом усилителе рулевого управления // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 3. – С. 81–85.
11. Никулин Г. Л., Французова Г. А. Расчёт ПД-регулятора для безредукторного электроусилителя рулевого управления автомобиля // Сборник научных трудов НГТУ. – 2007. – № 1. – С. 17–24.
12. Хидиров Р. В. Электроусилители руля автомобилей ВАЗ // Современное состояние и перспективы развития технических наук: Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа: Аэтерна, 2014. – С. 57–59.
13. Шалаев Д. В. Обзор УЭРУ, используемых на автомобилях производства ОАО «АвтоВАЗ» // Актуальные проблемы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Часть I. – М.: АР-Консалт, 2014. – С. 103–105.
14. Печников А., Трубин В. Электромеханический безредукторный усилитель руля: принципы работы и применяемые электронные компоненты // Вестник электроники. – 2011. – № 1. – С. 4–8.
15. ОАО «Автоэлектроника». Каталог продукции. [Электронный ресурс]: <http://www.ae.ru/production/11/produkcija.html>. Доступ 18.04.2016.
16. Черных Е. А. Калужский завод электронных изделий // Инновации в России и не только: еженедельный бюллетень об инновационной деятельности // Неделя. – 2011. – 7–13 ноября.
17. Арсенюк С. А. Электротидроусилитель и электроусилитель рулевого управления // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. – СПб., 2016. – № 3. – С. 33–37.
18. Емельянов В. В., Васильев В. И. Устройство для ускоренных испытаний на надёжность электромеханического усилителя рулевого управления автомобиля // Вестник Курганского государственного университета. Серия «Технические науки». – 2014. – № 2. – С. 75–76.
19. Козловский В. Н., Малеев Р. А. Анализ надёжности автомобильного электромеханического усилителя рулевого управления // Грузовик. – 2008. – № 12. – С. 37–38.
20. Ермаков В. В., Шлыков С. В., Воронцов А. В. Сравнительный анализ систем усилителя рулевого управления с различными типами приводов // Вектор науки ТГУ. – 2011. – № 1. – С. 53–56.
21. Насибуллин Р. Т., Сергеев В. А., Сунгатов И. З. Модель системы электромеханического усилителя рулевого управления // Новые задачи технических наук и пути их решения: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 67–69.
22. Доманов А. В., Доманов В. И., Сергеев А. В. Влияние случайных сигналов на работу электроусилителя рулевого управления // Электроснабжение и электрооборудование. – 2013. – № 4. – С. 22–25.
23. Монченко М. И. Микропроцессорная система управления рулевым механизмом автомобиля // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 1. – С. 155–163.
24. Жарков И. А. Электромеханический усилитель рулевого управления автомобиля с регулированием момента в замкнутом контуре / Дис... магистр. – Новосибирск, 2016. – 92 с. ●

Координаты авторов: **Денисов И. В.** – [denisoviv@mail.ru](mailto:denisoviv@mail.ru), **Смирнов А. А.** – [AlexiFoX@yandex.ru](mailto:AlexiFoX@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 13.01.2017, актуализирована 18.04.2017, принята к публикации 21.04.2017.



## RELIABILITY FUNCTIONS OF ELECTROMECHANICAL POWER STEERING

*Denisov, Ilya V., Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia.  
Smirnov, Alexey A., Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia.*

### ABSTRACT

The vast majority of new cars are equipped with electromechanical power steering (EPS) because of its clear advantage as compared to hydraulic and pneumatic devices. At the same time, the question of the technical operation of the unit has not yet been fully studied, as the combination of electronic and mechanical systems in which does not allow the full use of existing methods and means of monitoring

operability of a vehicle, its actual technical condition. In this regard, development of standards for control over a technical state on the basis of diagnostic information, systematization of scientific achievements in this field, the problems of increasing reliability of EPS in operation are particularly relevant. The results of the conducted research will help in creation of a method for controlling reliability of the unit.

*Keywords:* car, steering, electromechanical power steering, technical state control, reliability, operation.

**Background.** In the world's automotive industry, there is a growing trend towards the use of electromechanical systems for various purposes in the construction of cars. Among the variety of such devices, the most widely used are antilock braking system, electromechanical brake, climate control, starter generator, the system for adjusting the position of mirrors, seats, glasses, etc. [1].

**Objective.** The objective of the authors is to consider reliability functions of electromechanical power steering.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach, scientific description.

### Results.

*Typology and general characteristics*

So, the priority today belongs to electromechanical power steering systems (EPS), whose main tasks are [2–4]:

- adding the compensating torque  $M_c$  to the steering shaft when the input torque  $M_{in}$  is applied to the steering wheel (depending on speed of movement, the ratio  $M_c/M_{in}$  can reach 0,5–7);
- provision of optimal for ergonomic conditions loading and speed characteristics of SS;
- ensuring rectilinear movement of a car when tires or suspension are damaged;
- preservation of a possibility of driving in case of amplifier's failure;
- maintaining stabilization of the wheels (keeping them in a neutral position when exposed to various disturbing factors);
- reduction of the driver's energy costs and, as a result, improving the comfort of driving;
- reduction of reaction time and improvement of road safety.

Modern electromechanical power steering is produced in various configurations, which differ in the place of application of the auxiliary force [2, 5]:

- the force from the electric motor is applied to the steering shaft – this is the most common type of layout for cars of small class (Column Drive EPS);
- the force from the electric motor is transmitted to the gearbox of the steering gear – this layout is used for middle class cars (Pinion Drive EPS);
- the force from the electric motor through the ball screw pair is transmitted to the steering rack – this layout is used for large passenger cars and light trucks (Rack Drive EPS);
- «control by wire», or a tracking system with two matched electric drives on the steering wheel and the steering rack, not having a mechanical connection (Steer-By-Wire).

At the same time, it should be noted that the most widely used actuators are Column Drive EPS, which have been used in serial production of cars for more than 10 years by such world's auto manufacturers as Renault, Citroen, Opel, Fiat, Toyota, Honda [6]. And the first mass car, equipped with electromechanical power steering, was Suzuki Cervo in 1988 [7].

Depending on the design of the electromechanical drive, the actuators of the column type can be divided into geared and gearless.

In the geared EPS, the actuating electric motor through the reducer, which is a worm gear that is designed to convert the rotational motion of the worm shaft into the rotational motion of the steering shaft [8], is connected to the steering mechanism. In such designs, a considerable rotational speed of the motor's rotor is required, but the requirements to the developed force are reduced [9].

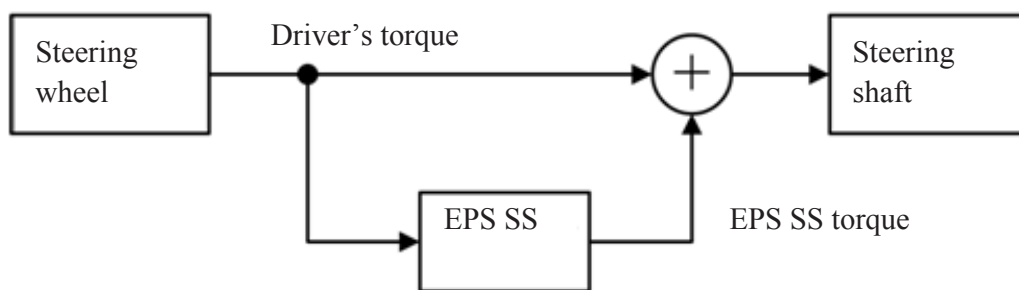
The gearless actuator is a system based on a contactless low-speed, high-torque, direct-action electric motor, which has a simpler design than a geared EPS and, as a consequence, has high reliability in addition to improved dynamic qualities. The absence of a gearbox gives a number of advantages, in this design there is no additional friction in the mechanical part, which leads to an additional variable moment of resistance, which in turn leads to implementation of a more sophisticated control algorithm with compensations for dry and viscous friction in the gearbox. The speed of reaction of the gearless actuator when changing the direction of rotation of the steering wheel, as well as the speed of rotation of the steerable wheels can significantly exceed the same indexes on the geared electromechanical power steering. However, the main problem with the creation of gearless EPS remains the use of special motors that develop a significant force (torque) at low speeds of rotation [2, 10].

Schematically [11], the use of an electromechanical power steering of a column type in the steering design is shown in Pic. 1.

The presented scheme emphasizes the role of EPS of steering wheel as an auxiliary mechanism that does not break the connection between the driver and the road and does not interfere with driving in the disconnected state.

In the domestic automotive industry, the concept of building an electromechanical steering system such as the Column Drive EPS has been developed, the main advantage of which is a minimal change in the design of the steering device as a whole.





**Fig. 1. Scheme of application of a column EPS in the steering design.**

Analyzing the chronology of the introduction of Russian power steering [12, 13], it should be noted that the first work on the design and subsequent launch of the unit in the serial production was conducted in Novosibirsk in 1999 [14], and, unlike foreign analogues, a gearless EPS design was selected.

One of the initial developers of electromechanical amplifiers of a geared type was NPK Energia (Voronezh). However, the node designed there existed only at the stage of prototypes until 2003 and was not accepted for mass production.

The creation of gearless EPS for Lada Kalina and Lada Priora vehicles was carried out by JSC DAAZ (Dimitrovgrad) between 2005 and 2007, and then (2008–2010) the prototypes were handed over to PO «Sever» (Novosibirsk) but here the new unit was not launched into mass production.

The electromechanical actuator designed by OJSC Aviaagregat (Makhachkala) was produced serially from 2004 to 2009 and was installed on Lada Kalina cars. The design included a worm gearbox with a gear ratio of 15, 5:1.

Modern EPS developments are related to the activities of JSC Concern KEMZ (Kizlyar), which was considered as an alternative supplier of electromechanical actuators for Lada Priora cars. But the designed prototypes again did not go into mass production.

Now in Kaluga JSC Avtoelektronika produces a range of EPS that are installed on Lada Kalina and Lada Priora cars, and from 2011 on Lada Granta. Table 1 presents the technical characteristics of the units produced [15].

We add that the alternative supplier of EPS of JSC AvtoVAZ since 2008 is the manufacturer Mando Corporation (Korea). The units of this enterprise are installed on cars Lada Kalina and Lada Granta. The structural difference from the actuators of JSC Avtoelektronika is a worm gearbox with a gear ratio of 15, 33:1.

#### **Principle of operation of gearless EPS**

According to [9, 16], the power of the gearless actuator in all modes is carried out from the vehicle's on-board network via power cables. The current consumed by the actuator in the «compensation» mode, when the motor generates an additional force, can reach a considerable value of 55 A, which is why on most cars the work of EPS on an operating engine is impossible or limited due to the danger of excessive discharge of the battery.

The operation of the actuator is controlled by a controller (electronic control unit – ECU). Turning the key in the ignition switch activates ECU, which in turn

starts the initialization and error detection operations. Detection at this stage of any malfunctions entails the transition of the actuator to the «failure» mode, and assistance to the driver in driving will be absent. After receiving a tachometric signal that determines the stable operation of the car engine, the controller switches the actuator to the main «compensation» mode.

In the «compensation» mode, when the steering wheel is turned by the driver, there is a moment on the input shaft, there is a mismatch between the input and output shafts. Located between them an elastic element – the torsion is twisted by an angle proportional to the magnitude of the input torque. The angle value is determined by the torque sensor and, in turn, is transmitted to the EPS motor control system. By receiving and processing signals, the control unit generates information about the magnitude and direction of the force applied by the driver (the input torque). When the value of the torque on the input shaft exceeds the specified minimum value the ECU of an electric motor generates a power control signal to generate the required compensating torque on the steering gear. The value of the signal on the stator winding of the electric motor is formed taking into account the signals of the rotor position sensor. In addition, the controller receives signals from the speed sensor and the engine crankshaft rotation sensor.

The dependence of the output compensating torque on the input is usually set in such a way that it is sufficient for the driver to exert a force on the steering wheel not more than a certain comfortable minimum (5–7 Nm), regardless of the type of the pavement.

As the speed of the car increases, the coupling properties between the wheels and the road surface decrease, and therefore, it is necessary to reduce the value of compensating force to create a «heavy steering» and to provide a «sense of the road». This requirement is met by obtaining by an ECU information on the speed of the vehicle through a separate input. As the speed of the vehicle increases, the value of the compensating torque decreases. This dependence is not linear and in most cases is determined experimentally for a particular brand of car [9].

#### **Comparative analysis of amplifiers**

Our comparative analysis [4–5, 17–19] of gearless EPS with geared and hydraulic actuators (HA) allows us to identify a number of advantages and disadvantages of the node under consideration.

The main advantages of gearless EPS over hydraulic power steering:

– manufacturability, adaptability and compactness of installation (the actuator is mounted on the car by

Table 1

## Technical characteristics of EPS produced by JSC Avtoelektronika

Applicability	For cars VAZ-2170 «Priora» with a steering rack 4.1.	For cars VAZ-1118 «Kalina» and VAZ-2190 «Granta» with a steering rack 4.1.	For cars VAZ-2170 «Priora» with a steering rack 4.1.	For cars VAZ-1117 «Kalina» and VAZ-2190 «Granta» with a steering rack 3.1.
Serial number of the manufacturer	121.3405010-05	122.3405010-02 A	121.3405010-04	122.3405010-02
Serial number of JSC AvtoVAZ	2172-3450008-02	11186-3450008-02	2172-3450008-02	1117-3450008-02
Operating supply voltage, V	13,5			
Current consumption, A	not more than 55			
Compensating torque at a steering wheel speed 360°/s, Nm	28 ± 1	24,5	28 ± 1	28 ± 1
Overall dimensions	440 x 203 x 162			
Weight, kg	not more than 9,3			

one unit without intrusion into the engine compartment);

- simplicity of design and maintenance;
- installation time - not more than 1,5 h;
- high reliability (there are no hose pipes, belts, pulley housings, filler blocks, liquids);
- providing passive safety in case of impact;
- presence of the built in system of self-diagnostics;

- absence of friction parts and, as a result, wear;

- independence from the engine crankshaft rotation speed;

- independence from temperature fluctuations;
- environmental friendliness, affordability and energy saving (EPS consumes power only when maneuvering, which significantly reduces energy costs and leads to fuel saving);

- information content (the ability to easily change the degree of assistance to the driver when changing the car's speed);

- ease of adjustment in operation.

The disadvantages of gearless electromechanical power steering as compared with HA are:

- limited range of values of the compensating torque (not more than 28 Nm);
- low coefficient of efficiency;
- complexity and necessity of using special equipment for maintenance;
- non-repairability (in case of failure it is changed by a single node, thereby increasing the cost of technical impacts on transport);
- possibility of overheating of the windings of the electric motor;
- need for more complicated software;
- application of special algorithms and EPS control unit;
- use of a synchronous motor forces the use of the rotor position sensor in the design.

The main advantages of gearless over geared EPS:

- reliability (providing a direct transfer of the torque applied to the SS, on the shaft of the steering mechanism, in contrast to the gear version where the gear is present);

- response time (providing a high degree of reaction from the steering wheels to changing the position of the steering wheel);

- very low noise level;

- absence of a gearbox eliminates the need to compensate for dry and viscous friction, self-return in the EPS control algorithm, and also increases the safety of the steering system, there is no additional resistance moment on the steering column;

- compact size.

Disadvantages of EPS of a gearless type in comparison with a geared one:

- impossibility of obtaining large values of the compensating torque without significant increases in overall dimensions of the unit;

- low coefficient of efficiency;

- availability of additional sensors (rotor position sensor);

- greater heating of the electric motor.

The authors of the paper [20] who performed a comparative analysis of the effect of power steering on the consumer characteristics of VAZ-2170 by the expert poll, note that the gearless amplifier outperforms the hydraulic one in most parameters, yielding only to the vibration on the steering wheel and the sensitivity at small angles of rotation. According to the total expert evaluation, the amplifier system with electromechanical drive is 13 % ahead of the hydraulic drive.

Thus, it can be concluded that the most effective of the presented designs is an electromechanical amplifier of a gearless type.

The main requirements for EPS of cars of category M1

It is established [21] that the main requirements that the steering system must meet relate to:





- durability and reliability of units and major components during the entire life of the car;
- correctness and accuracy of turning of wheels;
- ease of control and ease of use;
- ability of a steering wheel to return to its original position and maintain the specified direction of the car;
- minimum transmission of back impacts on the steering wheel.

Since the electromechanical actuator is one of the steering elements, the technical condition of which has a direct impact on road safety, its faultless operation directly affects not only the trajectory stability and controllability of a vehicle, but also reliability of the entire system, as well as the risk of a road traffic accident. Therefore, strict requirements for safety, comfort and reliability of operation are imposed on EPS [1].

Analysis of the technical conditions formulated by the automobile plants VAZ, GAZ, UAZ for EPS of steering of private cars [22], and the results of the research [23] allows us to generalize the requirements for the actuator and determine the range of tasks that it must solve:

- provide a reduction of the steering effort applied by the driver to the steering wheel, up to 5–7 Nm at the steering wheel speed up to  $1 \text{ s}^{-1}$ ;
- provide a compensating torque within 0–28 Nm (with a steering wheel radius of  $\approx 200 \text{ mm}$ ) for a car standing on a flat horizontal asphalt surface of the road with a full permissible load, with a steering wheel speed of 0 to 360 degrees per second;
- provide a smooth, without failures, change in force on the steering, depending on its angle of rotation;
- ensure a smooth change in the torque applied by the driver to the steering, depending on the car's speed;

- maintain the minimum possible level of oscillations on controlled wheels associated with transient processes in EPS;

- when the vehicle under dynamic passive stabilization moves, ensure an active smooth return of the steered wheels and steering to the central position (corresponding to the straight-line movement) when the control action is removed;

- do not allow active return of the steering wheel to the central position on the car standing still;

- carry out active damping of impacts and pulsations arriving at its driven shaft caused by interaction of automobile wheels with road irregularities;

- provide «awareness» of the driver in the process of driving at high speeds.

However, as noted in [24], the control system of the individual models of the EPS of the geared assembly is performed without feedback, i.e. the torque on the output shaft is not measured and not controlled. This shortcoming is significant and can cause some problems, including:

- appearance of static errors;
- occurrence of low-frequency pulsations of the torque, caused by features of the electric motor;
- loss of the driver's «road sense» due to the frictional forces of the gear mechanism.

**(To be continued in the next issue).**

## REFERENCES

1. Volokitin, V. N. Algorithmization of the control of a DC electric drive in the system «electromechanical power steering – man». Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Algorithmizacija upravljenja elektroprivodom postojannogo toka v sisteme «elektromehaničeskij usilitel' rulja – chelovek». Avtoref. dis... kand. tehn. nauk]. Voronezh, 2004, 20 p.
2. Bochenkov, B. M., Tyurin, M. V. Ways to increase the dynamic accuracy of control of the electromechanical

power steering [Puti povyshenija dinamičeskoj točnosti upravlenija elektromehaničeskim usilitelem rulevogo upravlenija]. *Sbornik nauchnyh trudov NGTU*, 2006, Iss. 3, pp. 3–10.

3. Nikolaev, P. A., Kuklina, A. V. Tests of the electromechanical power steering of a car to electromagnetic influence [Ispytanija elektromehaničeskogo usilitelja rulevogo upravlenija avtomobilja k elektromagnitnomu vozdeystviju]. *Tehnologii elektromagnitnoj sovmestivosti*, 2015, Iss. 2, pp. 38–41.

4. Electromechanical power steering [Elektromehaničeskij usilitel' rulevogo upravlenija]. [Electronic resource]: [http://www.ae.ru/production/wide/48/jelektromehaničeskij\\_usilitel\\_rulevogo\\_upravlenija\\_jemuru.html](http://www.ae.ru/production/wide/48/jelektromehaničeskij_usilitel_rulevogo_upravlenija_jemuru.html). Last accessed 18.04.2017.

5. Arefiev, V. A. Mathematical model of electric power steering [Matematičeskaja model' elektrousilitelja rulja]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Tehničeskie nauki*, 2005, Iss. 32, pp. 123–129.

6. Tyurin, M. V. Increase in efficiency of a gearless electromechanical power steering of a car. Ph.D. (Eng.) thesis [Povyšenie effektivnosti bezreduktornogo elektromehaničeskogo usilitelja rulevogo upravlenija avtomobilja. Dis... kand. tehn. nauk]. Novosibirsk, 2009, 167 p.

7. Shalaev, D. V. Algorithm of electric power steering operation [Algoritm raboty elektrousilitelja rulja]. *Actual problems of development of science and education: a collection of scientific papers on the materials of the International Scientific and Practical Conference. Part I*, Moscow, AR-Konsalt publ., 2014, pp. 101–103.

8. Kutepov, P. A., Maleev, R. A., Korotkov, V. I. Tendencies and development perspectives of the power steering [Tendencii i perspektivy razvitija usilitelja rulja]. *Izvestija Moskovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta (MAMI)*, 2013, Iss. 2, pp. 97–101.

9. Baida, A. S. Structural features of power steering [Konstruktivnye osobennosti usilitelej rulevogo upravlenija]. *Oriented fundamental and applied research – the basis for modernization and innovative development of architectural and construction and road transport complexes in Russia: materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference*. Omsk, SibADI publ., 2011, Book 2, pp. 3–7.

10. Nesterin, V. A., Spiridonov, A. A. To the problem of choosing the optimal thickness of magnets in a gearless electromechanical power steering [K voprosu vybora optimal'noj tolshhiny magnitov v bezreduktornom elektromehaničeskom usilitele rulevogo upravlenija]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2015, Iss. 3, pp. 81–85.

11. Nikulin, G. L., Frantsuzova, G. A. Calculation of a compound controller for a gearless electric power steering of a car [Raschet PD-reguljatora dlja bezreduktornogo elektrousilitelja rulevogo upravlenija avtomobilja]. *Sbornik nauchnyh trudov NGTU*, 2007, Iss. 1 (47), pp. 17–24.

12. Khidirov, R. V. Electric power steering of VAZ cars [Elektrousilitel' rulja avtomobilej VAZ]. *Current state and prospects of development of technical sciences: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*. Ufa, Aeterna publ., 2014, pp. 57–59.

13. Shalaev, D. V. Review of EPS used on cars produced by JSC AvtoVAZ [Obzor UERU, ispol'zuemyh na avtomobiljah proizvodstva OAO «AvtoVAZ»]. *Actual problems*

*of development of science and education: a collection of scientific papers on the materials of the International Scientific and Practical Conference. Part I*. Moscow, AR-Konsalt publ., 2014, pp. 103–105.

14. Pechnikov, A., Trubin, V. Electromechanical gearless power steering: principles of operation and applied electronic components [Elektromehaničeskij bezreduktornyj usilitel' rulja: principy raboty i primenjaemye elektronnye komponenty]. *Vestnik elektroniki*, 2011, Iss. 1, pp. 4–8.

15. JSC Avtoelektronika. Product Catalog [OAO «Avtoelektronika». *Katalog produkcii*]. [Electronic resource]: <http://www.ae.ru/production/11/produkcija.html>. Last accessed 18.04.2016.

16. Chernykh, E. A. Kaluga plant of electronic products [Kaluzhskij zavod elektronnyh izdelij]. *Innovations in Russia and not only: weekly bulletin on innovation activity*, 2011, November 7–13.

17. Arsenyuk, S. A. Electrohydraulic amplifier and electric power steering [Elektrogidrousilitel' i elektrousilitel' rulevogo upravlenija]. *Topical problems of technical sciences in modern conditions: a collection of scientific papers on the results of an international scientific and practical conference*. St. Petersburg, 2016, Iss. 3, pp. 33–37.

18. Emelyanov, V. V., Vasiliev, V. I. Device for accelerated testing of reliability of an electromechanical power steering of a car [Ustrojstvo dlja uskorenyh ispytanij na nadezhnost' elektromehaničeskogo usilitelja rulevogo upravlenija avtomobilja]. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Tehničeskie nauki»*, 2014, Iss. 2, pp. 75–76.

19. Kozlovsky, V. N., Maleev, R. A. Analysis of reliability of an automobile electromechanical power steering [Analiz nadezhnosti avtomobil'nogo elektromehaničeskogo usilitelja rulevogo upravlenija]. *Gruzovik*, 2008, Iss. 12, pp. 37–38.

20. Ermakov, V. V., Shlykov, S. V., Vorontsov, A. V. Comparative analysis of power steering systems with various types of drives [Srvnitel'nyj analiz sistem usilitelja rulevogo upravlenija s razlichnymi tipami privodov]. *Vektor nauki TGU*, 2011, Iss. 1, pp. 53–56.

21. Nasibullin, R. T., Sergeev, V. A., Sungatov, I. Z. Model of an electromechanical power steering system [Model' sistemy elektromehaničeskogo usilitelja rulevogo upravlenija]. *New problems of technical sciences and ways to solve them: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference*. Ufa, Aeterna publ., 2015, pp. 67–69.

22. Domanov, A. V., Domanov, V. I., Sergeev, A. V. Influence of random signals on the operation of electric power steering [Vlijanie sluchajnyh signalov na rabotu elektrousilitelja rulevogo upravlenija]. *Elektrosnabzhenie i elektrooborudovanie*, 2013, Iss. 4, pp. 22–25.

23. Monchenko, M. I. Microprocessor control system of the steering mechanism of a car [Mikroprocessornaja sistema upravlenija rulevym mehanizmom avtomobilja]. *Izvestija YuFU. Tehničeskie nauki*, 2010, Iss. 1, pp. 155–163.

24. Zharkov, I. A. Electromechanical power steering of a car with closed-loop torque control. Master's thesis [Elektromehaničeskij usilitel' rulevogo upravlenija avtomobilja s regulirovaniem momenta v zamknutom konture. Dis... magistra]. Novosibirsk, 2016, 92 p. ●

Information about the authors:

**Denisov, Ilya V.** – Ph.D. (Eng.), associate professor at the department of Automobile transport of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, [denisoviv@mail.ru](mailto:denisoviv@mail.ru).

**Smirnov, Alexey A.** – Master's student at the department of Automobile transport of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, [AlexiFoX@yandex.ru](mailto:AlexiFoX@yandex.ru).

Article received 13.01.2017, revised 18.04.2017, accepted 21.04.2017.





# Напряжённое состояние земляного полотна при воздействии вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс



Валерий КОССОВ  
Valery S. KOSSOV

Олег КРАСНОВ  
Oleg G. KRASNOV



Андрей ПРОТОПОПОВ  
Andrey L. PROTOPOPOV

*Коссов Валерий Семёнович – доктор технических наук, профессор, генеральный директор АО «ВНИКТИ», Коломна, Россия.*  
*Краснов Олег Геннадьевич – кандидат технических наук, заведующий отделом АО «ВНИКТИ», Коломна, Россия.*  
*Протопопов Андрей Леонидович – старший научный сотрудник АО «ВНИКТИ», Коломна, Россия.*

## Study of Roadbed Stress State from the Impact of Freight Cars with Axle Load up to 30 tnf

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 82)

**Статья знакомит с результатами исследования напряжённого состояния деятельной зоны земляного полотна от воздействия грузовых вагонов с осевыми нагрузками 23,5, 25, 27 и 30 тс на конечно-элементной модели. С использованием теории предельного равновесия по фактически зарегистрированным уровням вибровоздействий определены уровни предельных напряжений для насыпи земляного полотна участка Голутвин–Озеры Московской железной дороги. Проведены экспериментальные замеры и анализ напряжений на основной площадке полотна и выполнена верификация расчётных и экспериментальных данных.**

*Ключевые слова:* железная дорога, земляное полотно, напряжённое состояние, грузовые вагоны, повышенные осевые нагрузки, предельные напряжения, влажность, вибровоздействия.

**Р**азвитие тяжеловесного движения на российских железных дорогах, внедрение грузовых вагонов с осевыми нагрузками 25 тс и в перспективе 27 и 30 тс остро ставят вопрос об оценке несущей способности земляного полотна насыпей из глинистых переувлажнённых грунтов при вибровоздействии подвижного состава. Повышенные осевые нагрузки приводят на некоторых участках к увеличению дефектов и деформаций земляного полотна [1–3].

Специалистами АО «ВНИКТИ» проведены теоретические и экспериментальные исследования напряжённого состояния (НС) основной площадки земляного полотна (ОПЗП) при воздействии от грузовых вагонов с осевыми нагрузками 23,5, 25, 27, 30 тс. При этом изучалось влияние на уровни напряжений величин осевых нагрузок, скорости движения, упругих характеристик щебеночного балласта, песчаной подушки, а также соотношения их толщин.

Исследовано влияние уровней вибровоздействия (амплитуд виброколебаний

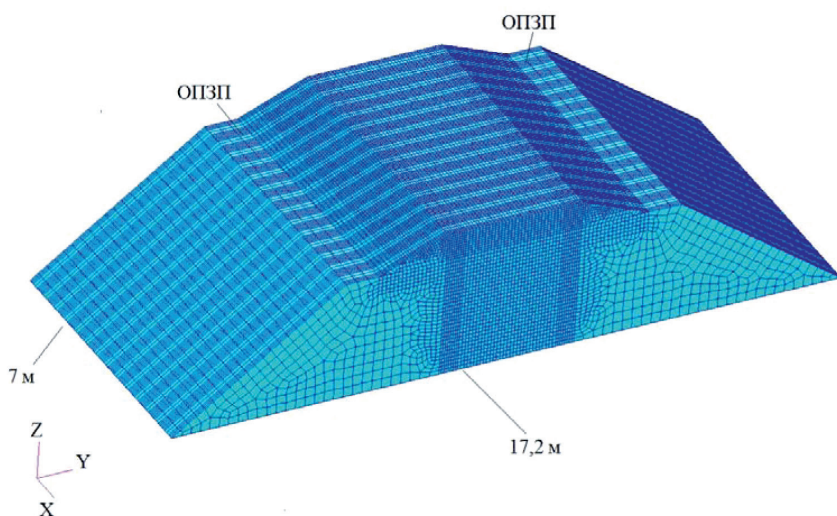


Рис. 1. Конечно-элементная модель земляного полотна с балластной призмой.

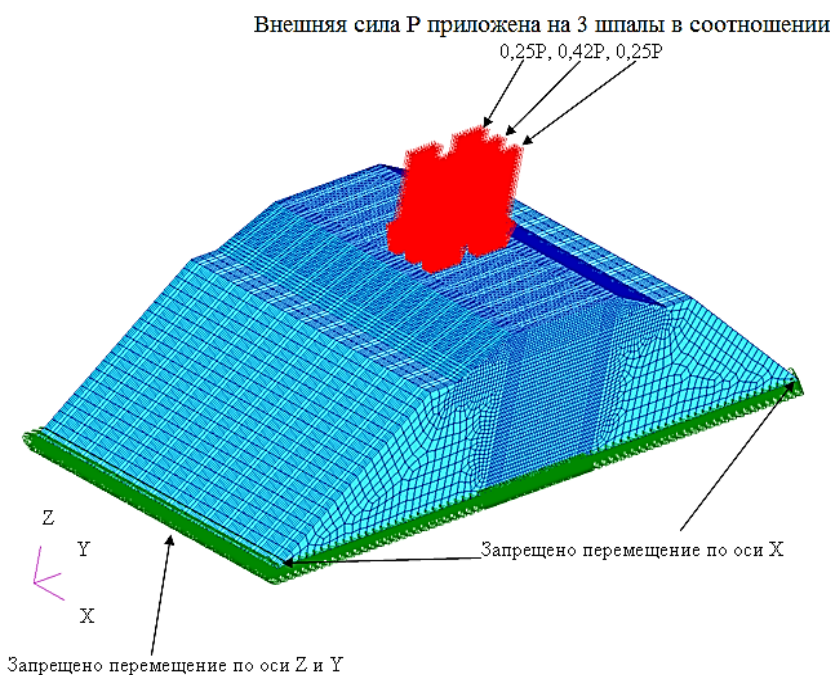


Рис. 2. Схема нагружения и закрепления конечно-элементной модели.

грунта на ОПЗП, получаемых экспериментально при проведении ходовых испытаний), влажности грунтов (показателя текучести  $J_L$ ) на предельные напряжения земляного полотна. Теоретические исследования проводились на модели насыпи, геометрические параметры которой получены с помощью прямых измерений натурального участка пути, где были установлены приборы для регистрации силовых факторов и напряжений на ОПЗП.

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ И РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА

Моделирование и расчёт проводились на базе метода конечных элементов, использовались программные комплексы PATRAN, NASTRAN, MARC.

На рис. 1 приведена конечно-элементная модель фрагмента пути (земляное полотно, балласт). В зависимости от высоты балласта количество Hex8-элементов в модели изменялось от 336 896 до



Расчётные модели для оценки влияния размеров и параметров слоёв балласта\*

№ модели	Структура подшпального основания	Толщина балластного и подбалластного слоёв, м	Расчётные параметры балластного и подбалластного слоёв	
			Модуль деформации E, МПа	Коэффициент Пуассона, $\mu$
1	балласт	0,3	254	0,27
	песчаная подушка	0,3	110	0,3
2	балласт	0,3	150	0,27
	песчаная подушка	0,3	80	0,3
3	балласт	0,4	254	0,27
	песчаная подушка	—	—	—
4	балласт	0,4	110	0,27
	песчаная подушка	—	—	—
5	балласт	0,4	254	0,27
	песчаная подушка	0,2	110	0,3
6	балласт	0,4	150	0,27
	песчаная подушка	0,2	80	0,3
7	балласт	0,4	254	0,27
	песчаная подушка	0,3	110	0,3
8	балласт	0,4	150	0,27
	песчаная подушка	0,3	80	0,3
9	балласт	0,5	254	0,27
	песчаная подушка	—	—	—
10	балласт	0,5	150	0,27
	песчаная подушка	—	—	—
11	балласт	0,5	254	0,27
	песчаная подушка	0,2	110	0,3
12	балласт	0,5	150	0,27
	песчаная подушка	0,2	80	0,3
13	балласт	0,5	254	0,27
	песчаная подушка	0,3	110	0,3
14	балласт	0,5	150	0,27
	песчаная подушка	0,3	80	0,3

\* Данные по модулю упругости щебёночного балласта принимались по результатам испытания проб щебня, взятых с участка Голутвин–Озёры.

355 488, количество узлов – от 355 272 до 381 691.

В расчётах учитывалось влияние на НС насыпи следующих факторов:

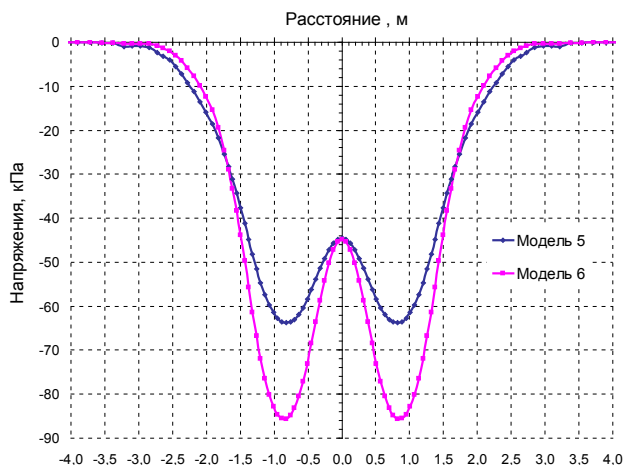
- величин вертикальных сил, передаваемых от колеса на рельс;
- скорости движения поездов;
- соотношения толщин составляющих балластного слоя – щебня, подбалластного слоя;
- соотношения упругих характеристик элементов балластного слоя и земляного полотна.

В качестве исходных данных при моделировании принимали нагрузки, полученные при динамических испытаниях опытного поезда, включавшего грузовые вагоны

с осевыми нагрузками 23,5, 25, 27 и 30 тс [17]. На рис. 2 показаны граничные условия и схемы приложения нагрузок. Осевая нагрузка принималась распределённой на три шпалы в пропорции 0,25, 0,42 и 0,25. Оставшейся нагрузкой (0,08), распределённой на соседние шпалы, ввиду малого её значения пренебрегали.

Оценка прочности земляного полотна на основной его площадке проводилась путём сравнения расчётных напряжений с допускаемыми значениями напряжений, равными 80 кПа. Их величина в действительности зависит от физико-механических параметров грунтов земляного полотна, степени увлажнения и уровней вибровоздействия. В работах [18–20]





**Рис. 3. Распределение напряжений при различных характеристиках модулей упругости балластного и подбалластного слоёв (осевая нагрузка 30 тс, скорость 90 км/ч).**

даны результаты исследования модулей упругости при трёхосном сжатии в зависимости от числа циклов обжатия и величин давлений. Показано, что величина модуля упругости балластных материалов существенно зависит от степени уплотнения балласта, давления на поверхности при трёхосном сжатии и материала частиц щебня (гранит, базальт). Аналогичные исследования проведены специалистами центра испытаний материалов и конструкций – филиалом Октябрьской железной дороги на балластных материалах, песке и грунте, взятых с подшпального основания измерительного участка перегона Голутвин–Озеры.

Для оценки влияния структуры и упругих характеристик балластного слоя и песчаной подушки на напряжённое состояние ОПЗП было рассмотрено 14 расчётных моделей (таблица 1).

Для оценки условий прочности в расчётах принимались максимально вероятные значения вертикальных сил:

$$\bar{P}_e^{\max} = \bar{m}_{P_e}^N + 2,5\bar{\sigma}_{P_e}^N,$$

где  $\bar{m}_{P_e}^N$  – математическое ожидание ансамбля вертикальных сил от воздействия колёсных пар грузовых вагонов с осевыми нагрузками 23,5, 25, 27 и 30 тс;  $\bar{\sigma}_{P_e}^N$  – среднее квадратическое отклонение ансамбля вертикальных сил от воздействия грузовых вагонов.

В реальной эксплуатации вероятность появления максимально вероятных значе-

ний вертикальных сил мала. Поэтому для верификации конечно-элементной модели с экспериментально полученным значением величин напряжений на ОПЗП принимали средние максимальные величины вертикальных сил, которые определялись из выражения:

$$P_e^{cp} = \bar{m}_{P_e}^N + \bar{\sigma}_{P_e}^N.$$

Для оценки влияния упругих характеристик балластного слоя и песчаной подушки представлены результаты расчётов напряжений на ОПЗП для двух вариантов моделей 5 и 6. На рис. 3 приведено распределение расчётных напряжений по поперечному сечению земляного полотна от максимально вероятных значений вертикальных сил грузовых вагонов с осевой нагрузкой 30 тс при скорости движения 90 км/ч.

Из графиков распределения напряжений на ОПЗП видно, что упругие характеристики – модули упругости балластного слоя и песчаной подушки существенно влияют на напряжение. Так, для одинаковой конструкции подбалластного строения, нормированного для путей I, II, и III класса – 0,4 м щебня и 0,2 м песка, значения напряжения могут отличаться на 30–40 %. Для расчётного случая (варианты 5 и 6) разница составила 34 %.

На рис. 4 представлено распределение напряжений в подшпальном пространстве для варианта 2. При этом в качестве значений вертикальных сил принимались максимально вероятные значения, полученные



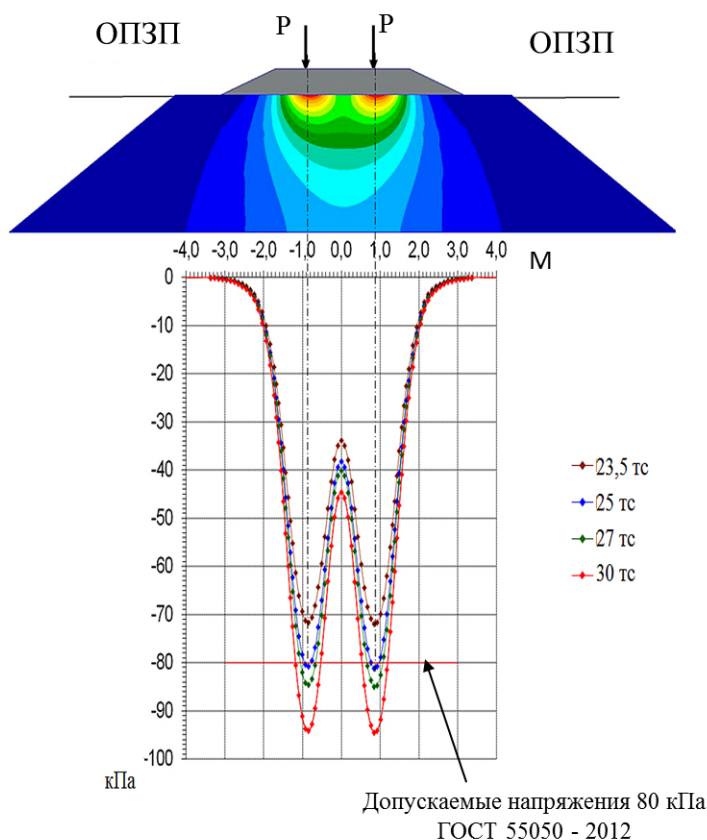


Рис. 4. Изменения напряжений на основной площадке земляного полотна в зависимости от осевых нагрузок при скорости движения 90 км/ч.

Таблица 2

**Расчётные напряжения на основной площадке земляного полотна от максимально вероятных и средних значений вертикальных сил\***

№ п/п	Скорость движения	Осевая нагрузка 23,5 тс	Осевая нагрузка 25 тс	Осевая нагрузка 27 тс	Осевая нагрузка 30 тс
1	40	59,8/51,1	64,5/52,1	67,2/55,7	71,9/59,6
2	60	61,1/53,1	67,7/56,7	69,0/60,7	72,5/64,9
3	80	63,2/54,6	70,1/58,4	72,5/62,4	78,6/66,7
4	90	65,7/56,2	74,1/60,1	77,6/64,3	86,3/68,8

\* Числитель – максимально вероятные; знаменатель – средние значения вертикальных сил.

экспериментально во время проведения ходовых динамических испытаний полувагонов с осевыми нагрузками 23,5, 25, 27 и 30 тс.

Расчётные значения напряжений на ОПЗП (для варианта 2) от максимально вероятных и средних максимальных значений вертикальных сил представлены в таблице 2.

Проведены исследования на компьютерной модели зависимости значений напряжений на ОПЗП для полувагонов с осевой нагрузкой 30 тс от скорости дви-

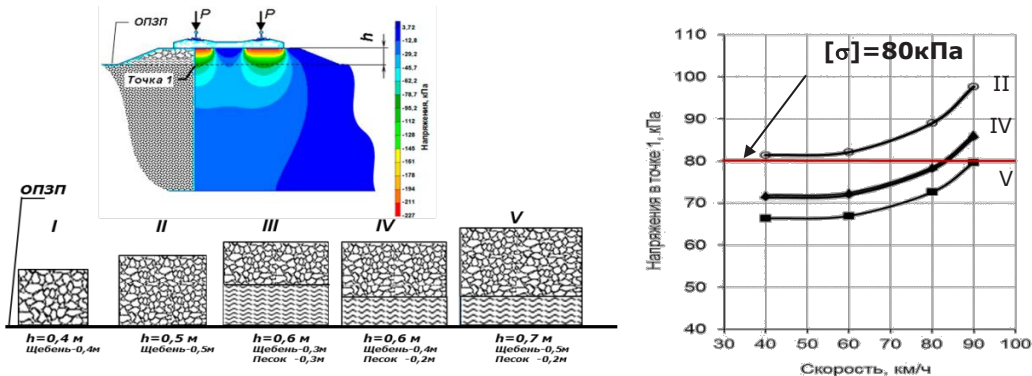
жения, толщины балластного и подбалластного слоёв. Результаты расчётов представлены в таблице 3 и на рис. 5.

Исследование НС железнодорожной насыпи от воздействия грузовых вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс показало:

- имеет место тенденция к росту напряжений на ОПЗП как с повышением осевой нагрузки, так и с увеличением скорости движения;
- на напряжённое состояние ОПЗП оказывают влияние упругие характеристики балластного слоя и песчаной по-

**Максимальные напряжения на основной площадке земляного полотна при осевой нагрузке 30 тс в зависимости от скорости и структуры балластного слоя**

Модель	Структура балласта	Напряжения от осевой нагрузки 30 тс (кПа) при заданной скорости (км/ч)			
		40	60	80	90
4	Щебень 0,4 м	101,3	102,2	110,8	121,6
10	Щебень 0,5 м	81,4	82,1	89	97,7
6	Щебень 0,4 м Песок 0,2 м	71,3	71,9	78	85,6
12	Щебень 0,5 м Песок 0,2 м	61,4	62	67,2	73,7



**Рис. 5. Изменение напряжений на основной площадке земляного полотна в зависимости от структуры балластного и подбалластного слоев и скорости движения.**

душки, толщина каждой из составляющих и общая толщина балластного слоя и песчаной подушки;

- при толщине балластного слоя 0,3 м и песчаной подушки 0,3 м (рис. 5) при действии максимально вероятных значений вертикальных сил и скорости движения до 90 км/ч напряжения на ОПЗП от воздействия грузовых вагонов с осевыми нагрузками 27 и 30 тс превышают допустимые значения  $[\sigma_{\text{опзп}}] = 80$  кПа, а от вагонов с осевыми нагрузками 25 тс — находятся в пределах 77,6 МПа;

- за счёт эффективного распределения усилий от воздействия грузовых вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс и увеличения толщины балластного слоя можно добиться уровней напряжений на ОПЗП, не превышающих нормативные значения;

- при структуре балластного слоя, рекомендуемой для путей I, II и III классов и толщине слоя балласта 0,4 м, а песчаной подушки — 0,2 м, напряжения на ОПЗП от вагонов с осевыми нагрузками 30 тс превышают нормативные значения при скоростях движения более 80 км/ч;

- при изменении соотношения толщин балластного слоя и песчаной подушки НС земляного полотна зависимо изменяется (таблица 4);

- при увеличении балластного слоя до 0,5 м и толщине балластной подушки 0,2 м напряжения на ОПЗП не превышали нормативных значений 80 кПа от грузовых вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс и скорости движения до 90 км/ч.

### ПРЕДЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОЙ ЗОНЕ

Для определения несущей способности железнодорожного земляного полотна была использована теория предельного равновесия. Применимость этой теории для инженерных расчётов и хорошая сходимость теоретических и практических значений нагрузок подтверждаются работами [8, 11, 12, 16].

Предельное напряжённое состояние подшпального основания — такое состояние, при котором минимальное приращение статической или динамической нагрузки приводит к возникновению в балласте



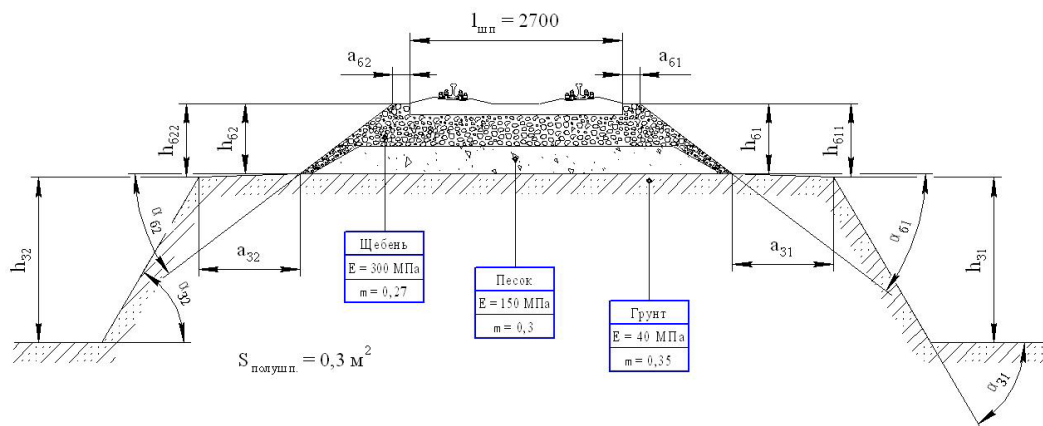


Рис. 6. Схема и геометрические размеры насыпи на измерительном участке.

Таблица 4

Геометрические параметры поперечного сечения железнодорожной насыпи на опытном участке

Сечения	Левая сторона						Правая сторона							
	$a_{62}$ , м	$h_{62}$ , м	$h_{622}$ , м	$\alpha_{62}$ , °	$h_{32}$ , м	$a_{32}$ , м	$\alpha_{32}$ , °	$a_{61}$ , м	$h_{61}$ , м	$h_{611}$ , м	$\alpha_{61}$ , °	$h_{31}$ , м	$a_{31}$ , м	$\alpha_{31}$ , °
5 м до	0,36	0,55	0,72	20,5	2,23	1,05	35	0,35	0,61	0,78	21,5	2,04	1,23	35,5
0 – в створе датчиков	0,34	0,61	0,77	22	2,42	1,00	34	0,36	0,56	0,75	23	2,23	1,17	26
5 м после	0,37	0,63	0,76	23	2,28	1,12	36	0,35	0,56	0,75	22,5	2,32	1,21	35,5
Среднее	0,36	0,60	0,75	21,8	2,31	1,06	35	0,35	0,58	0,76	22,3	2,20	1,20	35,7

и земляном полотне сплошных поверхностей скольжения, где сдвигающие силы превышают удерживающие. Поверхности скольжения представляют собой совокупность отдельных площадок, образовавшихся при превышении удерживающих сил сдвигающими. Касательные плоскости к поверхностям скольжения совпадают с площадками скольжения. Отдельные площадки скольжения могут образовываться в грунтовой среде и при нагрузках, не превышающих предельные, но они не вызывают деформаций массива. Лишь при нагрузках не ниже предельных формируются группы площадок – целые поверхности, где происходит сдвиговая деформация грунтового массива.

Используя алгоритмы [11], выполнено интегрирование конечно-разностным методом уравнений характеристик и дифференциальных соотношений по разработанной специалистами АО «ВНИКТИ» программе.

Расчёты проведены для насыпи, сложенной из глинистых грунтов.

Геометрические параметры поперечного сечения железнодорожной насыпи, объёмные характеристики грунтов, коэффициенты, характеризующие снижение прочностных свойств грунтов, представлены на рис. 6 и в таблице 4.

Расчёты несущей способности земляного полотна выполнены для:

- насыпи высотой 3,1 м с геометрическими параметрами, которые определены путём прямого геометрического измерения по сечению установки измерительных приборов;
- земляного полотна, сложенного глинистыми грунтами;
- уровней виброколебаний на ОПЗП, зарегистрированных от воздействия грузовых вагонов с разными осевыми нагрузками при качении колёс по рельсам при отсутствии неровностей на поверхности катания;
- случая изменения влажности грунта при изменении показателя текучести с  $J < 0,25$  до  $0,25 < J < 0,5$ .

В результате экспериментальных исследований вибрационных воздействий на

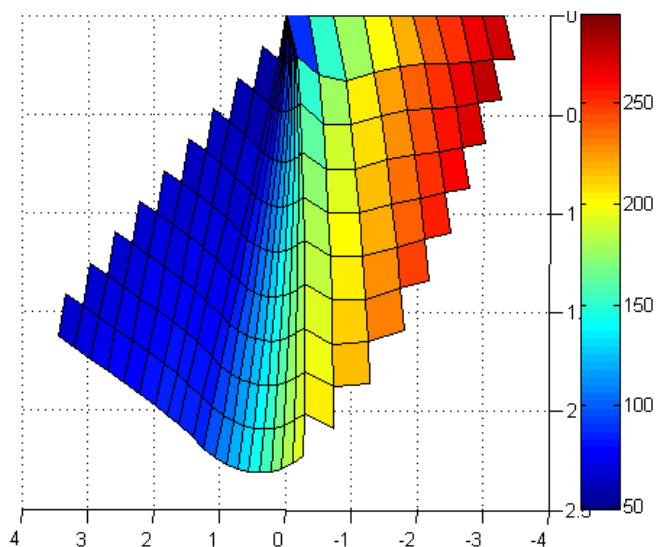


Рис. 7. Распределение предельных напряжений по линиям скольжения.

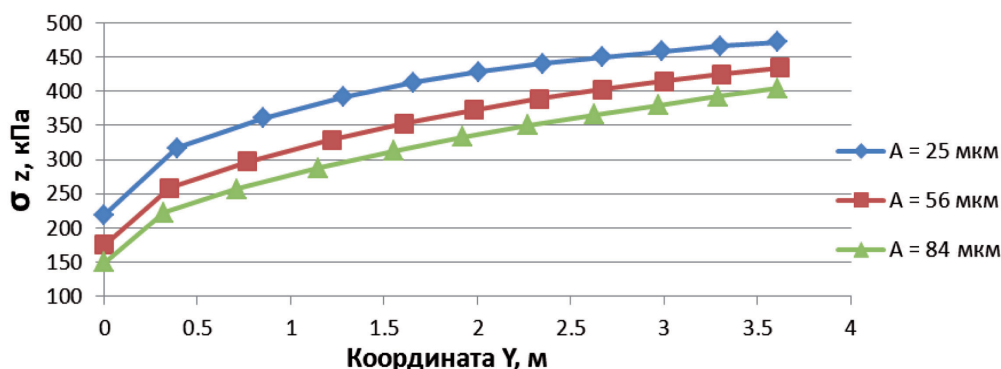


Рис. 8. Предельные значения напряжений на основной площадке земляного полотна.

элементы верхнего строения пути установлено, что при увеличении осевых нагрузок на колесо имеется тенденция к повышению вибраций. При этом чем выше скорость движения, тем выше уровни ускорений. При увеличении осевых нагрузок с 23,5 до 30 тс уровни виброколебаний<sup>1</sup> на ОПЗП изменялись в пределах от 40–48 до 57–84 мкм. Для насыпи с геометрическими параметрами, представленными на рис. 6, сложенной из глины с углом внутреннего трения  $\phi = 19^\circ$ , относительным сцеплением  $C = 0,054$  МПа рассчитаны распределения нормальных напряжений по линиям скольжения (рис. 7) и предельные значения на-

пряжений на ОПЗП для разных уровней виброперемещений (рис. 8).

Анализ расчётных данных показал, что для глин с рассматриваемыми физико-механическими показателями при текучести  $J < 0,25$  уровни напряжений, возникающие от грузовых вагонов с осевой нагрузкой 30 тс, имеют запас прочности по несущей способности насыпи.

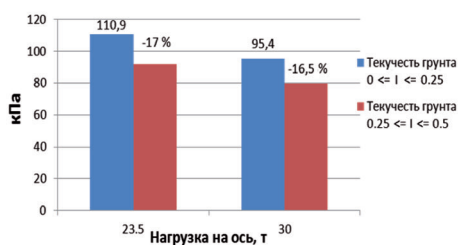
Выполнены расчёты предельных напряжений для условий сложения насыпи глинами и суглинками, а также увеличения влажности грунта с  $J < 0,25$  до  $0,25 < J < 0,5$ .

Установлено, что несущая способность земляного полотна существенно зависит от типа грунта и его физико-механических свойств.

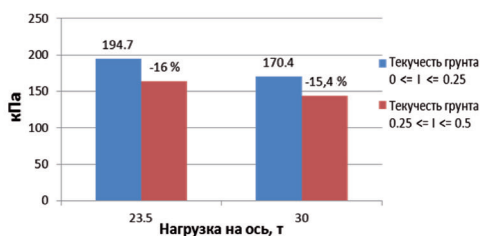
При движении вагонов с осевыми нагрузками 30 тс по насыпи, сложенной из глины, минимальное предельное напряже-

<sup>1</sup> Экспериментально определялись уровни ускорений на ОПЗП. Виброперемещения – путём пересчёта двойным интегрированием процессов зарегистрированных ускорений.



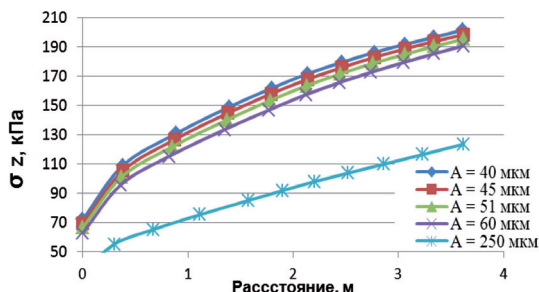


суглинок

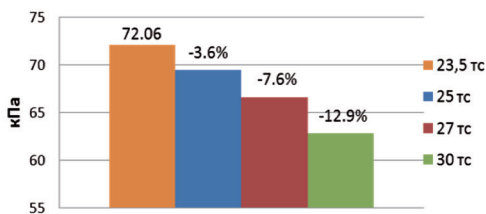


глина

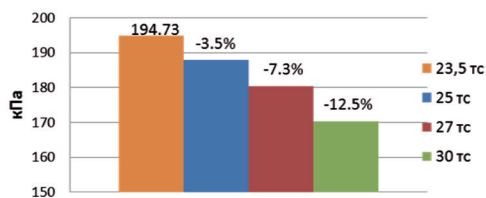
**Рис. 9.** Изменение минимальных предельных напряжений в зависимости от влажности грунта при различных осевых нагрузках.



**Рис. 10.** Изменение предельных напряжений в зависимости от уровня вибраций (грунт – суглинок  $\phi = 20^\circ$ ,  $C = 0,019$  МПа, показатель текучести грунта  $0 \leq J \leq 0,25$ ).



суглинок  $C = 0,019$ ,  $\phi = 20^\circ$



глина  $C = 0,054$ ,  $\phi = 19^\circ$

**Рис. 11.** Изменение минимальных предельных напряжений в зависимости от величин осевых нагрузок.

ние составляет 170,4 МПа, при переходе на суглинки величины предельных напряжений снижаются до 95,4 МПа. При изменении показателя текучести с  $J < 0,25$  до  $0,25 < J < 0,5$  несущая способность грунтов снижается в среднем на 15,4–16 % для глин и 16,5–17 % для суглинков (рис. 9).

Выполнены расчёты для случая высоких вибровоздействий на ОПЗП, что характерно для ударного взаимодействия колёс с рельсами в зонах болтовых стыков, при отслоениях металла от поверхности катания со сверхнормативными параметрами и т.д.

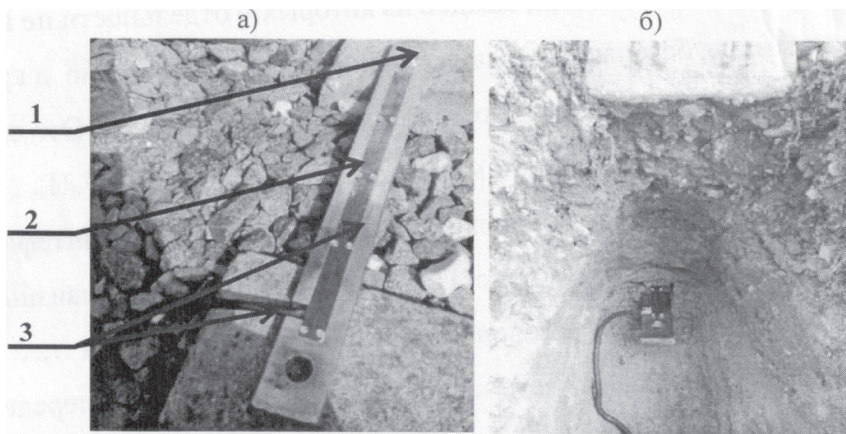
Установлено, что увеличение уровней виброколебаний на ОПЗП приводит к сни-

жению уровней предельных напряжений в 1,26–1,36 раза, т.е. на 26–36 % (рис. 10).

Снижение несущей способности земляного полотна от изменения осевой нагрузки с 23,5 до 30 тс за счёт повышения виброн нагруженности составляет 12,5–12,9 % (рис. 11).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для верификации результатов компьютерного моделирования проведены экспериментальные измерения напряжений на ОПЗП на полигоне АО «ВНИКТИ» (участок Голутвин–Озеры). Верхнее строение



**Рис. 12. Общий вид устройства для измерения давлений на основной площадке земляного полотна: а) пластина с закреплённой месдозой; б) устройство с месдозой, установленное в земляное полотно.**

включало: рельсы Р65, шпалы железобетонные, крепления КБ-65, балласт щебёночный толщиной 0,3 м, песчаная подушка толщиной 0,3 м, земляное полотно – суглинок.

Исследование напряжений на ОПЗП выполнено с использованием месдозы типа KDE-200КРА (Япония). Для возможности их оперативной установки под рельсошпальную решётку специалистами ВНИКТИ разработана новая конструкция устройства (рис. 12).

Экспериментальный замер напряжений представляет определённые трудности, связанные с помещением месдозы внутрь грунтового массива. Этот процесс вызывает нарушение монолитности массива и появление искажений в силовом поле, что потребовало и совершенствования самого способа измерения напряжений в земляном полотне. Модернизированное устройство состоит из месдозы, несущей пластины, а упругая мембрана поставлена положением вверх и соприкасается с грунтом при проведении измерений (рис. 12).

Внутри пластины находится кабельканал 3 для прокладки проводов от измерительных датчиков месдозы. Тарировка месдоз проводилась при ступенчатом

нагрузении рабочей мембраны равномерно распределённой нагрузкой в диапазоне давлений от 0 до 200 кПа и с шагом 20 кПа.

Конструкция месдозы позволяет без нарушения целостности грунта устанавливать устройство на площадку земляного полотна под подошвой шпалы с размещением деятельной зоны под рельсом на глубине до 1 м ниже слоя балласта.

Апробация устройства проводилась на названном уже перегоне Московской железной дороги. Месдоза с пластиной забивалась на глубину до 650 мм ниже подошвы шпалы под слой щебня и песчаной подушки. В поперечном направлении месдоза устанавливалась под рельсом.

Замеры выполнялись при проезде грузового локомотива 2ТЭ116 со скоростями 20–90 км/ч в течение двух дней. Результаты представлены в таблице 5.

Анализ результатов измерений показал:

- по мере увеличения пропущенного над измерительным сечением подвижного состава напряжения снижались в среднем на 6–7,5 %, что может быть объяснено деформированием локально-уплотнённых зон грунта при внедрении пластин с месдозой в зону ОПЗП;

**Таблица 5**

**Напряжения на основной площадке земляного полотна от проезда локомотива 2ТЭ116**

Скорость, км/ч	11.05.2017	12.05.2017	Уменьшилось на ...%
40	71,65	67,03	6,4
50	73,25	67,66	7,5
80	76,58	72,00	5,9
90	81,80	75,69	7,45



Экспериментальные напряжения на основной площадке земляного полотна  
от грузовых вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс

Замер №	Скорость, км/ч	Вагон 23,5 тс		Вагон 25 тс		Вагон 30 тс	
		Тележка № 1	Тележка № 2	Тележка № 1	Тележка № 2	Тележка № 1	Тележка № 2
1	40	59,218	53,673	49,223	52,509	66,132	67,433
3	60	54,357	55,115	47,306	56,690	63,736	71,335
5	80	52,167	59,428	54,768	63,805	62,778	76,128
7	90	58,196	59,810	69,418	65,653	67,022	79,961
9	90	55,8	62,577	71,267	63,531	65,653	79,071
11	90	55,594	64,426	70,308	63,189	61,682	77,565
13	80	57,237	61,208	36,010	68,118	61,477	78,592
15	80	50,866	53,193	48,264	62,998	61,956	75,443
17	5	46,005	47,511	47,511	47,648	57,917	59,697
19	60	54,015	54,357	57,027	39,228	60,587	63,325

• уровни напряжений имели значения, близкие к расчётным;

• с увеличением скорости движения имело место повышение уровней напряжений на ОПЗП.

Дальнейшим шагом являлось определение напряжений на ОПЗП от воздействия грузовых вагонов – серийного с тележкой 18–100 и вагонов-углевозов, загруженных до осевых нагрузок 23,5, 25 и 30 тс. Результаты измерений даны в таблице 6.

Представлены напряжения на ОПЗП при движении опытного поезда в направлении Голутвин–Озеры для случая, когда тележки № 2 были первыми по ходу движения. Сравнительный анализ расчётных (таблица 2) и экспериментальных (таблица 6) данных позволяет констатировать:

• расхождения между результатами расчёта и экспериментально замеренными напряжениями на ОПЗП не превышают 15 %;

• напряжения на ОПЗП от воздействия колёс подвижного состава имеют разброс до 10 %, что связано с колебаниями подрессоренных масс подвижного состава и разными величинами вертикальных нагрузок, действующих на путь при прохождении колёс над зоной установки месдозы.

## ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Выполненные на конечно-элементной модели теоретические исследования напряжённого состояния земляного полотна от воздействия грузовых вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс показали:

• уровни напряжений на ОПЗП монотонно повышаются с увеличением осевых

нагрузок и скоростей движения: по расчётным данным при максимально вероятных силах – на 16–24 %, по экспериментально зарегистрированным данным – на 20–21 %;

• на уровни напряжений на ОПЗП оказывают влияния толщины слоёв балласта и песчаной подушки, их соотношение и упругие характеристики – модули упругости балластного и подбалластного слоёв, при этом значения напряжений могут отличаться на 30–40 %;

• для наиболее распространённых грунтов – суглинков при уровнях вибровоздействий, создаваемых от грузовых вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс при толщине щебёночного балласта 0,5 м и песчаной подушке 0,2 м, уровни напряжений на ОПЗП составляют 77,6 кПа и не превышают нормативного значения 80 кПа при скоростях движения до 90 км/ч.

2. Расчётами несущей способности земляного полотна по теории предельного равновесия установлено:

• предельные напряжения зависят от физико-механических свойств грунтов насыпи, её геометрических параметров (высоты, значений углов откоса и др.), влажности, уровней вибродинамического воздействия;

• повышение уровней вибровоздействий с 60 до 250 мкм (характерных для ударного взаимодействия при наличии дефектов на поверхности катания колёс или рельсов) снижает несущую способность насыпи на 26–32 %; увеличение влажности грунта с  $J < 0,25$  до  $0,25 < J < 0,5$  – на 15–17 %;



• повышение осевой нагрузки с 23,5 до 30 тс снижает несущую способность грунтов за счёт увеличения уровней вибровоздействия в среднем на 12,5–12,9 %.

3. Сравнительный анализ расчётных напряжений на ОПЗП по средним значениям вертикальных сил показал достаточно хорошую сходимость расчётных и экспериментальных данных: расхождение не превышало 15 %.

4. Дополнительно для принятия решения о внедрении грузовых вагонов с осевыми нагрузками 27 и 30 тс требуется:

- установить влияние повышенных осевых нагрузок на устойчивость железнодорожных насыпей на слабых основаниях;
- определить интенсивности накопления остаточных деформаций деятельной зоны земляного полотна при повышенных осевых нагрузках с учётом нахождения грунтов в мягкопластичном состоянии в зонах недостаточной работы дренажных систем, особенно в период оттаивания грунтов и их переувлажнения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлева Т. Г., Карпушенко Н. И. и др. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1999. – 405 с.

2. Прокудин И. В. Деформации старых железнодорожных насыпей из глинистых грунтов при скоростном движении поездов // Вестник ВНИИЖТ. – 1979. – № 6. – С. 38–41.

3. Иванов А. Г. Исследование особенностей работы пути на участках обращения тяжеловесных поездов / Дис... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1984. – 200 с.

4. Шахунянц Г. М., Яковлева Т. Г. Интегральная оценка динамического состояния железнодорожных насыпей // Труды МИИТ. – Вып. 667: Вопросы пути и путевого хозяйства. – М., 1980. – С. 3–17.

5. Яковлева Т. Г. Прогнозирование деформируемости железнодорожных насыпей с учётом их динамического состояния // Земляное полотно и геотехника на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ДИИТ, 1983. – С. 11–18.

6. Блажко Л. С. Технико-технологическая оценка усиления конструкции пути на участках обращения подвижного состава с осевыми нагрузками до 300 кН / Дис... док. техн. наук. – СПб., 2003. – 331 с.

7. Берестяный Ю. Б. Прочность высоких железнодорожных насыпей из глинистых грунтов при воздействии поездов с повышенными осевыми и погонными нагрузками в условиях Дальневосточной

железнодорожной / Дис... канд. техн. наук. – Ленинград, 1990. – 232 с.

8. Морозова А. А. Несущая способность подпального основания железнодорожного пути на участках обращения поездов с осевыми нагрузками до 300 кН / Дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2014. – 184 с.

9. Наумов В. В. Обеспечение работоспособности железнодорожных насыпей на участках обращения поездов с повышенными осевыми нагрузками / Дис... канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 2013. – 164 с.

10. Вериго М. Ф. Метод расчёта деформаций земляного полотна при действии на него динамических нагрузок // Вестник ВНИИЖТ. – 1988. – № 5. – С. 41–45.

11. Прокудин И. В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку / Дис... док. техн. наук. – Л.: ЛИИЖТ, 1982. – 455 с.

12. Стоянович Г. М. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна при повышенной вибродинамической нагрузке в упруго-пластической стадии работы грунтов. – Хабаровск: ДВГУПС, 2002. – 360 с.

13. Коссов В. С. Результаты экспериментальных и теоретических исследований воздействия подвижного состава на путь в перспективных условиях эксплуатации // Бюллетень Объединённого ученого совета ОАО «РЖД». – 2013. – № 5. – С. 27–36.

14. Лапидус Л. С. Несущая способность основной площадки железнодорожного земляного полотна. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.

15. Краснов О. Г., Астанин Н. Н. Влияние ударных сил на прочностные характеристики железнодорожного земляного полотна // Вестник ВНИИЖТ. – 2017. – № 2. – С. 85–93.

16. Колос А. Ф., Николайтис Д. С., Морозова А. А. Оценка чувствительности путевого шпалы к действию вибродинамической нагрузки // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути (чтения, посвящённые 100-летию проф. Г. М. Шахунянца). – М.: МИИТ, 2013. – С. 164–166.

17. Комплексные сравнительные исследования воздействия на инфраструктуру вагонов с осевой нагрузкой до 30 тс на участках Голутвин–Озёры Московской ж.д.: Отчёт о НИР № И-06–17. – Коломна: ВНИКТИ, 2017. – 111 с.

18. Kaya M., Jernigan R., Runesson K., Sture S. Reproducibility and conventional triaxial tests on ballast material / Technical Report, Department of Civil Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado at Boulder, Boulder, Colorado, USA. – 1997. – Report No. 1. – 43 p.; Report No. 2. – 40 p.

19. Indraratna B. Shear behavior of railway ballast based on large-scale triaxial tests / Indraratna B., et al. // Journal of Geotechn. and Geoenvironmental Eng., ASCE. – May 1998. – Pp. 439–449.

20. Lackenby J. Effect of confining pressure on ballast degradation and deformation under cyclic triaxial loading / Lackenby J., Indraratna B., et al. // Geotechnique, 57. – 2007. – № 6. – Pp. 527–536. ●

Координаты авторов: **Коссов В. С.** – vnikti@ptl-kolomna.ru, **Краснов О. Г.** – +7(496) 618–82–48, **Протопопов А. Л.** – vnikti@ptl-kolomna.ru.

Статья поступила в редакцию 01.08.2017, принята к публикации 29.08.2017.

**Работа выполнена по проекту РФФИ 17–20–01088.**

● МИР ТРАНСПОРТА, том 15, № 4, С. 70–91 (2017)

Коссов В. С., Краснов О. Г., Протопопов А. Л. Напряжённое состояние земляного полотна при воздействии вагонов с осевыми нагрузками до 30 тс



## STUDY OF ROADBED STRESS STATE FROM THE IMPACT OF FREIGHT CARS WITH AXLE LOAD UP TO 30 TNF

**Kossov, Valery S.**, JSC Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia.

**Krasnov, Oleg G.**, JSC Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia.

**Protopopov, Andrey L.**, JSC Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia.

### ABSTRACT

The stress state of the active area of the roadbed caused by the impact of freight cars with axle loads 23,5; 25; 27 and 30 tnf is studied on the basis of a finite-element model. Using Coulomb's wedge theory as per actually registered vibration impact

levels, limit stress levels for the embankment of the roadbed of the section Golutvin–Ozery of Moscow railway have been determined. Experimental studies to determine stresses on the main site of the roadbed have been conducted and design and experiment data have been verified.

**Keywords:** stress state, roadbed, freight car, high axle loads, limit stresses; humidity, vibration impact.

**Background.** The development of heavy traffic on Russian railways with the implementation of freight cars with axle loads 25 tnf (and in the long term of 27 and 30 tnf) raises the topical issue about the evaluation of the bearing capacity of the roadbed of embankments composed of excessively moistened clay soils under a simultaneous vibration impact. The development of the operating domain of trains with high axle loads on the railway network leads at some sections to an increased number of defects and deformations of the roadbed [1–3].

Specialists of JSC VNIKTI have conducted theoretical and experiment studies of the stress state of the main site of the roadbed (MSRB) caused by the impact of freight cars with axle loads 23,5; 25; 27; 30 tnf. At the same time the influence of axle load values, running speed, elastic behavior of crushed-stone ballast, sand bed and also their thickness ratio on the roadbed stress levels have been studied.

The influence of vibration impact levels (soil vibration amplitudes on the MSRB obtained experimentally while conducting line tests), of soils humidity (flow index  $J_v$ ) on limit stresses of the roadbed embankments has been studied. Theoretical studies have been conducted on the embankment model which geometrical parameters have been

obtained using direct measurements on the testing track section where measurement equipment to register force factors and stresses on the subgrade was installed.

**Objective.** The objective of the authors is to study roadbed stress state due to the impact of freight cars with axle load up to 30 tnf.

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

### Results.

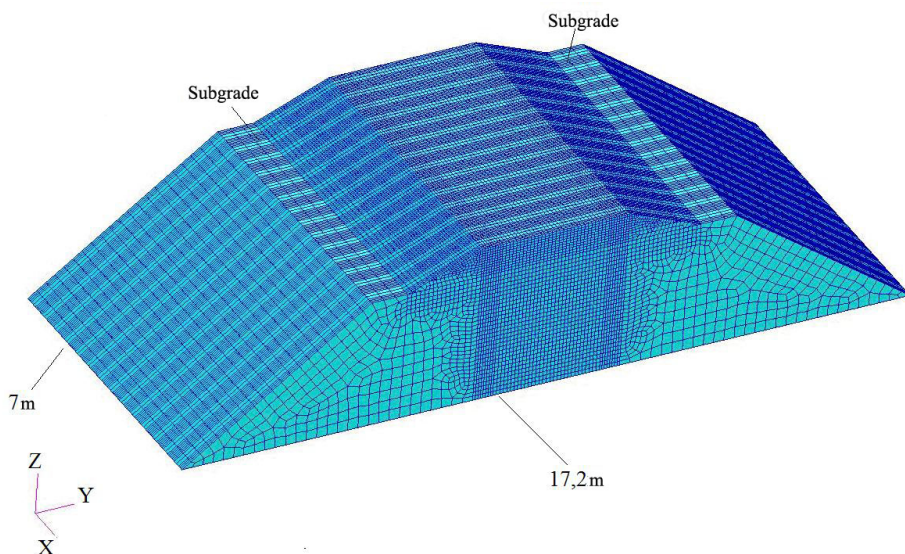
**A finite-element model of the roadbed and its stress state estimate**

Modeling and calculation were performed based on the finite-element method using such software packages as PATRAN, NASTRAN, MARC.

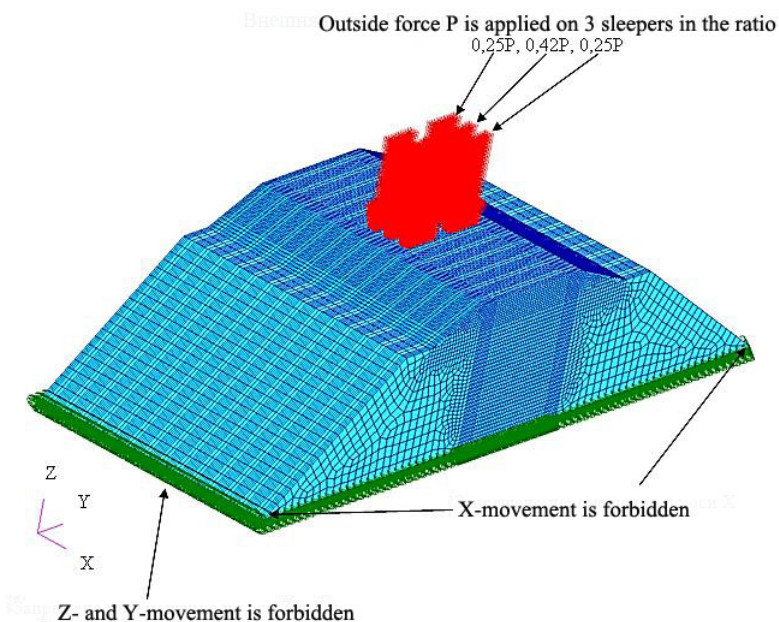
Pic. 1 shows a finite-element model of a track section (roadbed, ballast). Depending on the ballast height the number of Hex8-elements in the model changed from 336 896 to 355 488, the number of nodes – from 355 272 to 381 691.

The influence of the following factors on the embankment stress state has been studied during calculations:

- magnitudes of vertical forces transferred from wheels to rails;



**Pic. 1. A finite-element model of the roadbed with a ballast section.**



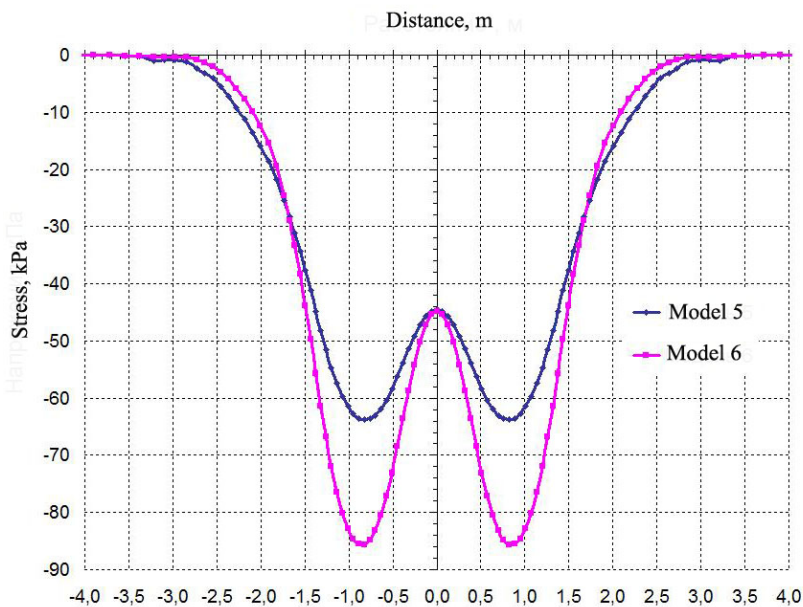
**Pic. 2. The scheme of loading and fixing a finite-element model.**

- train running speeds;
- thickness ratio of ballast layer components – crushed stone, subballast layer;
- elastic behavior ratio of ballast layer and roadbed components.

Loads obtained during dynamic tests of the train prototype with freight cars with axle loads 23,5; 25; 27 and 30 tnf [17] were taken as benchmark reference data for simulation. Pic. 2 shows boundary conditions and schemes of loads application. The axle load was assumed to be distributed on three sleepers in the ratio of 0,25, 0,42 and 0,25. The rest of the load (0,08)

distributed on adjacent sleepers is neglected due to its small value.

The roadbed strength on the subgrade has been evaluated by comparing design compression stress with limit stress values. Limit stresses on the subgrade are assumed to be 80 kPa. In fact their value depends on physical and mechanical parameters of roadbed soils, their moistening intensity and vibration impact levels. In works [18–20] Young moduli at triaxial compression depending on the number of reduction cycles and pressure values were studied. It is shown that the value of Young's modulus of ballast materials



**Pic. 3. The stress distribution with various Young modulus characteristics of ballast and subballast layers (axle load 30 tnf, speed 90 km/h).**



**Table 1**
**Design models to evaluate the influence of ballast layers' size and parameters**

Model No.	Undersleeper foundation structure	Thickness of ballast and subballast layers, m	Design parameters of ballast and subballast layers	
			Deformation modulus E, MPa	Poisson ratio, $\mu$
1	ballast	0,3	254	0,27
	sand bed	0,3	110	0,3
2	ballast	0,3	150	0,27
	sand bed	0,3	80	0,3
3	ballast	0,4	254	0,27
	sand bed	–	–	–
4	ballast	0,4	110	0,27
	sand bed	–	–	–
5	ballast	0,4	254	0,27
	sand bed	0,2	110	0,3
6	ballast	0,4	150	0,27
	sand bed	0,2	80	0,3
7	ballast	0,4	254	0,27
	sand bed	0,3	110	0,3
8	ballast	0,4	150	0,27
	sand bed	0,3	80	0,3
9	ballast	0,5	254	0,27
	sand bed	–	–	–
10	ballast	0,5	150	0,27
	sand bed	–	–	–
11	ballast	0,5	254	0,27
	sand bed	0,2	110	0,3
12	ballast	0,5	150	0,27
	sand bed	0,2	80	0,3
13	ballast	0,5	254	0,27
	sand bed	0,3	110	0,3
14	ballast	0,5	150	0,27
	sand bed	0,3	80	0,3

Note. Data on crushed-stone ballast Young modulus have been assumed as per results of testing crushed stone samples taken at the section Golutvin–Ozery of Moscow railway.

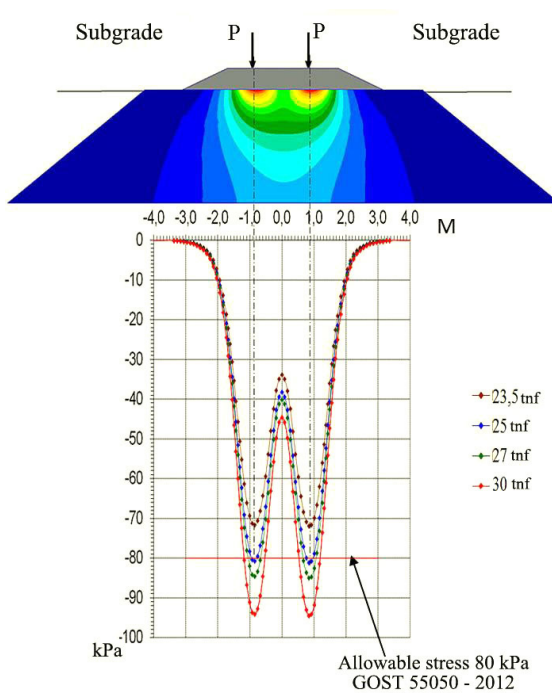
**Table 2**
**Design stresses on the main site of the roadbed from maximum possible and average values of vertical forces**

No.	Running speed, km/h	Axle load 23,5 tnf	Axle load 25 tnf	Axle load 27 tnf	Axle load 30 tnf
1	40	59,8/51,1	64,5/52,1	67,2/55,7	71,9/59,6
2	60	61,1/53,1	67,7/56,7	69,0/60,7	72,5/64,9
3	80	63,2/54,6	70,1/58,4	72,5/62,4	78,6/66,7
4	90	65,7/56,2	74,1/60,1	77,6/64,3	86,3/68,8

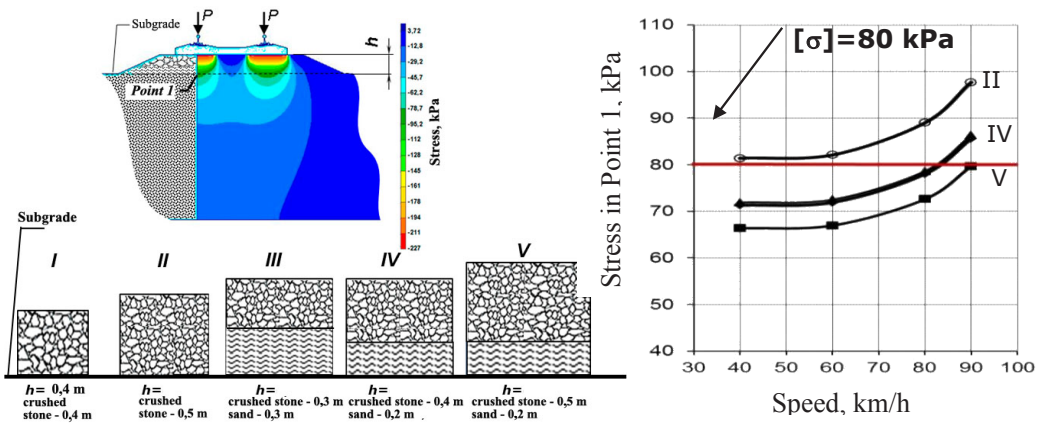
Note. Numerator – maximum possible values; denominator – average values of vertical forces.

**Table 3**
**Maximum stresses on the main site of the roadbed at the axle load 30 tnf depending on the speed and ballast layer structure**

Model	Ballast structure	Stresses from the axle load 30 tnf (kPa) at the speed (km/h)			
		40	60	80	90
4	Crushed stone 0,4 m	101,3	102,2	110,8	121,6
10	Crushed stone 0,5 m	81,4	82,1	89	97,7
6	Crushed stone 0,4 m Sand 0,2 m	71,3	71,9	78	85,6
12	Crushed stone 0,5 m Sand 0,2 m	61,4	62	67,2	73,7



**Pic. 4. Stress variations on the main site of the roadbed depending on axle loads at the running speed 90 km/h.**



**Pic. 5. The change of stresses on the main site of the roadbed depending on ballast and subballast layers' structure and running speed.**

mainly depends on the extent of ballast consolidation, a surface pressure at triaxial compression and the material of crushed stone particles (granite, basalt). Similar studies have been performed by specialists of the Centre of testing of materials and structures – the branch of October railway, regarding ballast materials, sand and soil taken from the undersleeper foundation of the haul testing section Golutvin–Ozery.

14 design models have been considered to evaluate the influence of ballast layer and sand bed structure and elastic behavior on the MSRB stress state (Table 1).

To evaluate strength conditions maximum possible values of vertical forces calculated have been assumed in calculations as per the following expression:

$$\bar{P}_v^{\max} = \bar{m}_{p_v}^N + 2,5\bar{\sigma}_{p_v}^N,$$

where  $\bar{m}_{p_v}^N$  is a mathematical expectation of vertical forces assembly from the impact of freight car wheels with axle loads 23,5; 25; 27 and 30 tnf, respectively.

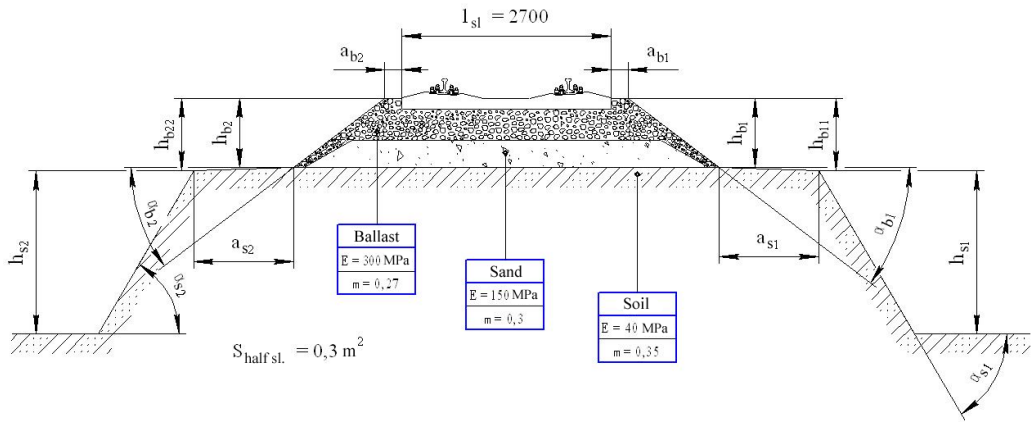
$\bar{\sigma}_{p_v}^N$  is a mean-square deviation of vertical forces assembly caused by those freight cars.

Under real operation conditions the probability of appearing maximum possible values is small. Thus to verify a finite-element model with an experimentally obtained stress magnitudes on the MSRB average maximum values of vertical forces which have been assumed as determined from the following expression:

$$P_v^s = \bar{m}_{p_v}^N + \bar{\sigma}_{p_v}^N.$$

To evaluate the influence of ballast layer and sand bed elastic behavior results of stress calculations on the MSRB are provided for two variants of model 5





**Pic. 6. Schematic illustration and geometrical dimensions of the embankment in the instrumentation site.**

**Table 4**

**Geometrical parameters of the railway embankment cross section in the experimental site**

Cross sections	Left side							Right side						
	$a_{b2}, m$	$h_{b2}, m$	$h_{b22}, m$	$\alpha_{b2}, ^\circ$	$h_{i2}, m$	$a_{s2}, m$	$\alpha_{s2}, ^\circ$	$a_{b1}, m$	$h_{b1}, m$	$h_{b11}, m$	$\alpha_{b1}, ^\circ$	$h_{i1}, m$	$a_{s1}, m$	$\alpha_{s1}, ^\circ$
5 m before	0,36	0,55	0,72	20,5	2,23	1,05	35	0,35	0,61	0,78	21,5	2,04	1,23	35,5
0 – in the section of the sensors	0,34	0,61	0,77	22	2,42	1,00	34	0,36	0,56	0,75	23	2,23	1,17	26
5 m after	0,37	0,63	0,76	23	2,28	1,12	36	0,35	0,56	0,75	22,5	2,32	1,21	35,5
Average	0,36	0,60	0,75	21,8	2,31	1,06	35	0,35	0,58	0,76	22,3	2,20	1,20	35,7

and 6. Pic. 3 shows the distribution of design stresses on the track formation cross section from maximum possible values of vertical forces of freight cars with axle load 30 tnf at the running speed 90 km/h.

The diagrams of the stress distribution on the MSRB show that elastic characteristics – Young modulus for ballast layer and sand bed have a significant effect on subgrade stresses. So for a similar subballast structure standardized for tracks Class I, II and III (0,4 m of crashed stone and 0,2 m of sand), stress values may differ by 30–40%. For a design case (variants 5 and 6) the difference was of 34%.

Pic. 4 shows the stress distribution in the undersleeper area for variant 2. Vertical forces values have been assumed to be maximum possible values obtained experimentally during running dynamic tests of open cars with axle loads 23,5; 25; 27 and 30 tnf.

Stress design values on the MSRB (for variant 2) depending on maximum possible and average maximum values of vertical forces are provided in Table 2.

Stress values in the MSRB for open cars with the axle load 30 tnf were calculated with the help of a computational model depending on the running speed, ballast and subballast layers' thickness. Results of calculations are provided in Table 3 and in Pic. 5.

Analysis of stressed state of the embankment due to the impact of freight cars with axle loading up to 30 tnf showed:

- there is a tendency of stress increase on the MSRB due to both growth of axle loading and raise of speed;
- MSRB stressed state is influenced by the elastic behaviour of the ballast layer and of the sand cushion, the thickness of each component and the total thickness of the ballast layer and the sand cushion;

- if thickness of the ballast layer is 0,3 m and of the sand cushion is 0,3 m (Pic. 5), and vertical forces have maximum possible values, at speed up to 90 km/h, the impact of freight cars with axle loads of 27 and 30 tnf causes MSRB stresses exceeding permissible values [ $\sigma_S$ ] = 80 kPa, MSRB stresses from freight wagons with axle loads of 25 tnf are within the limit of 77,6 MPa;

- efficient distribution of the forces caused by freight cars with axle loading up to 30 tnf and increasing the thickness of the ballast layer make possible to obtain stress levels in the MSRB not exceeding standard values;

- using ballast layer structure recommended for Class I, II and III tracks at the thickness of the ballast layer 0,4 m and the sand cushion 0,2 m, the stresses in the MSRB from 30 tnf cars exceed standard values at speeds exceeding 80 km/h;

- changing (Table 4) the ratio of thicknesses of the ballast layer and the sand cushion changes accordingly stress state of the roadbed;

- when the ballast layer thickness is increased up to 0,5 m and the ballast bed thickness is 0,2 m, the stresses in the MSRB did not exceed standard values of 80 kPa from freight wagons with axle loading up to 30 tnf and speeds of up to 90 km/h.

**Limit stresses in the active zone of the roadbed**

Coulomb's wedge theory was used to determine bearing capacity of the railway roadbed. Applicability of this theory to engineering calculations and good convergence of theoretical and operational load values are confirmed by works [8, 11, 12, 16].

The limit stress state of the undersleeper foundation is the state at which the minimum increment of the static or dynamic load results in

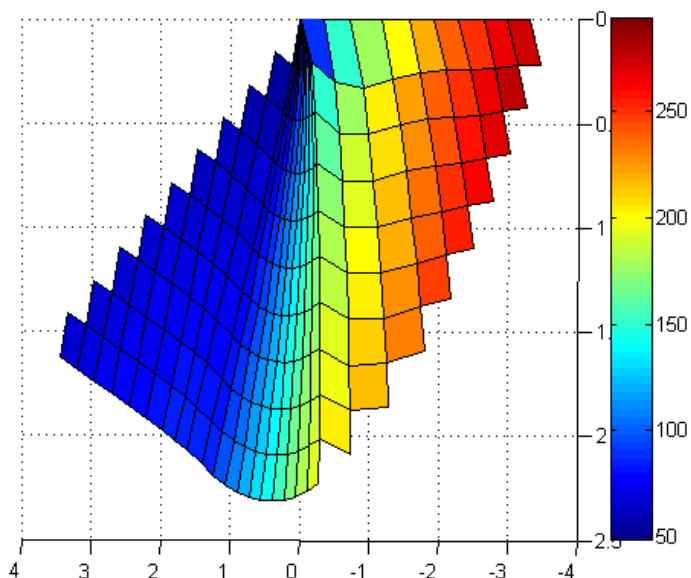


Fig. 7. Distribution of limit stresses along sliding lines.

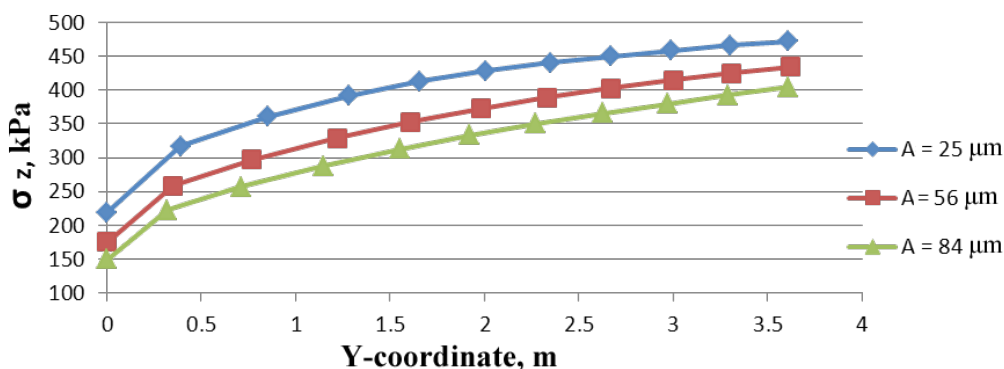


Fig. 8. Limit values of stresses in the main site of the roadbed.

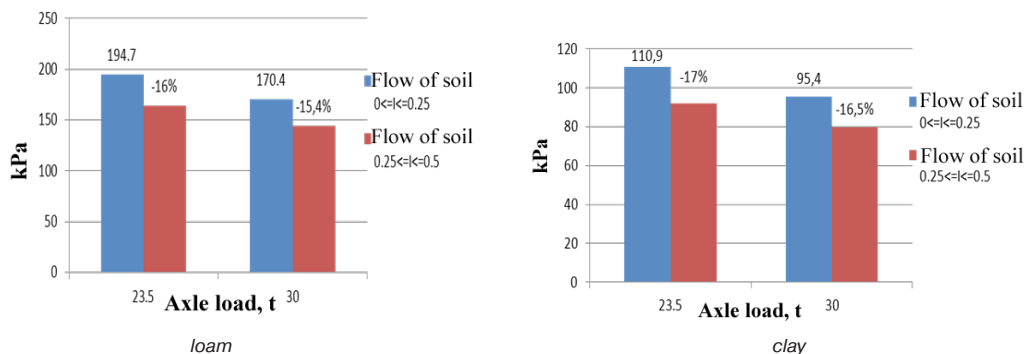
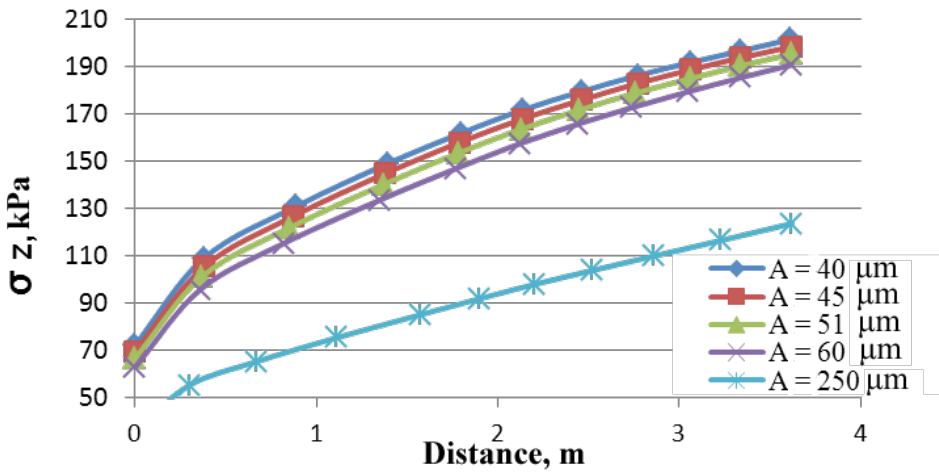


Fig. 9. Change of minimum limit stresses depending on soil moisture at different axle loads.

formation of closed sliding surfaces in the ballast and roadbed, where the shearing forces exceed the retention forces. Sliding surfaces are a group of separate area elements formed when the shearing forces exceed the retention forces. The tangent planes to the sliding surfaces coincide with the area

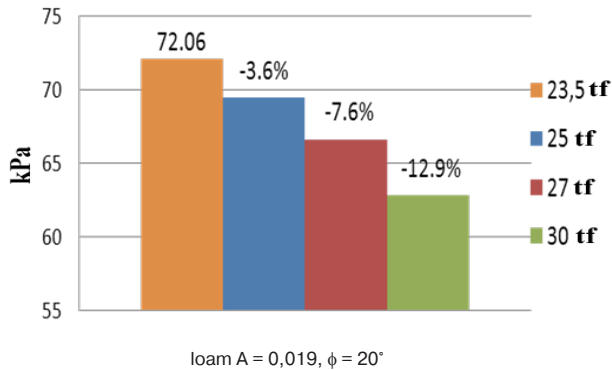
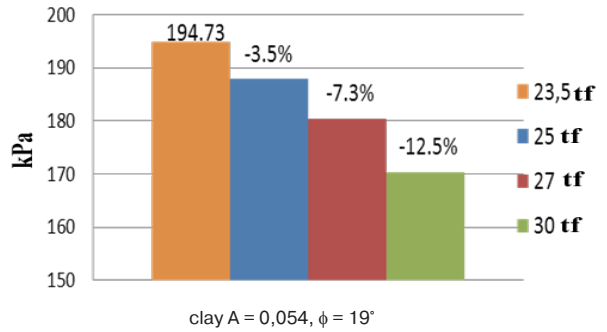
elements of the sliding surfaces. Some area elements of the sliding surfaces can be formed in the soil environment and under loads not exceeding the limit ones, but they do not cause deformation of the soil body. Only under loads not lower than the limit ones, groups of area elements are formed. They represent





**Pic. 10. Change of limit stresses depending on level of vibrations (loamy soil  $\phi = 20^\circ$ ,  $A = 0,019$  MPa, flow index of soil  $0 \leq J \leq 0,25$ ).**

**Pic. 11. Change of minimum limit stresses depending on values of axle loads.**



surfaces, over which shear deformation of the soil mass occurs.

Using the algorithms [11], the finite difference method is used to integrate the equations of characteristics and differential relations according to the program specially developed by JSC VNIKTI specialists.

Calculations were carried out for the embankment composed of clay soils.

Pic. 6 and Table 4 show the geometrical parameters of the railway embankment cross section, the volumetric characteristics of soils and relevant coefficients for decrease in the strength characteristics of soils.

Calculations of bearing capacity of the roadbed are carried out for:

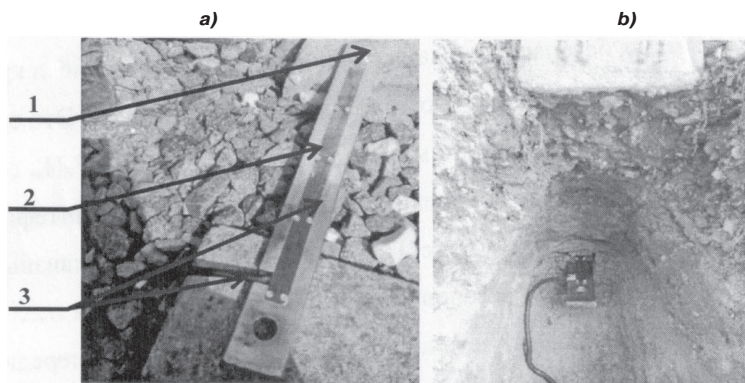
- 3,1 m height embankment with geometrical parameters which are determined by direct geometrical measurement along the section of installation of measuring instruments;

- roadbed composed of clay soils;
- for levels of MSRБ vibrations observed due to the impact of freight cars with different axle loading while wheels rolling on rails without irregularities on the rolling surface;

- for the case of change in soil moisture with flow index changing from  $J < 0,25$  to  $0,25 < J < 0,5$ .

As a result of experimental studies of vibration effects on the track superstructure elements, it has been established that with increasing axle loads on the wheel, the vibrations also have the tendency to increase. At the same time, the higher the running





**Pic. 12. Overview of the device for measurements of pressure values in the main site of the roadbed: a) a plate with a fixed load cell; b) device with load cells installed in the subgrade.**

**Table 5**

**Stress measured in the main site of the roadbed during the run of the locomotive 2TE116**

Speed, km/h	11.05.2017	12.05.2017	Decrease, %
40	71,65	67,03	6,4
50	73,25	67,66	7,5
80	76,58	72,00	5,9
90	81,80	75,69	7,45

speed is, the higher are the acceleration levels. With the increase in axle loads from 23,5 to 30 tnf, the vibration levels in the subgrade varied from 40–48  $\mu\text{m}$  to 57–84  $\mu\text{m}$ . Distributions of normal stresses along the sliding lines (Pic. 7) and limit values of MSRB stresses for different levels of vibratory displacements (Pic. 8) are calculated for the embankment with the geometrical parameters shown in Pic. 6 and filled from clay with the angle of internal friction  $\phi = 19^\circ$  and relative adhesion  $A = 0,054 \text{ MPa}$ .

Analysis of the design data showed that for clays with the considered physical and mechanical parameters at flow index  $J < 0,25$ , the stress levels, arising from freight wagons with axle loading of 30 tnf, have factor of safety for the bearing capacity of the embankment.

Calculations have been carried out for the limit stresses in the conditions of embankment made from clays and loams, as well as for the condition of soil moisture increase from  $J < 0,25$  to  $0,25 < J < 0,5$ .

It is found that the subgrade bearing capacity depends essentially on the type of soil and its physical and mechanical properties.

When cars with axle loads of 30 tnf move along the embankment composed of clay, the minimum limit stress is 170,4 MPa, while at passing to loams the values of limit stresses decrease to 95,4 MPa. With the increase in the flow index from  $J < 0,25$  to  $0,25 < J < 0,5$ , the bearing capacity subgrade soils decreases on the average by 15,4–16% for clays, and by 16,5–17% for loams (Pic. 9).

Calculations have been carried out for the case of high vibration effects on the MSRB, what is typical for impact interaction between wheels and rails in the areas of bolted joints, for metal flaking from the tread surfaces with excessive parameters, etc.

It is found that increase of vibration levels on the MSRB leads to 1,26–1,36 times decrease of the limit stresses levels, that is by 26–36% (Pic. 10).

Decrease of subgrade bearing capacity following change of axle load from 23,5 to 30 tnf due to increase of vibrational loading is 12,5–12,9% (Pic. 11).

**Experimental studies**

To verify the results of computer simulation, experimental measurements of subgrade stresses were carried out at JSC VNIKTI testing site (Golutvin–Ozery section of Moscow Railway). The track superstructure included: R65 rails, reinforced-concrete sleepers, KB-65 fastenings, 0,3 m thick sand cushion, loam soil roadbed.

Analysis of stresses in the MSRB was performed using KDE-200KPA load cells (Japan). To provide the possibility of fast installation of the load cells under the track panel on the subgrade, the specialists of JSC VNIKTI developed a new design device. The overview of the device is shown in Pic. 12.

There are some certain difficulties with experimental roadbed stress determination caused by placing the earth pressure cell into the roadbed. This process causes the disturbance of the ground base solidity and the distortions in the field of forces created by the acting loads.

It determined the demand to develop advanced way of measuring stresses in a railway track roadbed. The device for measuring subgrade stresses consists of an earth pressure cell and a bearing plate (Pic. 12). The elastic membrane is placed in an upward position and contacts the ground while conducting measurements.

Inside the plate there is cable trunking 3 for wiring from measuring devices to the earth pressure cell. Calibration test of the earth pressure cell was conducted by incremental loading of the working membrane within regular intervals by a distributed load ranged from 0 to 200 kPa with an increment of 20 kPa.

The design of the earth pressure cell allows its installation without disturbing the solidity of the ground base on the roadbed under the sleeper base disposing an active zone under the rail on the depth 1 m below the ballast layer.

Approbation of the given device was conducted on a test running line Golutvin–Ozery. The earth pressure cell with a plate was placed below a sleeper





**Table 6**

**Experimental stress in the main site of the roadbed due to freight cars with axial loads up to 30 tnf**

Measurement No.	Speed, km/h	Car, 23,5 tnf		Car, 25 tnf		Car, 30 tnf	
		Bogie No. 1	Bogie No. 2	Bogie No. 1	Bogie No. 2	Bogie No. 1	Bogie No. 2
1	40	59,218	53,673	49,223	52,509	66,132	67,433
3	60	54,357	55,115	47,306	56,690	63,736	71,335
5	80	52,167	59,428	54,768	63,805	62,778	76,128
7	90	58,196	59,810	69,418	65,653	67,022	79,961
9	90	55,8	62,577	71,267	63,531	65,653	79,071
11	90	55,594	64,426	70,308	63,189	61,682	77,565
13	80	57,237	61,208	36,010	68,118	61,477	78,592
15	80	50,866	53,193	48,264	62,998	61,956	75,443
17	5	46,005	47,511	47,511	47,648	57,917	59,697
19	60	54,015	54,357	57,027	39,228	60,587	63,325

base under ballast aggregates and the sub-ballast at a depth of 650 mm. In the lateral direction the earth pressure cell was installed under a rail.

Measurements were carried out with a freight locomotive TE116 operating at speeds from 20 to 90 km/h. Measurements were carried out within two days. Results are presented in Table 5.

The analysis of measurements results showed:

- While the rolling stock passing over the measuring cross-section was increasing there was an average stress decrease of about 6–7,5% that can be explained by the deformation locally compacted ground areas formed during the location of plates with fixed earth pressure cell into the subgrade;

- Stress levels were close to the estimated values;
- With an increase in traffic speeds there was an increase in stress levels in the MSRB.

The next step was determination of the MSRB stress under the impact of freight cars (of a serial one with a bogie 18–100 and of a coal hopper with axial loads 23,5, 25 and 30 tnf). Results of measurements are presented in Table 6.

The presented results of the measured MSRB stress were obtained during the test train run in the direction Golutvin–Ozery for the case when bogies No. 2 were the first in the direction of travel. The comparative analysis of estimated values (Table 2) and experimental data showed:

- The discrepancy between estimated values and experimental data of the MSRB stress measured do not exceed 15%;

- Subgrade stresses under the impact of rolling stock wheels have 10 %-spread in values; it can be explained by the vibration of sprung parts of a rolling stock and different values of the vertical loads acting on a track area where earth pressure cell was installed.

**Conclusions and suggestions**

1. The accomplished theoretical research based on a finite-element model of the stress state of a roadbed of a railway embankment under the impact of freight cars with axial loads up to 30 tnf showed:

- Levels of MSRB stresses are monotonically increasing with the increase in axial loads and speeds: in accordance with the design data with maximum possible forces – by 16–24%, in accordance with the experimentally measured data – by 20–21%;

- Levels of MSRB stresses are influenced by the thickness of ballast and sub-ballast layers, their proportions and elastic characteristics – ballast and

sub-ballast layer elasticity modulus. The values of stress can differ by 30–40 %;

- For the most widespread type of soil, which is loam soil, vibration effect levels, created by freight cars with axial loads of 30 tnf and the thickness of ballast layer of 0,5 m and sub-ballast layer of 0,2 m, MSRB stress levels are 77,6 kPa and do not exceed rated values 80 kPa at speeds up to 90 km/h.

2. The executed numerical calculations of the roadbed bearing capacity according to the Coulomb’s wedge theory showed:

- Limit stress values depend on mechanical-and-physical properties of soils comprising an embankment, its geometrical parameters (height, slope angle values, etc.), moisture, vibration effect levels;

- The increase in vibration effect levels from 60 to 250 um (characteristic of impact interaction with defects on wheel threads or running surfaces of rails) reduces the bearing capacity of embankment by 26–32 %;

- The increase in soil moisture from  $J < 0,25$  to  $0,25 < J < 0,5$  reduces the embankment bearing capacity by 15–17 %;

- The increase in axial loads from 23,5 to 30 tnf reduces soil bearing capacity due to the average increase in vibration effect levels by 12,5–12,9 %.

3. The comparative analysis of MSRB design stresses based on vertical forces mean values has shown good convergence of estimated and experimental data. The divergence did not exceed 15 %.

4. Making of a decision whether to introduce freight cars with axial loads 27 and 30 tnf or not requires solving of additional problems:

- To determine effects of increased axial loads on stability of railway embankments on weak subgrade;

- To define the development rate of cumulated residual deformation within the active areas of the roadbed under the effect of increased axial loads taking into account high-plasticity of soils in section with poor drain systems, in frost-melting period and water saturation.

**REFERENCES**

1. Yakovleva, T. G., Karpushchenko, N. I., Klinov, S. I., Putrya, N. N., Smirnov, M. P. Railway track [Zheleznodorozhnyj put’]. Ed. by T. G. Yakovleva. Moscow, Transport publ., 1999, 405 p.  
 2. Prokudin, I. V. Deformation of old clayey ground railway embankments because of high-speed running

[Deformacii staryh zheleznodorozhnyh nasypej iz glinistykh gruntov pri skorostnom dvizhenii poezdov]. Vestnik VNIIZhT, 1979, Iss. 6, pp. 38–41.

3. Ivanov, A. G. Research analysis of operational aspects of track sections of heavy-haul lines. Ph.D. (Eng) thesis [Issledovanie osobennostej raboty puti na uchastkah obrashhenija tjazhelo-vesnykh poezdov: dis... kand. tehn. nauk]. Dnepropetrovsk, 1984, pp. 5–30.

4. Shakhunyan, G. M., Yakovleva, T. G. Integral estimation of railway embankment dynamic condition [Integral'naja ocenka dinamicheskogo sostojanija zheleznodorozhnyh nasypej]. Trudy MIIT, No. 667: Voprosy puti putevogo hozhajstva. Moscow, MIIT publ., 1980, pp. 3–17.

5. Yakovleva, T. G. Prediction of railway embankments deformability taking into account their dynamic condition [Prognozirovanie deformiruемости zheleznodorozhnyh nasypej s uchetom ih dinamicheskogo sostojanija]. Roadbed and railway geotechnical engineering: Interacademic collection of research papers. Dnepropetrovsk, DIIT publ., 1983, pp. 11–18.

6. Blazhko, L. S. Design and engineering estimation of railway structure enforcement on railway lines with axial loads up to 300 kN. D.Sc. (Eng) thesis [Tehniko-tehnologicheskaja ocenka usilenija konstrukcii puti na uchastkah obrashhenija podvizhnogo sostava s osevnymi nagruzkami do 300 kN: dis... d-ra tehn. nauk]. St. Petersburg, 2003, 331 p.

7. Berestyany, Yu. B. Strength of high loamy soil railway embankments under impact of rolling stock with increased axial loads and loads per unit length under conditions of Far East Railway. Ph.D. (Eng) thesis [Prochnost' vysokih zheleznodorozhnyh nasypej iz glinistykh grun-tov pri vozdejstvii poezdov s povyshennymi osevnymi i pogonnymi nagruzkami v uslovijah Dal'nevostochnoj zh.d.: dis... kand. tehn. nauk]. Leningrad, 1990, 232 p.

8. Morozova, A. A. Ballast subgrade load bearing capacity on railway lines with axial loads up to 300 kN. Ph.D. (Eng) thesis 05.22.06. [Nesushhaja sposobnost' podshpal'nogo osnovanija zheleznodorozhnogo puti na uchastkah obrashhenija poezdov s osevnymi nagruzkami do 300 kN: dis... kand. tehn. nauk 05.22.06]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2014, 184 p.

9. Naumov, V. V. Providing railway embankment operational capability on railway track sections with increased axial loads. Ph.D. (Eng) thesis 05.22.06 [Obespechenie rabotosposobnosti zheleznodorozhnyh nasypej na uchastkah obrashhenija poezdov s povyshennymi osevnymi nagruzkami: dis... kand. tehn. nauk 05.22.06]. Moscow, MGUPS publ., 2013, 164 p.

10. Verigo, M. F. Calculation method of roadbed deformations under impact of dynamic loads [Metod rascheta deformacij zemljanogo polotna pri dejstvii na nego dinamicheskikh nagruzk]. Vestnik VNIIZhT, 1988, Iss. 5, pp. 41–45.

11. Prokudin, I. V. Strength and stress-strain behavior of clayey ground railway roadbeds under impact of vibrodynamic loads. D.Sc. (Eng) thesis 05.22.06

[Prochnost' i deformativnost' zheleznodorozhnogo zemljanogo polotna iz glinistykh gruntov, vosprinjimajushhikh vibrodinamicheskiju nagruzk: dis... d-ra tehn. nauk 05.22.06]. Leningrad, LIIZhT publ., 1982, 455 p.

12. Stojanovich, G. M. Strength and stress-strain behavior of railway roadbed under increased vibrodynamic loads in elastic plastic operational stage of soils [Prochnost' i deformativnost' zheleznodorozhnogo zemljanogo polotna pri povyshennoj vibrodinamicheskoi nagruzke v uprugoplasticheskoj stadii raboty gruntov]. Khabarovsk, DVGUPS publ., 2002, 360 p.

13. Kossov, V. S. Results of experimental and theoretical research on impact of rolling stock on the track in prospective service conditions [Rezultaty eksperimental'nyh i teoreticheskikh issledovanij vozdejstvija podvizhnogo sostava na put' v perspektivnykh uslovijah ekspluatacii]. B'ulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO «RZhD», 2013, Iss. 5, pp. 27–36.

14. Lapidus, L. S. Railway subgrade bearing capacity [Nesushhaja sposobnost' osnovnoj ploshadki zheleznodorozhnogo zemljanogo polotna]. Moscow, Transport publ., 1978, 125 p.

15. Krasnov O. G., Astanin N. N. Influence of impact forces on the strength characteristics of the railway roadbed [Vlijanie udarnykh sil na prochnostnye karakteristiki zheleznodorozhnogo zemljanogo polotna]. Vestnik VNIIZhT, 2017, Iss. 2, pp. 85–93.

16. Kolos, A. F., Nikolaytist, D. S., Morozova, A. A. Estimation of ballast aggregates sensitivity to vibrodynamic loads [Ocenka chuvstvitel'nosti putevogo shhebnya k dejstvuju vibrodinamicheskoi nagruzki]. Proceedings of 10<sup>th</sup> scientific and technical international conference «Modern issues of railway track engineering, construction and operation» (Proceedings devoted to the 100 anniversary of prof. Shakhunyan G. M.). Moscow, MIIT publ., 2013, pp. 164–166.

17. Complex comparative studies of effect on infrastructure of cars with axial loads up to 30 tnf in sections Golutvin–Ozery of Moscow Railway: Research report No. I-06–17 [Kompleksnye sravnitel'nye issledovanija vozdejstvija na infrastrukturu vagonov s osevoj nagruzkoi do 30 ts na uchastkah Golutvin–Ozery Moskovskoj zh.d.: otchet o NIR № I-06–17]. Kolomna, JSC VNIKTI, 2017, 111 p.

18. Kaya, M., Jernigan, R., Runesson, K., Sture, S. Reproducibility and conventional triaxial tests on ballast material. Technical Report, Department of Civil Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado at Boulder, Boulder, Colorado, USA, 1997, Report No. 1, 43 p.; Report No. 2, 40 p.

19. Indraratna B., et al. Shear behaviour of railway ballast based on large-scale triaxial tests. Journal of Geotechn. and Geoenvironmental Engn, ASCE. May 1998, pp. 439–449.

20. Lackenby J., Indraratna B., et al. Effect of confining pressure on ballast degradation and deformation under cyclic triaxial loading. Geotechnique, 57, 2007, Iss. 6, pp. 527–536. ●

Information about the authors:

**Kossov, Valery S.** – D.Sc. (Eng), professor, director general of JSC Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia, vnikti@ptl-kolomna.ru.

**Krasnov, Oleg G.** – Ph.D. (Eng), head of department of track and special rolling stock of JSC Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia, vnikti@ptl-kolomna.ru.

**Protopopov, Andrey L.** – senior researcher of Department of dynamics and strength of rolling stock and track infrastructure of JSC Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock (JSC VNIKTI), Kolomna, Russia, vnikti@ptl-kolomna.ru.

Article received 01.08.2017, accepted 29.08.2017.

**The R&D work has been accomplished within the project of the Russian Fundamental Research Fund 17–20–01088.**





# Коэффициент технической эффективности АТС: моделирование и расчёт



Олег ГОНЧАРОВ

Oleg Yu. GONCHAROV

## Coefficient of Motor Vehicle Technical Efficiency: Modeling and Calculation

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 98)

**Цель представленного в статье исследования – уточнение коэффициента технической эффективности автотранспортного средства и оценка диапазона его значений в предлагаемой расчётной модели с учётом различных вариантов комплектации автомобилей одной марки и при различных режимах движения. Используемые схемы моделирования и оценочные критерии имеют в основе данные сделанного автором научного анализа и подкреплены эксплуатационной практикой.**

**Ключевые слова:** автотранспортные средства, коэффициент полезного действия, коэффициент технической эффективности, способы расчёта, числовое моделирование.

*Гончаров Олег Юрьевич – заместитель директора колледжа Института сервиса, туризма и дизайна Северо-Кавказского федерального университета (Пятигорский филиал), Пятигорск, Россия.*

Среди теоретиков и практиков, занимающихся автотранспортными средствами (АТС), нет единой точки зрения по таким показателям, как «эффективность» и «коэффициент полезного действия». Одни считают их совершенно разными (КПД характеризует общее совершенство автомобиля, а эффективность – его совершенство как чисто транспортной машины [1]); другие, наоборот, просто отождествляют. При этом каждый предлагает свой способ определения величины КПД (коэффициента эффективности [2]), а следовательно, и вкладывает в него свой смысл. Хотя у всех есть одно общее: понимание его необходимости и важности как для теории, так и для практики.

Единый для всех автотранспортных средств безразмерный комплексный показатель типа «КПД», «коэффициент эффективности» или «коэффициент технической эффективности» крайне нужен и на этапе проектирования, и в период эксплуатации. Но ещё больше – в условиях усиления конкуренции производителей на соответствующих сегментах рынка: с помощью единого показателя значительно упрощаются все технико-экономические расчёты, в том числе связанные с оценкой конку-

рентоспособности производимых автомобилей, сравнением с лучшими отечественными и зарубежными аналогами [3].

Однако предлагавшиеся в последние годы трактовки «КПД автомобиля» и формулы для его расчёта, сопутствовавшие их пониманию задачи, к сожалению, полностью проблему не закрывают. Возможно лишь решение частных задач по оценке экономической эффективности отдельных автомобилей. Но экономическая оценка будет различной в различных условиях эксплуатации, поэтому, надо полагать, следует сначала проводить оценку именно технической эффективности автомобиля, а затем уже давать экономическую оценку внедрения рассматриваемой модели автомобиля.

Существует определённая неоднозначность в трактовке понятия «эффективность автомобиля». Ведь техническая эффективность, по логике некоторых авторов, составной элемент коэффициента эффективности (КПД) автомобиля. На это указывают Д. В. Великанов, Я. Е. Фаробин, Л. Г. Трёмбевельский [4].

При таком подходе в качестве физических величин, обозначающих эффективность транспортного средства на любом маршруте, можно принять следующие необходимые и просто определяемые характеристики и параметры: максимальный крутящий момент двигателя, массу перевозимого груза, радиус качения ведущих колёс, среднетехническую скорость движения автомобиля, передаточное число главной передачи, среднюю плотность ряда передаточных чисел трансмиссии, низшую теплотворную способность и массовый (усреднённый) расход топлива [5].

Н. Я. Говорушенко в своих работах при определении КПД автомобиля учитывает только механический коэффициент полезного действия без аэродинамических потерь [6].

На наш взгляд, с самого начала следует исходить из того, что основное назначение АТС – перемещение грузов и пассажиров. И тогда полезной можно считать только ту часть работы в окружении сил сопротивления, которая зависит от перевозимого груза (пассажиров). А. А. Токарев [7] предлагает в качестве показателя эффективности рассматривать соотношение полезной

энергии к затраченной энергии горения топлива:

$$\eta_o = \frac{W_{\text{пол}}}{W}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{пол}}$  – полезная работа, затраченная на преодоление сил сопротивления качению, условиям дороги и воздуха;  $W$  – полная энергия горения топлива.

$$W_{\text{пол}} = S \cdot (mgf + k_b FV^2 + mg \sin \alpha), \quad (2)$$

где  $m$  – масса АТС;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $k_b$  – коэффициент воздушного сопротивления;  $F$  – лобовая площадь автомобиля;  $V$  – скорость автомобиля;  $S$  – пройденный путь.

$$W = H_{\text{и}} \cdot \rho \cdot Q_s, \quad (3)$$

где  $H_{\text{и}}$  – низшая теплотворная способность топлива;  $\rho$  – плотность топлива;  $Q_s = f(V, \psi)$  – эксплуатационный расход топлива.

При анализе формулы (2) возникает вопрос, почему автором используется вся масса АТС с грузом, если полезной мы считаем только массу перевозимого груза? Столь же очевидно, что важным фактором будет являться скорость автомобиля, как и расход топлива, который нелинейно зависит от скорости автомобиля.

Мы предлагаем при расчёте коэффициента эффективности транспортного средства использовать именно массу груза или пассажиров (массу полезной нагрузки, грузоподъёмность), тогда формула (2) примет вид:

$$W_{\text{пол}} = S \cdot (m_{\text{гр}} g \cdot \psi + k_b FV^2), \quad (4)$$

где  $m_{\text{гр}}$  – масса груза или пассажиров;  $\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления.

Примером критерия, в котором эксплуатационный расход топлива сочетается с транспортной работой, может служить показатель эффективности топливоиспользования  $Q_w$  [8]:

$$Q_w = \frac{Q_{\text{эк}}}{100 \cdot W_{\text{тр}}}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{эк}}$  – эксплуатационный расход топлива, л/100 км;  $W_{\text{тр}}$  – транспортная работа, т • км.

Показатель эффективности давно используется для оценки совершенства перевозок и анализа расходов топлива. Ряд учёных предлагает аналогичные критерии оценки: Д. П. Великанов, Я. Е. Фаробин [4], Э. И. Наркевич [9].



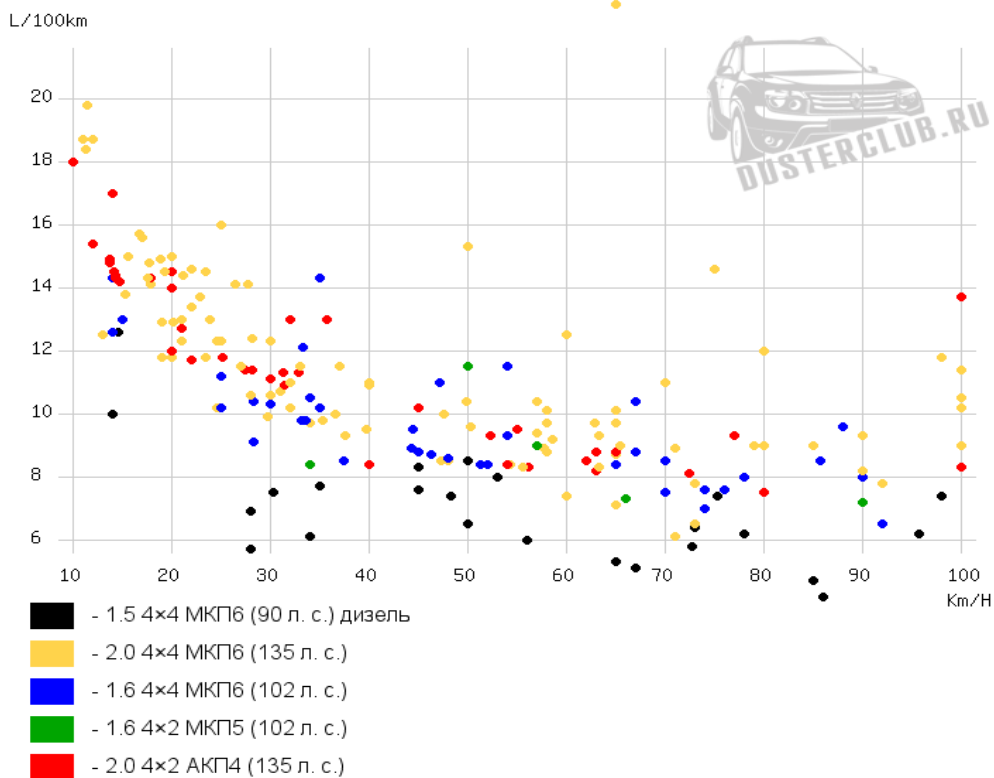


Рис. 1. Зависимость расхода топлива от средней скорости Renault Duster по комплектациям.

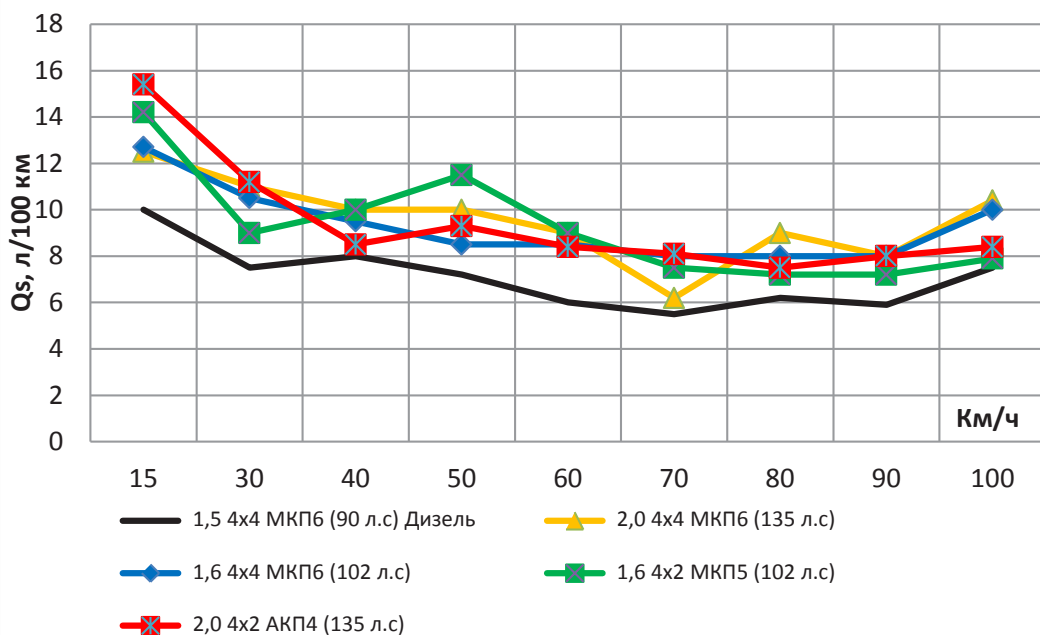


Рис. 2. Зависимость расхода топлива от скорости движения для различных комплектаций Renault Duster.

Таблица 1

**Расчёт коэффициента технической эффективности для различных комплектаций  
автомобиля Renault Duster (при скорости 100 км/ч)**

Модель	1,54х4 МКП6 (90 л.с.) Дизель	2,04х4 МКП6 (135 л.с.)	1,64х4 МКП6 (102 л.с.)	1,64х2 МКП5 (102 л.с.)	2,04х2 АКП4 (135 л.с.)
Тип двигателя	Дизельный	Бензиновый инжекторный	Бензиновый инжекторный	Бензиновый инжекторный	Бензиновый инжекторный
Вид топлива	Д.т	Бенз.	Бенз.	Бенз.	Бенз.
Масса снаряжённая, кг	1875	1877	1820	1850	1870
Грузоподъёмность, кг ( $M_{гр}$ )	425	425	425	425	425
Средний расход топлива, л/100 км	7,5	10,4	10	7,9	8,4
Теплотворная способность топлива, кДж/кг	42400	43390	43390	43390	43390
Плотность, кг/л	0,85	0,75	0,75	0,75	0,75
Габаритные размеры, колея, м	1,822	1,822	1,822	1,822	1,822
Лобовая площадь, м <sup>2</sup>	1,625	1,625	1,625	1,625	1,625
Коэффициент воздушного сопротивления, $k_n$ , Н•с <sup>2</sup> /м <sup>4</sup> ;	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
$M_{гр}g\psi$ , Н	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
$k_FV^2$ , Н	62,539	62,539	62,539	62,539	62,539
$W_{пол}$ , Дж	125,48	125,48	125,48	125,48	125,48
$W$ , Дж	18801,9	18801,9	18801,9	18801,9	18801,9
$Q_{н}$ , л/т•км	270300	338442	325425	257085,75	273357
$\varepsilon$	0,176471	0,244706	0,235294	0,185882	0,197647

Таблица 2

**Усреднённый расход топлива комплектаций автомобилей Renault Duster  
при различных скоростях движения**

Модель/ скорость, км/ч	1,54х4 МКП6 (90 л.с.) Дизель	2,04х4 МКП6 (135 л.с.)	1,64х4 МКП6 (102 л.с.)	1,64х2 МКП5 (102 л.с.)	2,04х2 АКП4 (135 л.с.)
15	10	12,5	12,7	14,2	15,4
30	7,5	11	10,5	9	11,2
40	8	10	9,5	10	8,5
50	7,2	10	8,5	11,5	9,3
60	6	9	8,5	9	8,4
70	5,5	6,2	8	7,5	8,1
80	6,2	9	8	7,2	7,5
90	5,9	8	8	7,2	8
100	7,5	10,4	10	7,9	8,4

Нами было проведено числовое моделирование коэффициента эффективности транспортного средства для ряда комплектаций автомобилей Renault Duster при движении с различной скоростью и полной загрузкой по ровной дороге ( $\psi = 0,015$ ) в 1 км. Результаты моделирования приведены в таблицах 1–4. Данные по реальному расходу

топлива автомобилями Renault Duster на различных режимах движения получены опытным путём и показаны на рис. 1. Источник – форум Дастер Клуб [10]. Графики кривых результатов моделирования приведены на рис. 2–4. Распределение опытных данных было усреднено по величинам скоростей для осуществления моделирования.



Таблица 3

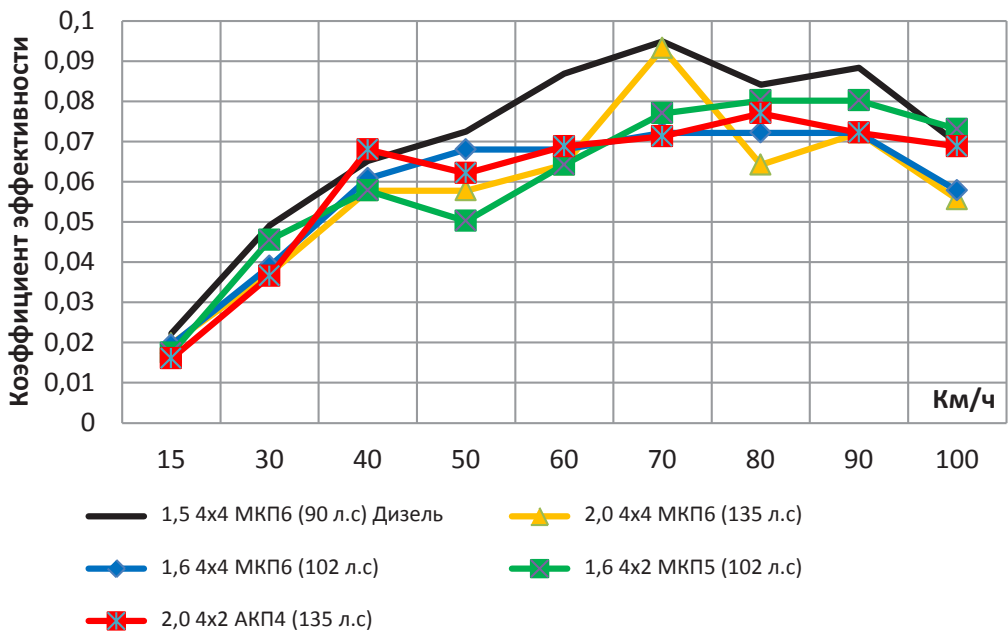
**Коэффициент эффективности комплектаций автомобилей Renault Duster при различных скоростях движения**

Модель/скорость, км/ч	1,54x4 МКП6 (90 л.с.) Дизель	2,04x4 МКП6 (135 л.с.)	1,64x4 МКП6 (102 л.с.)	1,64x2 МКП5 (102 л.с.)	2,04x2 АКП4 (135 л.с.)
15	0,0223	0,0197	0,0194	0,0174	0,016
30	0,0492	0,0372	0,039	0,0455	0,0365
40	0,0652	0,0578	0,0608	0,0578	0,068
50	0,0725	0,0578	0,068	0,0502	0,0621
60	0,0869	0,0642	0,068	0,0642	0,0688
70	0,0949	0,0932	0,0722	0,077	0,0713
80	0,0841	0,0642	0,0722	0,0802	0,077
90	0,0884	0,0722	0,0722	0,0802	0,0722
100	0,0696	0,0556	0,0578	0,0731	0,0688

Таблица 4

**Эффективность топливоиспользования комплектаций автомобилей Renault Duster при различных скоростях движения**

Модель/скорость, км/ч	1,54x4 МКП6 (90 л.с.) Дизель	2,04x4 МКП6 (135 л.с.)	1,64x4 МКП6 (102 л.с.)	1,64x2 МКП5 (102 л.с.)	2,04x2 АКП4 (135 л.с.)
15	0,235294	0,294118	0,298824	0,334118	0,362353
30	0,176471	0,258824	0,247059	0,211765	0,263529
40	0,188235	0,235294	0,223529	0,235294	0,2
50	0,169412	0,235294	0,2	0,270588	0,218824
60	0,141176	0,211765	0,2	0,211765	0,197647
70	0,129412	0,145882	0,188235	0,176471	0,190588
80	0,145882	0,211765	0,188235	0,169412	0,176471
90	0,138824	0,188235	0,188235	0,169412	0,188235
100	0,176471	0,244706	0,235294	0,185882	0,197647





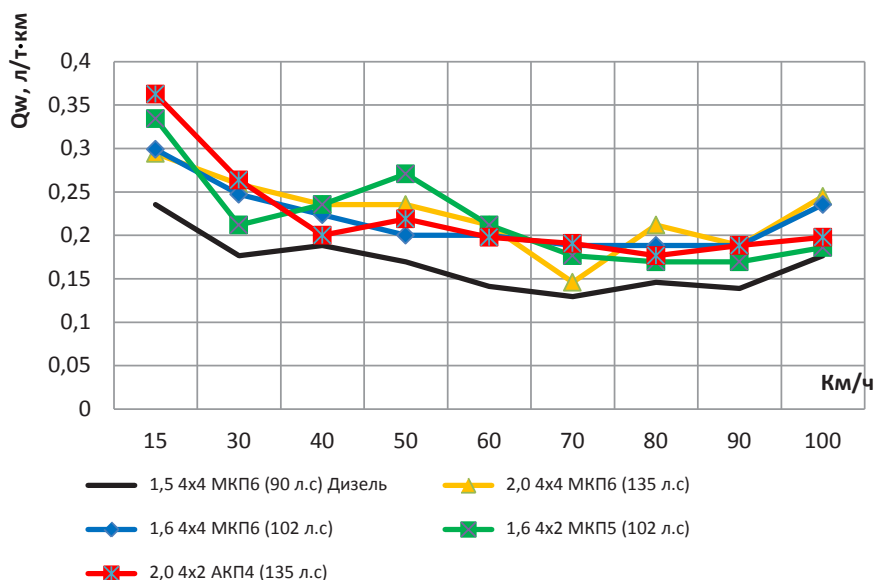


Рис. 4. Зависимость эффективности топливоиспользования от скорости движения для различных комплектаций Renault Duster.

Цель всего сделанного – оценить диапазон значений предлагаемого коэффициента эффективности транспортного средства для различных вариантов комплектаций автомобилей одной марки и при различных скоростях движения.

Проанализировав графики, видим явную зависимость предлагаемого коэффициента эффективности от типа двигателя, грузоподъёмности, режимов движения АТС.

В данном частном примере можно сделать вывод о превосходстве по топливно-экономическим показателям дизельной версии автомобиля Renault Duster. Правомерен и вывод о том, что наиболее эффективными режимами движения всех комплектаций являются скорости 60–90 км/ч. Для варианта автомобиля с АКПП более эффективны режимы движения с небольшими скоростями (50–70 км/ч). Эти выводы полностью подтверждаются результатами эксплуатации Renault Duster.

По итогам исследования есть основания говорить о состоятельности предлагаемой методики построения коэффициента эффективности транспортного средства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лепешкин А. В. Критерии оценки энергоэффективности многоприводных колёсных машин // Автомобильная промышленность. – 2010. – № 10. – С. 19–23.
2. Карабцев В. С., Валеев Д. Х. О КПД и коэффициенте эффективности автотранспортного средства // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 10. – С. 16–19.
3. Карабцев В. С. Пользу можно сосчитать // Корпоративный журнал ОАО «КамАЗ». – 2009. – № 1–2. – С. 54–56.
4. Фаробин Я. Е., Щупляков В. С. Оценка эксплуатационных свойств для международных перевозок. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
5. Погосбеков М. И. Ещё раз о КПД автомобиля // Автомобильная промышленность. – 1996. – № 11. – С. 12–15.
6. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
7. Токарев А. А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
8. Ерохов В. И. Экономическая эксплуатация автомобиля. – М.: ДОСААФ, 1986. – 186 с.
9. Наркевич Э. И. Определение среднего КПД автомобиля на маршруте // Автомобильная промышленность. – 1998. – № 10. – С. 20–23.
10. Форум Дастер Клуб. Тема: Зависимость расхода топлива от средней скорости Рено Дастер. [Электронный ресурс]: <http://forum.dusterclub.ru/showthread.php?page=7&t=1619>. Доступ 16.02.2017.
11. Евсеев П. П. Энергетические показатели функционирования автомобиля на маршруте. Термины и «тернии» // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 2. – С. 15–17.

Координаты автора: **Гончаров О. Ю.** – smart30001@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 16.02.2017, принята к публикации 14.06.2017.



## COEFFICIENT OF MOTOR VEHICLE TECHNICAL EFFICIENCY: MODELING AND CALCULATION

**Goncharov, Oleg Yu.**, College of the Institute of Service, Tourism and Design of North Caucasus Federal University (Pyatigorsk Branch), Pyatigorsk, Russia.

### ABSTRACT

The purpose of the research presented in the article is to refine the vehicle's technical efficiency coefficient and to estimate the range of its values in the proposed design model, taking into account the

different variants of configuration of cars of the same brand and under different driving regimes. The modeling schemes used and the evaluation criteria are based on the data of the author's scientific analysis and are supported by practices.

*Keywords:* vehicles, coefficient of efficiency, coefficient of technical efficiency, calculation methods, numerical modeling.

**Background.** Among theorists and practitioners dealing with vehicles, there is no single point of view on such indicators as «efficiency» and «coefficient of efficiency». Some consider them completely different (coefficient of efficiency characterizes the overall perfection of the car, and efficiency is its perfection as a purely transport machine [1]); others, on the contrary, identify them. In this case, everyone offers own way of determining the value of coefficient of efficiency [2], and therefore, brings own meaning into it. Although everyone has one thing in common: understanding of its need and importance for both theory and practice.

A uniform for all vehicles dimensionless complex indicator such as «coefficient of efficiency» or «coefficient of technical efficiency» is extremely needed both at the design stage and during operation. But even more – in the conditions of strengthening the competition of producers in the relevant market segments: a single indicator facilitates all technical and economic calculations, including those related to the assessment of the competitiveness of manufactured cars, comparison with the best domestic and foreign analogues [3].

However, the interpretations of the «coefficient of efficiency of the car» and the formulas for its calculation proposed in recent years, accompanying their understanding of the problem, unfortunately, do not completely solve the problem. It is only

possible to solve particular problems in assessing the economic efficiency of individual cars. But the economic evaluation will be different in different operating conditions, therefore, we must assume that it is first necessary to evaluate the technical efficiency of the car, and then give an economic assessment of the introduction of the model of the car in question.

**Objective.** The objective of the author is to consider the coefficient of vehicle technical efficiency through its modeling and calculation.

**Methods.** The author uses general scientific and engineering methods, comparative analysis, graph construction, modeling, evaluation approach.

**Results.** There is a certain ambiguity in the interpretation of the concept of «car efficiency». After all, technical efficiency, according to the logics of some authors, is a component of the coefficient of efficiency of the car. This is indicated by D. V. Velikanov, Ya. E. Farobin, L. G. Trembovskiy [4].

With this approach, the following necessary and simply determined characteristics and parameters can be adopted as physical quantities indicating the efficiency of the vehicle on any route: maximum engine torque, weight of the transported cargo, rolling radius of the driving wheels, average vehicle speed, gear ratio of main transmission, average density of a number of gear ratios, lower calorific value and mass (average) fuel consumption [5].

**Pic. 1. Dependence of the fuel consumption on the average speed of the Renault Duster depending on configuration.**

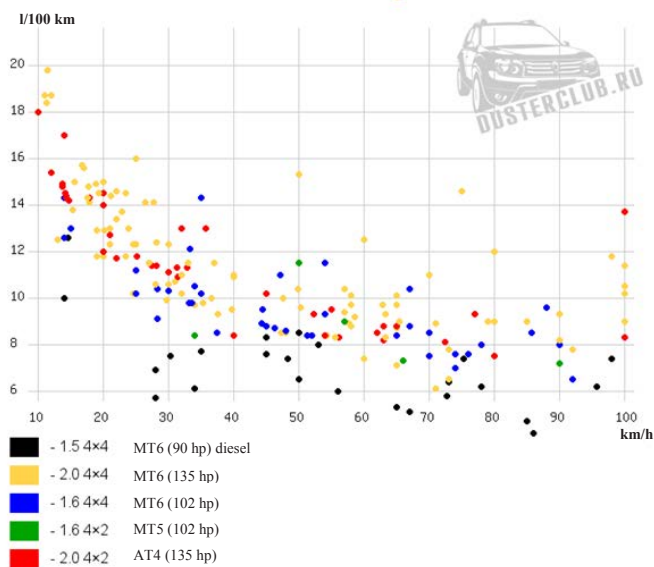


Table 1

**Calculation of the coefficient of technical efficiency for various car configurations of Renault Duster (at a speed of 100 km/h)**

Model	1,5 4x4 MT6 (90 hp) diesel	2,0 4x4 MT6 (135 hp)	1,6 4x4 MT6 (102 hp)	1,6 4x2 MT5 (102 hp)	2,0 4x2 AT4 (135 hp)
Type of engine	Diesel	Petrol-injector	Petrol-injector	Petrol-injector	Petrol-injector
Type of fuel	Diesel oil	Petrol	Petrol	Petrol	Petrol
Unladen weight, kg	1875	1877	1820	1850	1870
Cargo carrying capacity, kg ( $M_{\text{cargo}}$ )	425	425	425	425	425
Average fuel consumption, l/100 km	7,5	10,4	10	7,9	8,4
Calorific power of fuel, kJ/kg	42400	43390	43390	43390	43390
Density, kg/l	0,85	0,75	0,75	0,75	0,75
Wheel track, m	1,822	1,822	1,822	1,822	1,822
Frontal area, m <sup>2</sup>	1,625	1,625	1,625	1,625	1,625
Coefficient of air resistance, $k_a$ , N · c <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> ;	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
$M_{\text{cargo}} g \psi$ , N	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
$k FV^2$ , N	62,539	62,539	62,539	62,539	62,539
$W_{\text{use}}$ , J	125,48	125,48	125,48	125,48	125,48
$W$ , J	18801,9	18801,9	18801,9	18801,9	18801,9
$Q_w$ , l/t · km	270300	338442	325425	257085,75	273357
$\eta_e$	0,176471	0,244706	0,235294	0,185882	0,197647

Table 2

**Average fuel consumption of Renault Duster car configurations at various speeds**

Model/ speed, km/h	1,5 4x4 MT6 (90 hp) diesel	2,0 4x4 MT6 (135 hp)	1,6 4x4 MT6 (102 hp)	1,6 4x2 MT5 (102 hp)	2,0 4x2 AT4 (135 hp)
15	10	12,5	12,7	14,2	15,4
30	7,5	11	10,5	9	11,2
40	8	10	9,5	10	8,5
50	7,2	10	8,5	11,5	9,3
60	6	9	8,5	9	8,4
70	5,5	6,2	8	7,5	8,1
80	6,2	9	8	7,2	7,5
90	5,9	8	8	7,2	8
100	7,5	10,4	10	7,9	8,4

N. Ya. Govorushchenko in his work in determining the efficiency of the car takes into account only the mechanical efficiency without aerodynamic losses [6].

In our opinion, from the outset, one should proceed from the fact that the main purpose of a vehicle is displacement of cargo and passengers. And then only that part of the work in the environment of the resistance forces, which depends on the cargo (passengers) being transported, can be considered useful. A. A. Tokarev [7] proposes, as an indicator of efficiency, to consider the ratio of the useful energy to the spent combustion energy of fuel:

$$\eta_c = \frac{W_{\text{use}}}{W}, \quad (1)$$

where  $W_{\text{use}}$  – useful work spent on overcoming the forces of resistance to rolling, road and air conditions;  $W$  – total burning energy of the fuel.

$$W_{\text{use}} = S \cdot (mgf + k_a FV^2 + mg \sin \alpha), \quad (2)$$

where  $m$  – mass of a vehicle;  $f$  – coefficient of rolling resistance;  $k_a$  – coefficient of air resistance;  $F$  – frontal

area of a car;  $V$  – speed of a car;  $S$  – distance traveled.

$$W = H_i \cdot \rho \cdot Q_s, \quad (3)$$

where  $H_i$  – net calorific value of fuel;  $\rho$  – density of fuel;  $Q_s = f(V, \psi)$  – operating consumption of fuel.

When analyzing the formula (2), the question arises as to why the authors use the entire mass of the vehicle with the cargo, if we consider only the mass of the cargo being transported to be useful. It is equally obvious that an important factor will be the speed of the car, as well as fuel consumption, which is nonlinearly dependent on the speed of the car.

We propose to use the mass of cargo or passengers (payload weight, cargo carrying capacity) when calculating the coefficient of efficiency of a vehicle, then formula (2) takes a form:

$$W_{\text{use}} = S \cdot (m_{\text{cargo}} g \cdot \psi + k_a FV^2), \quad (4)$$

where  $m_{\text{cargo}}$  – mass of cargo or passengers;  $\psi$  – coefficient of road resistance.

An example of the criterion, in which the operational fuel consumption is combined with the





Table 3

Coefficient of efficiency of configurations of Renault Duster cars at various speeds

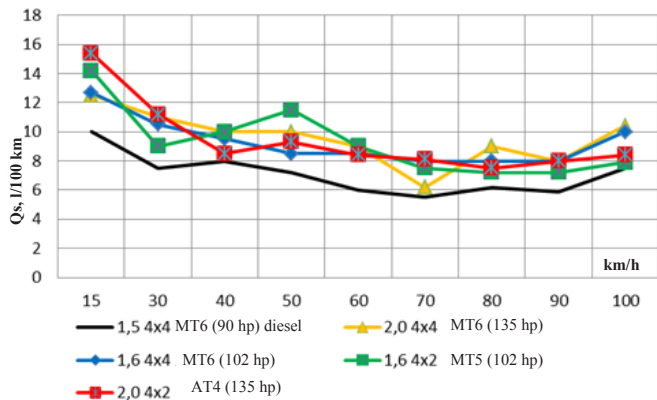
Model/ speed, km/h	1,5 4x4 MT6 (90 hp) diesel	2,0 4x4 MT6 (135 hp)	1,6 4x4 MT6 (102 hp)	1,6 4x2 MT5 (102 hp)	2,0 4x2 AT4 (135 hp)
15	0,0223	0,0197	0,0194	0,0174	0,016
30	0,0492	0,0372	0,039	0,0455	0,0365
40	0,0652	0,0578	0,0608	0,0578	0,068
50	0,0725	0,0578	0,068	0,0502	0,0621
60	0,0869	0,0642	0,068	0,0642	0,0688
70	0,0949	0,0932	0,0722	0,077	0,0713
80	0,0841	0,0642	0,0722	0,0802	0,077
90	0,0884	0,0722	0,0722	0,0802	0,0722
100	0,0696	0,0556	0,0578	0,0731	0,0688

Table 4

Efficiency of fuel use of configurations of Renault Duster cars at various speeds

Model/ speed, km/h	1,5 4x4 MT6 (90 hp) diesel	2,0 4x4 MT6 (135 hp)	1,6 4x4 MT6 (102 hp)	1,6 4x2 MT5 (102 hp)	2,0 4x2 AT4 (135 hp)
15	0,235294	0,294118	0,298824	0,334118	0,362353
30	0,176471	0,258824	0,247059	0,211765	0,263529
40	0,188235	0,235294	0,223529	0,235294	0,2
50	0,169412	0,235294	0,2	0,270588	0,218824
60	0,141176	0,211765	0,2	0,211765	0,197647
70	0,129412	0,145882	0,188235	0,176471	0,190588
80	0,145882	0,211765	0,188235	0,169412	0,176471
90	0,138824	0,188235	0,188235	0,169412	0,188235
100	0,176471	0,244706	0,235294	0,185882	0,197647

Pic. 2. Dependence of fuel consumption on speed of a vehicle for various configurations of Renault Duster.



transport work, can be the fuel use efficiency indicator  $Q_w$ , which is derived by V. I. Erokhov [8]:

$$Q_w = \frac{Q_{op}}{100 \cdot W_{tr}}, \quad (5)$$

where  $Q_{op}$  – operational consumption of fuel, l/100 km;  $W_{tr}$  – transport work, t·km.

The efficiency indicator has long been used to assess the perfection of transportation and analysis of fuel consumption. A number of scientists offer similar evaluation criteria: D. P. Velikanov, Ya. E. Farobin [4], E. I. Narkevich [9].

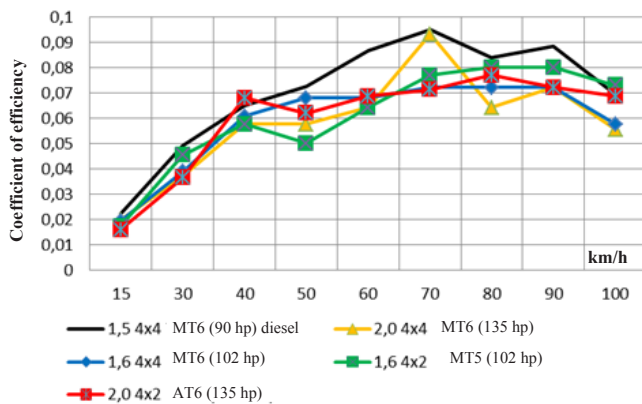
We carried out a numerical modeling of the vehicle efficiency coefficient for a number of configurations of Renault Duster cars when driving at different speeds and full loads along a flat road ( $\psi = 0,015$ ) of km. The results of the modeling are shown in Tables 1–4. The data on the real fuel consumption of Renault

Duster cars at various driving regimes have been obtained experimentally and are shown in Pic. 1. Source – Duster Club Forum [10]. The curves of the modeling results are shown in Pic. 2–4. The distribution of the experimental data was averaged over the speed values for the modeling.

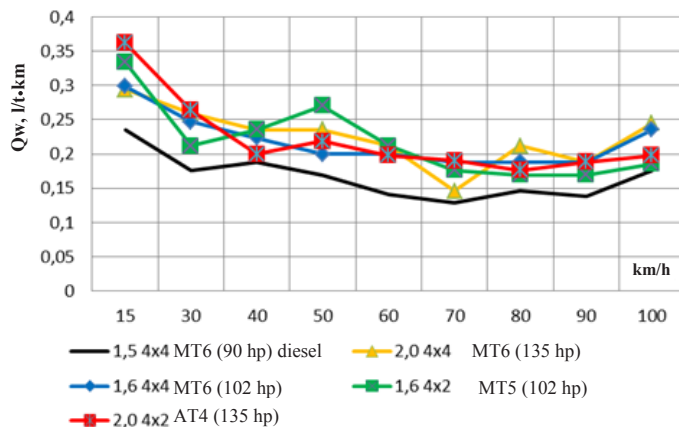
The purpose of all that has been done is to estimate the range of values of the proposed coefficient of vehicle efficiency for different variants of vehicle configurations of the same brand and at different speeds.

Having analyzed the graphs, we see an obvious dependence of the proposed efficiency coefficient on the engine type, cargo carrying capacity, vehicle motion modes.

In this particular example, we can conclude that the diesel version of Renault Duster is superior in its fuel-economic indicators. It is also legitimate to



**Pic. 3. Dependence of coefficient of efficiency on speed for various configurations of Renault Duster.**



**Pic. 4. Dependence of the efficiency of fuel use on speed for various configurations of Renault Duster.**

conclude that the most effective modes of movement for all configurations are speeds of 60–90 km/h. For the variant of the car with automatic transmission, the driving modes with low speeds (50–70 km/h) are more effective. These conclusions are fully confirmed by the results of the operation of the Renault Duster.

**Conclusion.** Based on the results of the study, there is reason to speak of the consistency of the proposed methodology for constructing a coefficient of technical efficiency of a vehicle.

## REFERENCES

- Lepeshkin, A. V. Evaluation criteria for energy efficiency of multi-wheeled vehicles [*Kriterii ocenki energojeffektivnosti mnogoprivodnyh kolesnyh mashin*]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2010, Iss. 10, pp. 19–23.
- Karabtsev, V. S., Valeev, D. Kh. On efficiency and efficiency coefficient of a vehicle [*O KPD i koefficiente effektivnosti avtotransportnogo sredstva*]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2002, Iss. 10, pp. 16–19.
- Karabtsev, V. S. Benefit can be counted [*Pol'zu mozžno soschitat'*]. *Korporativnyj zhurnal OAO «Kamaz»*, 2009, Iss. 1–2 [24], pp. 54–56.
- Farobin, Ya. E., Shchuplyakov, B. S. Evaluation of operational properties for international transportation [*Ocenka ekspluatatsionnyh svoystv dlja mezhdunarodnyh perevozok*]. Moscow, Transport publ., 1983, 200 p.

- Pogosbekov, M. I. Once again about coefficient of Efficiency of a vehicle [*Eshhe raz o KPD avtomobilja*]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 1996, Iss. 11, pp. 12–15.

- Govorushchenko, N. Ya. Fuel saving and reduction of toxicity in road transport [*Ekonomija topliva i snizhenie toksichnosti na avtomobil'nom transporte*]. Moscow, Transport publ., 1990, 135 p.

- Tokarev, A. A. Fuel economy and traction-speed properties of a car [*Toplivnaja ekonomichnost' i tjavogovskorostnye kachestva avtomobilja*]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1982, 224 p.

- Erokhov, V. I. Economic operation of a car [*Ekonomicheskaja ekspluatatsija avtomobilja*]. Moscow, DOSAAF publ., 1986, 186 p.

- Narkevich, E. I. Determination of the average coefficient of efficiency of a car on a route [*Opredelenie srednego KPD avtomobilja na marshrute*]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 1998, Iss. 10, pp. 20–23.

- The Duster Club Forum. Topic: Dependence of fuel consumption on average speed of Renault Duster [*Forum Daster Klub. Tema: Zavisimost' rashoda topliva ot srednej skorosti Reno Daster*]. [Electronic resource]: <http://forum.dusterclub.ru/showthread.php?page=7&t=1619>. Last accessed 16.02.2017.

- Evseev, P. P. Energy performance of a car on a route. Terms and «thorns» [*Energeticheskie pokazateli funkcionirovanija avtomobilja na marshrute. Terminy i «ternii»*]. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 1999, Iss. 2, pp. 15–17.

Information about the author:

**Goncharov, Oleg Yu.** – deputy director of the College of the Institute of Service, Tourism and Design of North Caucasus Federal University (Pyatigorsk branch), Pyatigorsk, Russia, smart30001@yandex.ru.

Article received 16.02.2017, accepted 14.06.2017.





# Оценка осадки земляного полотна на участках слабых оснований



Иван УЛАНОВ

Ivan S. ULANOV

## Estimation of Foundation Settlement on Weak Base Sections

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 106)

**При разработке проектов насыпей на слабом основании (переувлажненных глинистых грунтах) актуальное значение имеют правильная оценка величины осадки насыпи и обеспечение уширения основной площадки земляного полотна. Анализ состояния земляного полотна железнодорожной линии Нарын–Лугокан сделан автором с учётом наличия островной вечной мерзлоты, заданных эксплуатационных характеристик, материалов геодезической проверки и научно-теоретических обоснований проекта.**

**Ключевые слова:** железная дорога, эксплуатационная осадка, строительная осадка, слабые грунты основания, вечная мерзлота, проблемы эксплуатации, уширение площадки.

*Уланов Иван Сергеевич – заместитель главного инженера ООО «Китайская инженерная железнодорожная корпорация «Эр Юань», КНР, провинция Сычуань, г. Чэнду, филиал корпорации в РФ, Москва, Россия.*

**С**троительство железных дорог на участках слабых оснований требует тщательного подхода к проектированию индивидуальных конструкций земляного полотна. При выполнении расчётов необходимо обеспечивать не только общую и местную устойчивость откосов насыпей, но и предусматривать меры по сохранению проектных отметок головки рельса после завершения осадок основания.

В современной нормативно-технической документации описаны методы проектирования земляного полотна на торфяных, сапропелевых болотах и илах. При этом практически отсутствуют расчёты и типовые проектные решения по проектированию насыпей железных и автомобильных дорог на переувлажнённых глинистых грунтах. Дефицит внимания к данному вопросу приводит к серьёзным проблемам при эксплуатации построенных объектов. Недооценка величины осадки насыпи и отсутствие уширения основной площадки земляного полотна грозят деформациями обочин и образованием балластных шлейфов.

Как известно, полную осадку насыпей образуют строительная и эксплуатационная осадки. Строительная достигается за

счёт уплотнения грунтов основания при возведении насыпи. Эксплуатационная возникает за счёт доуплотнения тела и основания насыпи под действием поездной нагрузки. Расчёт суммарной осадки основания насыпей рекомендуется выполнять по компрессионным кривым грунтов. Соотношение между осадками, происходящими в строительный период и после сдачи насыпи в эксплуатацию, устанавливаются СП 32–104–98 как  $S_c = S_s = 0,5S$ .

То есть строительная осадка условно равняется эксплуатационной. Фактическая величина осадок в эксплуатационный период не всегда равняется расчётным значениям строительной осадки. Особенно это очевидно на участках слабых оснований и при отсыпке насыпи в зимний период. Таким образом, при расчёте конструкций земляного полотна закладываются неправильные проектные решения: недостаточная ширина основной площадки для подъёмки пути на балласт после завершения осадки или, наоборот, излишний запас насыпи на осадку по высоте.

\* \* \*

Для оценки величины эксплуатационной осадки для вводимых в эксплуатацию новых железных дорог был выполнен анализ состояния земляного полотна линии Нарын–Лугокан длиной 220 км, расположенной в Забайкальском крае. Район строительства отличается наличием островной вечной мерзлоты, высоким уровнем грунтовых вод и, как следствие, преобладанием переувлажнённых глинистых грунтов в деятельном слое.

При рассмотрении характерных участков обнаружено, что наибольшие эксплуатационные осадки возникают при наличии в основании земляного полотна глинистых переувлажнённых грунтов: супесей и суглинков от текучей до тугопластичной консистенции с модулем деформации от 5 до 10 МПа мощностью от 1,0 до 5,5 м, а также торфа с модулем деформации менее 4 МПа. Земляное полотно представлено насыпями высотой от 1 до 9 метров.

Отсыпка насыпей выполнена из скальных слабовыветривающихся грунтов – гранитов, порфиринов и песчаников с плотностью 2,48–2,62 г/см<sup>3</sup>. Строительство велось круглогодично. Уплотнения насы-

пей производилось послойно вибрационными катками массой 15 т, по 9–12 проходов по слою толщиной 0,4 м. Земляные работы производились в период с 2008 по 2011 год, укладка верхнего строения пути шла с 2011 по 2013 год. Разница между завершением работ по возведению земляного полотна и началом укладки верхнего строения пути в среднем составляла два года, то есть четыре сезона замораживания-оттаивания грунта. На основании этого можно сделать вывод, что к моменту укладки верхнего строения пути насыпь консолидировалась, строительная осадка завершилась.

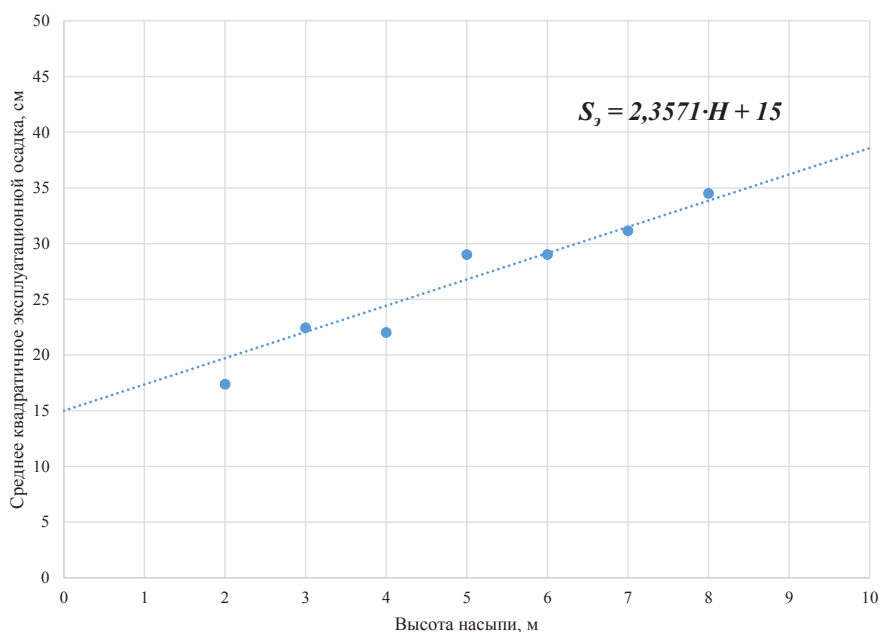
Перед укладкой рельсошпальной решётки основная площадка земляного полотна подвергалась инструментальной геодезической проверке, при отклонении фактических отметок от проектных более чем на 5 см выполнялась досыпка скального грунта с уплотнением и профилированием верха земляного полотна грейдером.

Осенью 2013 года после укладки верхнего строения пути и открытия рабочего движения было сделано техническое нивелирование бровок земляного полотна и головок рельсов. Полученные данные явились исходными для последующего анализа.

Полученные измерения подтверждали теоретические знания об осадках железнодорожных насыпей. Наибольшие осадки были приурочены к местам устройства водопропускных труб, участкам с нарушенными водоотводами, а также к участкам оттаивания вечномерзлых грунтов III–IV категории термпросадочности (на некоторых из них величины осадок превышали 100 см). Подобные участки с осадками более 60 см отфильтровывались и исключались как грубые погрешности или частные случаи. Всего для дальнейшей обработки были выделены 23 участка со слабыми грунтами, суммарной длиной 10,6 км. Отфильтрованный массив данных группировался по главному отличительному признаку – модулю деформации грунта основания. Характеристики грунтов принимались по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных проектными институтами в 2008–2010 годах.

Всего было получено пять групп для классификации грунтов с модулями дефор-





**Рис. 1. Зависимости  $S_0$  от  $H$  для грунтов с  $E < 4$  МПа.**

мации 10, 7, 6, 5 и менее 4 МПа. Далее определены средние арифметические и средние квадратичные наборы данных для разной высоты насыпи от 1 до 10 метров. Среднее квадратичное отклонение результатов изменений не превышало 25 %.

По полученным средним значениям строилась графическая зависимость фактической эксплуатационной осадки от высоты насыпи. С помощью аппрок-

симации данных определены функции  $S_0 = f(H)$ .

Пример графической зависимости средних квадратичных данных фактической эксплуатационной осадки от высоты насыпи при модуле деформации грунта основания менее 4 МПа представлен на рис. 1.

Анализ примера показывает, что зависимость эксплуатационной осадки от высоты насыпи имеет линейный характер

**Таблица 1**

**Рекомендуемые величины уширения основной площадки земляного полотна для возможности подъёмки пути на балласт**

№ п/п	Высота нас., м	Грунт основания с модулем деформации, МПа				
		Величина уширения при $E < 4$ МПа	Величина уширения при $E = 5$ МПа	Величина уширения при $E = 6$ МПа	Величина уширения при $E = 7$ МПа	Величина уширения при $E = 10$ МПа
1	1	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2
2	2	0,6	0,6	0,6	0,4	0,2
3	3	0,7	0,6	0,6	0,4	0,2
4	4	0,7	0,7	0,7	0,4	0,3
5	5	0,8	0,8	0,7	0,4	0,3
6	6	0,9	0,9	0,8	0,5	0,3
7	7	0,9	1,0	0,8	0,5	0,3
8	8	1,0	1,1	0,9	0,5	0,4
9	9	1,1	1,2	0,9	0,5	0,4
10	10	1,2	1,2	1,0	0,6	0,4



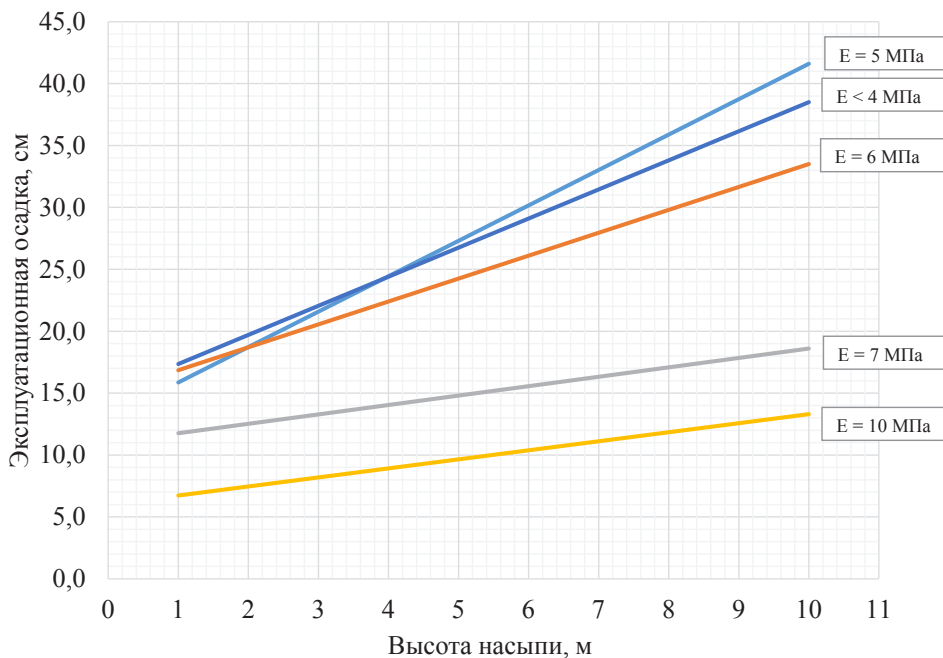


Рис. 2. Зависимости  $S_э$  от  $H$  для грунтов с различным модулем деформации.

и в конкретном случае может быть описана формулой:

$$S_э = 2,3571 \cdot H + 15. \quad (1)$$

Аналогичные зависимости выявлены для каждой из пяти рассматриваемых групп (рис. 2).

В результате определена линейная зависимость величины эксплуатационной осадки железнодорожной насыпи под действием поездной нагрузки от высоты насыпи на слабых переувлажнённых грунтах основания. Полученные графики могут быть использованы при расчёте конечной величины осадки насыпей. Промежуточные значения находятся линейной интерполяцией.

При разработке проектов насыпей на слабом основании рекомендуется выполнять уширение основной площадки земляного полотна для возможности подъёмки пути на балласт после завершения осадок. Для определения величин уширения следует использовать представленные в статье эмпирические данные. Кроме того, стоит обратить внимание, что на величину уширения основной площадки земляного полотна должна оказывать влияние только

величина эксплуатационной осадки, строительные же осадки должны быть завершены к моменту укладки верхнего строения пути. Рекомендуемые величины уширения основной площадки на слабых грунтах представлены в таблице 1, значения округлены с точностью до 0,1 м.

## ВЫВОДЫ

Полученные значения эксплуатационных осадок и рекомендуемые величины уширения основной площадки земляного полотна могут быть использованы при разработке индивидуальных проектов земляного полотна железных дорог на слабых переувлажнённых грунтах основания. Они вполне применимы и для определения эмпирической зависимости между строительной и эксплуатационной осадками, совершенствования расчётных методов и нормативной базы по проектированию земляного полотна.

## ИСТОЧНИКИ

- СП 32–104–98. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм.
- ВСН 61–89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты.

Координаты автора: **Уланов И. С.** – ulanovis@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.04.2017, принята к публикации 12.05.2017.



## ESTIMATION OF FOUNDATION SETTLEMENT ON WEAK BASE SECTIONS

**Ulanov, Ivan S.**, LLC China Railway Engineering Corporation «Er Yuan», PRC, Sichuan province, Chengdu, Moscow branch, Russia.

### ABSTRACT

In the development of embankment projects on a weak base (water-logged clay soils), the correct estimation of the size of the embankment settlement and broadening of the main site of the roadbed are of current importance. The article offers the author's

analysis of the condition of the roadbed of the Naryn–Lugokan railway line, taking into account the presence of island permafrost, the specified operational characteristics, the geodetic survey data and the scientific and theoretical substantiations of the project.

**Keywords:** railway, operating settlement, building settlement, weak foundation soils, permafrost, operational problems, site broadening.

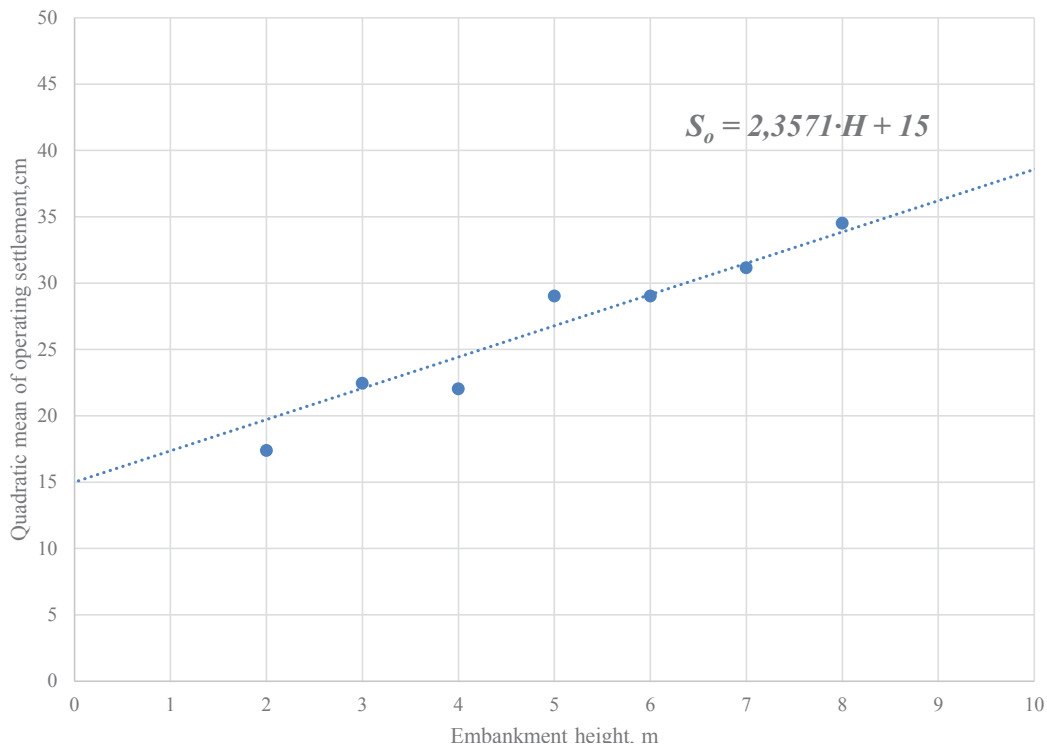
**Background.** The construction of railways on areas of weak bases requires a careful approach to the design of individual structures of the roadbed. When performing the calculations, it is necessary to ensure not only the general and local stability of embankment slopes, but also to provide measures for preserving the project marks of the rail head after completion of the settlement of the base.

The modern normative and technical documentation describes the methods of designing the roadbed on peat, saprel marshes and mud. At the same time, there are practically no calculations and typical design solutions for the design of embankments of railways and highways on water-logged clay soils. The lack of attention to this issue leads to serious problems in the operation of the constructed facilities. Underestimation of the size of the settlement of the embankment and the absence of broadening of the main site of the roadbed lead to deformation of the roadsides and the formation of ballast trails.

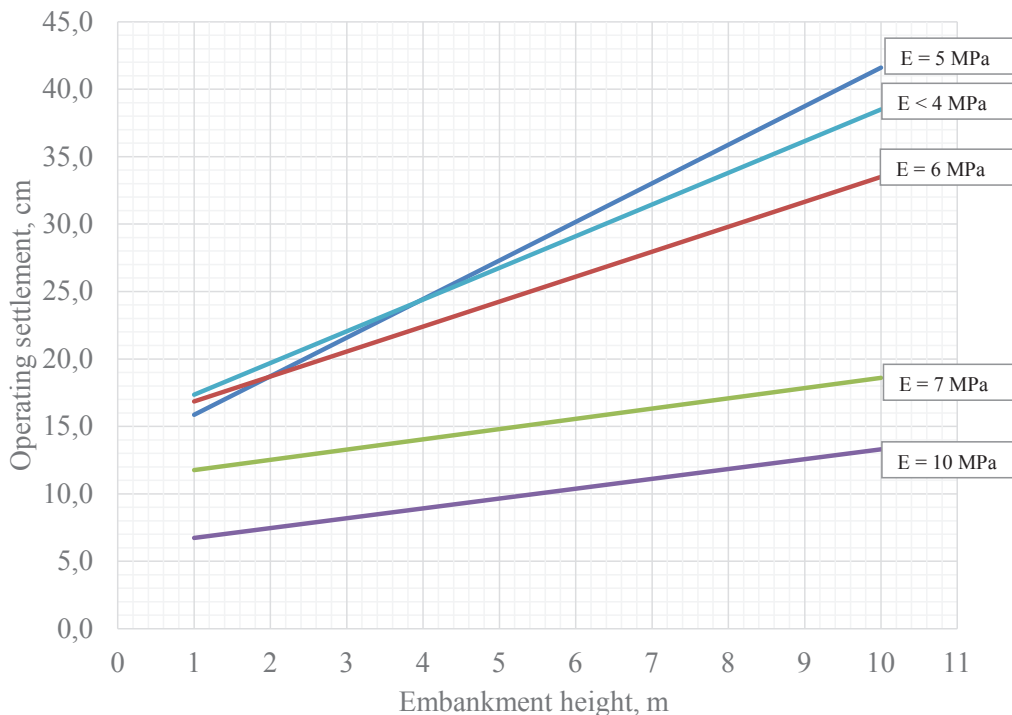
As it is known, the total settlement of the embankments is formed by building and operating

settlement. Building settlement is achieved due to the compaction of the foundation soils during the erection of the embankment. Operating settlement arises due to the addition compaction of the body and the foundation of the embankment under the influence of the train load. Calculation of the total settlement of the base of embankments is recommended to be carried out using compression curves of soils. The relationship between settlements occurring during the construction period and after putting the embankment into operation is established by SP 32–104–98 as  $S_b = S_o = 0,5S$ .

That is, the building settlement is conditionally equal to the operating one. The actual amount of settlement during the operational period is not always equal to the calculated values of the building settlement. This is especially evident in areas of weak bases and during the filling of the embankment during the winter period. Thus, incorrect design decisions are laid in the design of the roadbed designs: insufficient width of the main platform for lifting the track onto the ballast after the completion of the



**Fig. 1.** Dependences of  $S_o$  on  $H$  for soils with  $E < 4$  MPa.



**Pic. 2. Dependences of  $S_o$  on  $H$  for soils with different modulus of deformation.**

settlement, or, conversely, an excessive stock of the embankment for the settlement in height.

**Objective.** The objective of the author is to consider estimation of roadbed settlement on weak base sections.

**Methods.** The author uses general scientific and engineering methods, graph construction, comparative analysis, evaluation approach.

**Results.**

\*\*\*

To assess the value of the operating settlement for the new railways commissioned, an analysis was made of the condition of the roadbed of the line Naryn–Lugokan 220 km long, located in Zabaikalsky region. The construction area is characterized by the presence of island permafrost, high groundwater level and, as a consequence, the predominance of water-logged clay soils in the active layer.

In considering the characteristic areas, it was found that the greatest operating settlements occur when clay soils with loamy water-logged soils are present in the base of the roadbed: sandy loam and loam from a flowing to a turgid consistency with a deformation modulus from 5 to 10 MPa with a power of 1,0 to 5,5 m, and peat with a deformation modulus of less than 4 MPa. The roadbed is represented by embankments with a height of 1 to 9 meters.

The filling of embankments is made of rocky slightly weathered soils – granites, porphyrites and sandstones with a density of 2,48–2,62 g/cm<sup>3</sup>. Construction was carried out all the year round. The embankments were compacted layer-by-layer by vibrating rollers with a mass of 15 tons, 9–12 passes along a 0,4-meter layer. Excavations were carried out from 2008 to 2011, and the superstructure was laid from 2011 to 2013. The interval between the completion of the construction of the roadbed and

the beginning of the laying of the superstructure averaged two years, that is four seasons of freeze-thawing of the soil. Based on this, it can be concluded that at the time of laying the superstructure the embankment was consolidated, the building settlement was completed.

Before the laying of assembled rails and sleepers, the main site of the roadbed was subjected to instrumental geodetic inspection, if the actual marks were deviated from the designed ones by more than 5 cm, the rocky ground was filled with compacting and profiling the top of the roadbed with a grader.

In the autumn of 2013, after laying the superstructure and opening the main traffic operation, the leveling of the edges of the roadbed and rails heads was made. The data obtained were the starting points for the subsequent analysis.

The obtained measurements confirmed the theoretical knowledge about the settlements of railway embankments. The greatest settlement was confined to the places of the culvert assembly, to the sites with disturbed drainage, and also to the thawing areas of the permafrost soils of the III–IV thermal deposition category (some settlements exceeded 100 cm). Similar areas with settlements over 60 cm were filtered out and excluded as gross errors or particular cases. A total of 23 sections with weak soils totaling 10,6 km were identified for further processing. The filtered data array was grouped according to the main distinguishing feature – the ground deformation module. Soil characteristics were taken based on the results of engineering and geological surveys carried out by design institutes in 2008–2010.

In total, five groups were obtained for the classification of soils with deformation modules of



**Recommended values of broadening of the main site  
of the roadbed for the possibility of mounting the track on to the ballast**

No.	Embankment height, m	Foundation soil with a deformation module, MPa				
		Magnitude of broadening at $E < 4$ MPa	Magnitude of broadening at $E = 5$ MPa	Magnitude of broadening at $E = 6$ MPa	Magnitude of broadening at $E = 7$ MPa	Magnitude of broadening at $E = 10$ MPa
1	1	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2
2	2	0,6	0,6	0,6	0,4	0,2
3	3	0,7	0,6	0,6	0,4	0,2
4	4	0,7	0,7	0,7	0,4	0,3
5	5	0,8	0,8	0,7	0,4	0,3
6	6	0,9	0,9	0,8	0,5	0,3
7	7	0,9	1,0	0,8	0,5	0,3
8	8	1,0	1,1	0,9	0,5	0,4
9	9	1,1	1,2	0,9	0,5	0,4
10	10	1,2	1,2	1,0	0,6	0,4

10, 7, 6, 5 and less than 4 MPa. Further, the arithmetic mean and mean square data sets were determined for different settlement heights from 1 to 10 meters. The average quadratic deviation of the results of the changes did not exceed 25 %.

Based on the obtained average values, a graphical dependence of the actual operating settlement on the height of the embankment was constructed. Using the data approximation, the functions  $S_o = f(H)$  were defined.

An example of the graphical dependence of the mean quadratic data of the actual operating settlement on the height of the embankment with the modulus of deformation of the foundation soil less than 4 MPa is shown in Pic. 1.

The analysis of the example shows that the dependence of operating settlement on height of the embankment is linear and, in a particular case, can be described by the formula:

$$S_o = 2,3571 \cdot H + 15. \quad (1)$$

Similar dependencies were revealed for each of the five groups under consideration (Pic. 2).

As a result, the linear dependence of the value of operating settlement of the railway embankment under the influence of the train load on height of the embankment on weak water-logged foundation soils was determined. The obtained graphs can be used in calculating the final value of the settlement of the embankment. Intermediate values are found by linear interpolation.

When designing embankments on a weak base, it is recommended to widen the main site of the

roadbed to allow the track to be lifted onto the ballast after completion of the settlements. To determine the broadening values, the empirical data presented in the article should be used. In addition, it should be noted that the magnitude of broadening of the main site of the roadbed should be influenced only by the value of the operating settlement, while building settlements should be completed by the time the superstructure is laid. The recommended values of the broadening of the main site on weak soils are presented in Table 1, the values are rounded to within 0,1 m.

**Conclusions.** The obtained values of operating settlement and recommended values of broadening of the main site of the roadbed can be used in the development of individual projects of the roadbed of railways on weak water-logged foundation soils. They are quite applicable to determine the empirical relationship between the building and operating settlements, the improvement of calculation methods and the regulatory framework for the design of the roadbed.

## REFERENCES

1. SP 32–104–98. Designing of the roadbed of railway tracks of 1520 mm [SP 32–104–98. *Proektirovanie zemljanogo polotna zheleznyh dorog kolei 1520 mm*].
2. VSN61–89. Research, design and construction of railways in permafrost regions [VSN61–89. *Izyskanija, proektirovanie i stroitel'stvo zheleznyh dorog v rajonah vechnoj merzloty*].

Information about the author:

**Ulanov, Ivan S.** – deputy chief engineer of LLC China Railway Engineering Corporation «Er Yuan», PRC, prov. Sichuan, Chengdu, Moscow branch, Russia, ulanovis@mail.ru.

Article received 18.04.2017, accepted 12.05.2017.

# T

## МОРСКИЕ ПОРТЫ 110

*Резервы роста.*



## МЕТОДИКА РАСЧЁТА 122

*Норматив запасов и контроллинг.*

## ДИВЕРГЕНЦИЯ 128

*Ценность потребителя в цепях поставок.*

Ценность как предельная принятая решение	Рис. 1
Готовые ценности к типу потребностей	Рис. 2
Характер владения ценностью	Рис. 3
Устойчивость восприятия ценности	Рис. 7
Решение о получении ценности	Рис. 8
Форма ценности	Рис. 4
Этапы получения ценности	Рис. 6

### ЭКОНОМИКА • ECONOMICS



## SEA PORTS 110

*Development resources.*

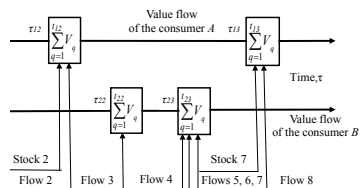
## METHODS OF CALCULATION 122

*Standards of stock and controlling.*



## DIVERGENCE 128

*Value of customer in supply chains.*





# Особенности развития национальных морских портов



Олег СОЛЯКОВ  
Oleg V. SOLIAKOV

Олег ИЗОТОВ  
Oleg A. IZOTOV



Владимир ЯКУНЧИКОВ  
Vladimir V. YAKUNCHIKOV

*Соляков Олег Владимирович – кандидат технических наук, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия. Изотов Олег Альбертович – кандидат технических наук, ИМТМ ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова (Московский филиал), Москва, Россия. Якунчиков Владимир Владимирович – кандидат технических наук, ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова (Московский филиал), Москва, Россия.*

## Features of Development of National Seaports

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 117)

**Рассмотрены проблематика деятельности национальных морских портов и портовой логистики, вопросы интермодальности перевозок. Важным фактором влияния на транспортно-логистические аспекты остаётся несоответствие мировой практике режима и процедур работы пограничных пунктов пропуска и таможи, отсутствие общепринятых за рубежом налоговых и таможенных преференций, включая создание портовых особых экономических зон. Показано, что основой оценки уровня конкурентности на транспорте является переход точки прибыльности из процессов физической перевозки или грузооборота в область транспортно-логистических услуг. Соответственно этому применяются различные системы критериев «привлекательности» морского порта. Предложен интегральный ряд таких показателей – критериев для различных условий, целей и участников транспортного процесса. Среди перспектив развития морских портов Европейской части России авторы особо отмечают вариант комбинации всех четырёх видов транспорта в агломерации одного порта, что может резко повысить его востребованность как межрегионального транспортного узла.**

*Ключевые слова:* экономика, логистика, морские порты, экспорт, грузоперевозки, интермодальность, мировой рынок, конкуренция, зоны пограничного пропуска, таможня.

**П**ортовая деятельность всегда была стратегическим аспектом для экономики любого морского государства. Российские порты ежегодно перерабатывают от 60 до 80 % грузов внешней торговли, и это один из геополитических факторов, обеспечивающих стране экономическое и внешне-торговое развитие [1]. По итогам 2016 года грузооборот отечественных морских портов составил 721,9 млн тонн (рис. 1) и к осени 2017 года он будет продолжать расти, причём объём сухих грузов почти не уступает наливным. Помимо экспортных (79 %), сюда входят каботажные (10 %), транзитные (7 %) и импортные (4 %) перевозки.

Сегодня морское портовое хозяйство России – это более 870 портовых комплексов мощностью около 850 млн тонн, протяжённостью причалов порядка 140 тыс. погонных метров. Технические возможности погрузочно-выгрузочного фронта, оснащённого крановым и другим специальным оборудованием, позволяют обрабатывать около 10 000 вагонов в сутки, складские площади могут обеспечить од-

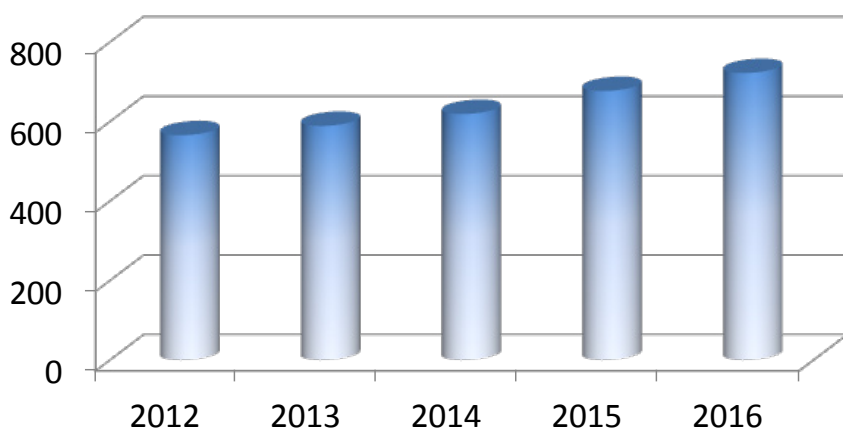


Рис. 1. Грузооборот портов России.

новременное хранение до 15 млн тонн грузов, в морских портах работает свыше 260 стивидорных компаний [2].

### РОСТ ЭКСПОРТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Сложная экономическая ситуация не позволила российским портам в 2015-м нарастить перевалку грузов. Однако в 2016 году положение изменилось, грузооборот вырос на 6,7 %, а контейнерооборот – на 1,4 %.

По данным Ассоциации морских торговых портов на начало осени 2017 года грузооборот российских гаваней на 9 % превысит аналогичный период прошлого года (чуть более 580 млн тонн). В том числе объём перевалки сухих грузов должен достичь 272 млн т (+9,3 %), наливных – превысит 308 млн тонн (+8,8 %).

Несмотря на увеличивающийся объём перевалки импортных грузов по-прежнему основную долю занимает экспорт – примерно 77 % от всего грузопотока, что даже в 1,5 раза выше объёма проходящего через порты транзита [9].

Каковы слагаемые роста? По итогам 2016–2017 сельхозгода российский экспорт зерна составил 35,5 млн тонн, при этом глава Минсельхоза подтвердил прогноз по экспорту в 2017–2018 сельхозгоду на уровне 40 млн тонн, из которых 30 млн – пшеница [11].

Российские порты на Балтике наращивают грузооборот за счёт экспорта угля и импорта стали. Практически все гавани

увеличили грузооборот за 5 месяцев 2017 года на 7 %, до 27,8 млн тонн [10].

Безусловно, положительным моментом является рост отгрузки сжиженного газа. Порт Усть-Луга по итогам января–августа 2017 года нарастил объёмы перевалки сжиженного углеводородного газа (СУГ) на 17 % по сравнению с тем же периодом 2016-го, в то время как черноморский порт Тамань – второй российский порт, через который страна экспортирует СУГ, – теряет грузопоток. Россия увеличивает экспорт СУГ в Европу, где цена этого вида топлива растёт, и сокращает поставки на Украину. А Усть-Луга – более удобная площадка перевалки газа именно в европейском направлении [10].

Спикер региональной конференции клуба «Валдай», проходившей в декабре 2016 года в Сингапуре, старший научный сотрудник национального Университета Сингапура Томоо Кикучи подчеркнул огромный объём импорта жидкого газа из России, сделавший её четвёртой страной по объёму импорта в экономику Японии [12].

### ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Из множества действующих факторов различного уровня и масштаба, геополитического, экономического, природно-климатического и другого характера, представляется целесообразным выделить роль новых и всё более весомых факторов финансово-экономического, нормативно-законодательного и транспортно-логисти-



ческого толка. Рассмотрим влияние на развивающуюся портовую инфраструктуру России наиболее актуальных из них.

Нарастающая глобализация экономики, грядущее развитие всех видов морехозяйственной деятельности, рост объёма потребления ресурсов (углеводородов в первую очередь) приводят к увеличению национального и международного спроса на портовые мощности и береговую инфраструктуру в интересах различных ведомств и не только транспортных. По оценке Международной ассоциации портов и гаваней (IAPH – International Association of Ports and Harbours) кризисные явления в сфере морских перевозок заканчиваются и на первый план выходят тенденции освоения новых грузопотоков, увеличения грузооборота портов и их конкурентоспособности [4].

Следующий фактор – высокий уровень загрузки наземных транспортных коммуникаций, которые уже сейчас не обеспечивают в ряде случаев требуемый уровень пропускной способности морских портов и качество комплексного логистического сервиса. В перспективе эта ситуация будет усугубляться из-за дефицита инфраструктурных ресурсов на прилегающих к портам территориях. Кроме того, этот фактор может сыграть особо сдерживающую роль с учётом особенностей географического положения отечественных портов в отдельно взятых регионах из-за малых глубин, протяжённых подходных каналов, ледовой обстановки и удалённости от основных направлений мировых морских перевозок.

Не менее важны и постоянные изменения динамики и структуры грузопотоков, связанные с рядом экономических факторов, а также с расширением и усложнением рынка транспортных услуг. Это приводит к интеграции всех составляющих элементов транспортного процесса, а с ней и развитию транспортных (портовых в том числе) инфраструктур нового типа – товаротранспортных, товароскладских, товарораспределительных и других комплексов, которые образуют некие транспортно-логистические элементы и транспортно-логистическую систему в целом. Например, по итогам 2016 года грузопоток распределился по бассейнам так: Азовско-Черноморский – 244; Балтийский – 236,6; Даль-

невосточный – 185,5; Арктический – 49,7; Каспийский – 6,1 млн тонн [14].

Новая транспортно-логистическая парадигма, которая рассматривает морской порт уже не как транспортный узел, а как центр или основной элемент транспортно-логистической распределительной системы в составе транспортных (транзитных, мультимодальных и других) коридоров, приводит к реконструкции портовой инфраструктуры и появлению новых понятий и объектов: портов-хабов, портовых кластеров, «сухих» портов, портов логистических центров. И выход на эту стезю может стать весьма существенным преимуществом в развивающейся сфере международных транспортно-логистических связей.

### НЕ ТОЛЬКО ЛОГИСТИКА

Отдельно следует назвать сдерживающие факторы системного характера, которые препятствуют развитию портовой деятельности и снижают её конкурентную способность:

- отсутствие эффективного взаимодействия государства с частным бизнесом в вопросах, касающихся портовой инфраструктуры. В частности, нельзя не упомянуть об обстоятельствах, затрудняющих её развитие, и в первую очередь несогласованность сроков, объёмов и направлений государственных капиталовложений в рамках подпрограмм «Морской транспорт», «Автомобильный транспорт», «Железнодорожный транспорт», а также федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2021 гг.)»;

- отсутствие единой системы операторских компаний, координирующей работу транспортных узлов, что заметно снижает качество услуг морских портов. Так, без оперативного доступа к базе данных ОАО «РЖД» порты лишены возможности предоставлять нужную информацию при переговорах с грузо- и судовладельцами, теряя при этом для клиента деловую и партнёрскую привлекательность;

- необходимость наращивания портовых мощностей в пропорциональной симметрии с провозными и пропускными способностями автомобильных и железнодорожных подходов к портам. Например, после спада 1990-х годов грузооборот даль-



невосточных портов вырос в разы, потому что это обеспечивалось некоторым запасом пропускной способности железных дорог. На современном этапе перспективы роста грузоперевалки попадают в прямую зависимость от отстающих в реализации планов реконструкции своих объектов смежников;

— большая загруженность наиболее динамично развивающегося дальневосточного логистического маршрута. Плотность железнодорожных перевозок в меридианальном направлении на Дальнем Востоке находится почти на пределе, что подтверждается экспертами [11];

— несоответствие мировой практике режима и процедур работы пограничных пунктов пропуска, таможни, отсутствие общепринятых за рубежом налоговых и таможенных преференций, в том числе для создания портовых особых экономических зон.

Увеличению грузооборота портов мешают и другие сложности, например, антимонопольное регулирование стивидорной деятельности и все неудобства, связанные с пребыванием операторов морских терминалов в реестре субъектов естественных монополий.

И, наконец, следует отметить столь серьёзный фактор государственного влияния на все аспекты деятельности и развития портовой инфраструктуры, как состояние, количественный и качественный состав отечественного транспортного флота. Прямо пропорциональная зависимость флота и портов, которые не могут развиваться раздельно, заставляет нас рассмотреть этот фактор подробнее.

## **КРИТЕРИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ**

Рост глобализации мировой экономики и внешнеэкономических связей России приводит к увеличению числа участников транспортно-логистических процессов и в итоге к возрастанию роли и значения их конкурентоспособности.

Под конкурентной способностью в рассматриваемом контексте понимается прежде всего увеличение портовых мощностей и объёмов перевалки грузов, повышение качества оказываемых услуг, снижение удельной стоимости перевалки тонны груза и стоимости судозаходов в отечествен-

ных портах. Ещё следует отметить, что в специальных исследованиях, научных источниках и общемировой практике до настоящего времени не выработано единых принципов, подходов и универсальной методики оценки конкурентоспособности морских портов [6]. Однако основой такой оценки на транспорте является переход точки прибыльности из процессов физической перевозки или грузооборота в область транспортно-логистических услуг. Для этой цели применяются различные системы критериев «привлекательности» порта, используются не единичные показатели неких производственно-трудовых усилий, а «сбалансированный» набор показателей деятельности порта в различных плоскостях, позволяющий контролировать факторы, влияющие на эти показатели, а не просто отслеживать результаты. И такой просчитанный по научным методикам интегральный оценочный ряд может оказаться немалым (10–20 позиций).

Рассматриваемая система показателей призвана, между тем, облегчить трудно решаемую грузоотправителем задачу «цена-качество-время», поскольку одно, как правило, делается в ущерб другому. При оптимально выбранном варианте морской порт получает возможность более гибко учитывать интересы грузоотправителей, увеличивать предлагаемый выбор решений и лучше использовать свои конкурентные преимущества в соответствии с действующими реалиями на рынке транспортно-логистических услуг.

Для морских портов в зависимости от множества внешних и внутренних факторов перечень показателей конкурентоспособности может быть различным. В качестве частного примера [7] таблица 1 даёт возможный перечень критериев привлекательности, реально воздействующий, по нашему мнению, на грузоотправителя при принятии решения о выборе порта.

При решении стратегических задач обычно принимаются заданные показатели (критерии) конкурентоспособности. Так, в стратегии развития морской портовой инфраструктуры России (основной разработчик «Росморпорт») заданы следующие базовые показатели конкурентоспособности отечественных портов на рассматриваемую перспективу до 2030 года:



## Критерии привлекательности в оценке морского порта

Перечень критериев	Важность критерия (по убыванию)	Вес критерия в %
Конечная точка доставки груза	1	90
Эффективность перегрузочных мощностей	2	88
Возможность экономии на операционных расходах	3	84
Частота работы судов на линиях	4	80
Эффективность прохождения формальностей	5	76
Местоположение порта	6	74
Затраты на портовые сборы	7	70
Общее количество причалов и глубины	8	66
Разнообразиие услуг	9	60
Удобство наземной транспортировки	10	58
Площадь сортировочных станций	11	54
Капитальные вложения в терминалы и специальные комплексы	12	52
Качество услуг	13	50
Возможность координации совместной работы судов	14	48
Наличие льгот порта отправления	15	42

— соотношение бюджетных и внебюджетных источников в инвестициях в терминалы и портовую инфраструктуру, руб. — 1:2,5;

— доля российских внешнеторговых грузов, перерабатываемых в портах сопредельных государств (Украина, страны Балтии), в общем объёме грузов, перерабатываемых в портах России и сопредельных государств: в начальном периоде — 5–10 %, в завершающем периоде — 4–5 %;

— повышение эффективности использования различных перегрузочных комплексов морских портов до уровня 75–80 %.

Морские отечественные порты на всех бассейнах сегодня испытывают мощное конкурентное давление со стороны морских портов сопредельных государств, особенно тех, через территории которых проходят транспортные интермодальные коридоры.

Российские порты построены в основном в 60-х годах прошлого столетия и сегодня многие из них не отвечают в полной мере современным стандартам гарантированных глубин подходных каналов, акваторий, рейдов и причалов. Проблема повышения конкурентоспособности кроется ещё и в проливных зонах Балтийского и Чёрного морей, по которым проходят наиболее интенсивные грузопотоки в крупнейшие морские порты страны. Прямым выходом в океан обладают лишь северные порты (из них незамерзающий лишь Мурманск) и порты Дальневосточного бассей-

на, в связи с чем иногда требуется диверсификация маршрутов.

К техническим причинам низкой конкурентоспособности отечественных портов можно смело отнести устаревшее подъёмно-транспортное оборудование. Например, в портовых инфраструктурах числится 6–7 тысяч порталных кранов, из которых 90 % исчерпали свой ресурс, ежегодно на замену мы покупаем около 20 новых кранов импортного производства.

Отстают отечественные порты также в освоении контейнерного грузопотока — наиболее прогрессивной формы мировой торговли с широким ассортиментом «грузотоваров». Опыт показывает, что укрупнение «грузовых единиц» и внедрение контейнерной, пакетной, ролкерной технологий снижает транспортные издержки до 47 %.

Однако наиболее существенным недостатком отечественных портов является слабая логистическая инфраструктура железнодорожных и автомобильных подъездов к ним, отставание в наращивании пропускной способности наземных транспортных коммуникаций от пропускной способности портов.

Снижение конкурентоспособности происходит также из-за пробелов в законодательной базе по профильной портовой деятельности, по территориальным и имущественным отношениям. Большинство российских портов располагают-



ся в черте города, и поэтому ограничены или лишены перспектив дальнейшего развития.

К этому можно добавить отсутствие продуманной, научно обоснованной, приспособленной к рынку портовых услуг тарифной политики, обеспечивающей не высокую (и не конкурентную) плату, а высокую собираемость плат и сборов за широкий комплекс услуг. Структура портовых сборов как существенный фактор конкурентоспособности в финансовой сфере призвана отражать состояние рынка портовых услуг, быть гибкой, чтобы учитывать местные условия. Судоводные компании, оплачивающие портовые сборы, должны иметь возможность пересмотра неправомерных действий, что в итоге позволяет переключить грузопотоки с соседних портов, в том числе сопредельных государств, на отечественные конкурентоспособные порты.

### ПОРТ «ТРЕТЬЕГО» ПОКОЛЕНИЯ

Интересным решением может стать комбинация всех четырёх видов транспорта в агломерации одного порта, чтобы резко повысить его востребованность как транспортного узла у многих компаний.

Генеральный директор мультимодального комплекса «Усть-Луга» Михаил Ерофеев заявил сравнительно недавно [13], что стране нужны порты третьего поколения: «идея в том, чтобы создать полноценный мультимодальный хаб. Что такое «полноценный»? Морской порт есть, железнодорожная магистраль и железнодорожный узел крупный есть, федеральная автодорога подведена, не хватает воздуха, чтобы в одном месте сошлись четыре вида транспорта. Это уникальная ситуация. Наш аэропорт будет первым специализированным грузовым аэропортом в стране».

В прошлом году, как рассказал М. Ерофеев, 330 тысяч тонн авиационных грузов предназначалось для Северо-Западного федерального округа. Из них только 30 тысяч проходит через аэропорт Пулково, а 300 тысяч идут мимо. Через Хельсинки, Прибалтику, даже Франкфурт, Москву. Если мы сумеем переориентировать авиагрузы в выгодном для нас направлении, это будет очень большой прорыв. Потом возникнут всевозможные экспресс-почты, DHL, EMS, операторы интернет-торговли и так далее — все они тоже заинтересованы в этой площадке. И, конечно же, крайне заинтересованы в грузовом аэропорте опе-



раторы и логисты, которые смогут использовать мультимодальные возможности Усть-Луи для оптимизации своих бизнес-процессов.

Столь привлекательная комбинация не такая уж фантазия. У неё, надо полагать, вполне реальная и близкая по времени перспектива. Главное – чтобы работали стимулы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие транспортной системы страны, в том числе её опорных точек – морских портов, всегда будет необходимым условием реализации инновационной модели экономического роста Российской Федерации. Учитывая сложность и научную ёмкость программ модернизации транспортного комплекса и долгосрочных целей стратегии морского транспорта, ведомственными штабами предусматривается значительная поддержка отраслевого образования и науки. Требуется создание современной системы подготовки кадров для портовой отрасли, установление партнёрских и договорных отношений портов с вузами и колледжами, а в русле этого и тактика поэтапной интеграции отраслевых рыночных интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кириченко А. В., Изотов О. А., Соляков О. В. Внешнеторговые операции и их транспортное обеспечение: Учебное пособие. – СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. – 420 с.
2. Грузооборот морских портов России. Ассоциация морских портов России. [Электронный ресурс]: <http://www.morport.com/rus/news/document1926.shtml>. Доступ 28.08.2017.
3. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года (одобрена Морской коллегией при Правительстве РФ 28.09.2012). [Электронный ресурс]: <http://www.rosmorport.ru/media/File/strategy.pdf>. Доступ 28.08.2017.
4. Международная ассоциация портов и гаваней (IAPH – International Association of Ports and Harbours). [Электронный ресурс]: <http://www.iaphworldports.org/data-base-of-iaph-member-ports-financial-issues>. Доступ 28.08.2017.
5. Кириченко А. В., Изотов О. А., Соляков О. В. Морские порты России: современное состояние и перспективы развития. – М.: Моркнига, 2014. – 321 с.
6. Фисенко А. И., Кулешова Е. А. Конкуренентоспособность морских портов Дальнего Востока и пробле-

мы формирования их грузовой базы // Транспортное дело России. – 2012. – № 5. – С. 189–192.

7. Троицкая Н. А. Транспортные коридоры России для международного сообщения. – М.: АСМАП, 2000. – 174 с.

8. Козлов Л. Н., Казанцев Е. Д. Евразийское экономическое сотрудничество: сотрудничество, интеграция и развитие – транспортно-логистическая составляющая. Таллинн, 16 сентября 2010 года [Электронный ресурс]: <https://refdb.ru/look/2393655.html>. Доступ 28.08.2017.

9. Обзор грузооборота морских портов России (январь–август 2017 г.). Информационное агентство Партнёр.ру [Электронный ресурс]: <http://www.rzd-partner.ru/wate-transport/reviews/obzor-gruzooborotamorskikh-portov-rossii-yanvar-avgust-2017>. Доступ 28.08.2017.

10. Россия разгружает Прибалтику. Терминал Бронка пытается оттянуть на себя грузы из портов стран Балтии. Информационное агентство DP.ru [Электронный ресурс]: [https://www.dp.ru/a/2017/08/18/Rossija\\_razgruzhaet\\_Pribalt](https://www.dp.ru/a/2017/08/18/Rossija_razgruzhaet_Pribalt). Доступ 28.08.2017.

11. Росморречфлот: грузооборот морских портов РФ в I полугодии вырос на 11,3%, до 384 млн т. Информационное агентство ТАСС [Электронный ресурс]: <http://tass.ru/transport/4406794>. Доступ 28.08.2017.

12. Экспортный потенциал России и развитие экономических связей со странами Азии. Сессия 4. Международный дискуссионный клуб «Валдай» [Электронный ресурс]: <http://ru.valdaiclub.com/events/posts/articles/eksportnyy-potentsial-rossii-sessiya-4/>. Доступ 28.08.2017.

13. Зачем России порт третьего поколения. Информационное агентство «Эксперт» [Электронный ресурс]: <http://expert.ru/expert/2016/45/zachem-rossii-port-tretego-pokoleniya/>. Доступ 28.08.2017.

14. Порты сошли с мели. Аналитическое исследование. Фонтанка.ру [Электронный ресурс]: <http://www.fontanka.ru/longreads/seaports/>. Доступ 28.08.2017.

15. Russian wheat export prices flat as exports stay at record high [Электронный ресурс]: <http://www.hellenicshippingnews.com/russian-wheat-export-prices-flat-as-exports-stay-at-record-high/>. Доступ 28.08.2017.

16. Russia to begin all-weather LNG shipping via Northern Sea Route [Электронный ресурс]: <http://freightweek.org/index.php/corporate-news-2/2576-russia-to-begin-all-weather-lng-shipping-via-northern-sea-route>. Доступ 28.08.2017.

17. Russia – Rail [Электронный ресурс]: <https://www.export.gov/article?id=Russia-Rail>. Доступ 28.08.2017.

18. Russian tanker sails through Arctic without icebreaker for first time [Электронный ресурс]: <https://www.theguardian.com/environment/2017/aug/24/russian-tanker-sails-arctic-without-icebreaker-first-time>. Доступ 28.08.2017.

19. Russian northwest ports and terminals battle for cargo [Электронный ресурс]: [https://www.joc.com/port-news/terminal-operators/russian-northwest-ports-and-terminals-battle-cargo\\_20170623.html](https://www.joc.com/port-news/terminal-operators/russian-northwest-ports-and-terminals-battle-cargo_20170623.html). Доступ 28.08.2017.

20. Maritime ports freight and passenger statistics [Электронный ресурс]: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Maritime\\_ports\\_freight\\_and\\_passenger\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Maritime_ports_freight_and_passenger_statistics). Доступ 28.08.2017. ●

Координаты авторов: **Соляков О. В.** – [solyakov1@yandex.ru](mailto:solyakov1@yandex.ru), **Изотов О. А.** – [iztv65@rambler.ru](mailto:iztv65@rambler.ru), **Якунчиков В. В.** – [yv1969@mail.ru](mailto:yv1969@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 11.07.2017, принята к публикации 31.08.2017.

## FEATURES OF DEVELOPMENT OF NATIONAL SEAPORTS

**Soliakov, Oleg V.**, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

**Izotov, Oleg A.**, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (Moscow branch), Moscow, Russia.

**Yakunchikov, Vladimir, V.**, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (Moscow branch), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

The problems of the activities of national seaports and port logistics, issues of intermodality of transportation are considered. The discrepancy between the world practice of the regime and the procedures of operation of border checkpoints and customs, the absence of generally accepted tax and customs preferences abroad, including the creation of port special economic zones, continues to considerably influence transport and logistics business activities. It is shown that the basis for assessing the level of competitiveness in transport is the transition of the profitability point from the

processes of physical transportation or cargo turnover to the area of transport and logistics services. Accordingly, various systems of criteria for the «attractiveness» of the seaport are applied. An integral row of such indicators-criteria for various conditions, goals and participants in the transport process is proposed. Among the prospects for development of seaports in the European part of Russia, the authors emphasize the option of combining all four modes of transport in the agglomeration of one port, which can dramatically increase its demand as an inter-regional transport hub.

*Keywords:* economy, logistics, seaports, export, cargo transportation, intermodality, world market, competition, border checkpoints, customs.

**Background.** Port activity has always been a strategic aspect for the economy of any maritime state. Russian ports annually process between 60 % and 80 % of foreign trade cargoes, and this is one of the geopolitical factors that ensure the country's economic and foreign trade development [1]. As a result of 2016, cargo turnover of domestic seaports amounted to 721,9 million tons (Pic. 1) and by autumn of 2017 it will continue to grow, with the volume of dry cargo almost inferior to bulk cargo. In addition to export (79 %), this includes cabotage (10 %), transit (7 %) and import (4 %) transportation.

Today the seaport economy of Russia is more than 870 port complexes with the capacity of about 850 million tons, the length of berths is about 140 thousand running meters. The technical loading and unloading facilities, equipped with crane and other special equipment, allow to handle about 10000 cars per day, storage areas can provide for simultaneous storage of up to 15 million tons of cargo, in seaports there are over 260 stevedoring companies [2].

**Objective.** The objective of the authors is to consider features of development of Russian seaports.

**Methods.** The authors use general scientific methods, comparative analysis, graph construction, economic assessment.

### Results.

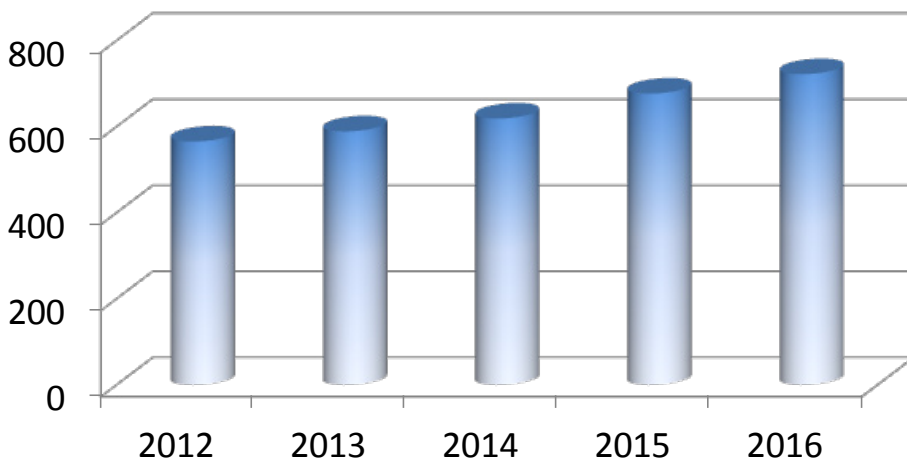
#### Growth of export components

The difficult economic situation did not allow Russian ports to increase transshipment of cargoes in 2015. However, in 2016 the situation changed, cargo turnover increased by 6,7 %, and container turnover – by 1,4 %.

According to the Association of Sea Trade Ports at the beginning of autumn of 2017, cargo turnover of Russian harbors will exceed by 9 % the same period of last year (slightly more than 580 million tons). In particular, the volume of dry cargo transshipment shall reach 272 million tons (+9,3 %), liquid bulk – transshipment will exceed 308 million tons (+8,8 %).

Despite the increasing volume of transshipment of imported goods, exports continue to occupy the main share – about 77 % of the total freight traffic, which is even 1,5 times higher than the volume of transit through transit ports [9].

What are the components of growth? According to the results of 2016–2017 agricultural year, Russian



Pic. 1. Cargo turnover of Russian ports.



grain exports amounted to 35,5 million tons, while the head of the Ministry of Agriculture confirmed the forecast for exports in 2017–2018 agricultural year at 40 million tons, of which 30 million – wheat [11].

Russian ports in the Baltic Sea are increasing their cargo turnover by exporting coal and importing steel. Virtually all harbors increased cargo turnover for 5 months of 2017 by 7 %, to 27,8 million tons [10].

Of course, a positive moment is the growth of shipment of liquefied gas. The port of Ust-Luga in January–August 2017 increased the volume of transshipment of liquefied hydrocarbon gas (LHG) by 17 % compared with the same period in 2016, while the Black Sea port of Taman is the second Russian port through which the country exports LHG, – loses the freight flow. Russia is increasing exports of LHG to Europe, where the price of this type of fuel is growing, and reduces supplies to the Ukraine. And Ust-Luga is a more convenient platform for transshipment of gas in the European direction [10].

Speaker of the regional conference of the Valdai Club, held in Singapore in December 2016, Tomo Kikutu, Senior Researcher at the National University of Singapore, highlighted the huge volume of imports of liquid gas from Russia, which made it the fourth country in terms of imports to the Japanese economy [12].

#### **Factors of infrastructure development**

Of the many factors at different levels and scales, geopolitical, economic, natural and climatic and other, it seems appropriate to single out the role of new and increasingly weighty factors of financial, economic, regulatory, legislative and transport-logistic perspectives. Let's consider the impact of the most relevant of them on the developing port infrastructure of Russia.

The growing globalization of the economy, the forthcoming development of all types of marine activities, the growth in the volume of consumption of resources (hydrocarbons in the first place) lead to an increase in national and international demand for port capacities and coastal infrastructure in the interests of various departments and not only transport. According to the International Association of Ports and Harbors (IAPH), the crisis phenomena in the sphere of sea transportation are coming to an end and the trends of development of new cargo flows, increase of freight turnover of ports and their competitiveness come to the fore [4].

The next factor is a high level of loading of land transport communications, which already do not provide in some cases the required level of seaport capacity and the quality of complex logistics services. In the long term, this situation will be exacerbated by the shortage of infrastructure resources on the territories adjacent to the ports. In addition, this factor can play a particularly restraining role, taking into account the peculiarities of the geographical location of domestic ports in individual regions because of shallow depths, extended approach channels, ice conditions and remoteness from the main directions of world maritime transportation.

Equally important is the constant change in the dynamics and structure of freight flows associated with a number of economic factors, as well as with the expansion and complexity of the transport services market, which leads to the integration of all components of the transport process, and with it the development of transport (port infrastructure) of a new type – commodity-transport, commodity-warehouse, commodity distribution and other

complexes, which form certain transport-logistic elements and the transport and logistics system as a whole. For example, following the results of 2016 the cargo flow was distributed along the basins as follows: Azov-Black Sea – 244; Baltic – 236,6; The Far East – 185,5; Arctic – 49,7; Caspian – 6,1 mln tons [14].

The new transport and logistics paradigm, which considers a seaport not as a transport node, but as a center or a main element of the transport and logistics distribution system as a part of transport (transit, multimodal and other) corridors, leads to reconstruction of the port infrastructure and emergence of new concepts and objects: ports-hubs, port clusters, dryports, ports of logistics centers. And an exit on this path can become a very significant advantage in the developing sphere of international transport and logistics relations.

#### **Not only logistics**

It is necessary to particularly name constraining factors of system character which interfere with development of port activity and reduce its competitive ability:

- lack of effective interaction of the state with private business in matters concerning port infrastructure. In particular, we should mention the circumstances that hamper its development, and first of all the inconsistency of the terms, volumes and directions of state investments within the subprograms «Maritime transport», «Road transport», «Railway transport», and the Federal target program «Development of transport system of Russia (2010–2021)»;

- lack of a single system of operator companies that coordinates the work of transport nodes, which significantly reduces the quality of seaport services. So, without operative access to the database of JSC Russian Railways, the ports are deprived of the opportunity to provide necessary information during negotiations with cargo and ship-owners, while losing business and partner attractiveness for clients;

- need to increase port capacity in proportional symmetry with the carrying capacity and throughput of road and rail approaches to ports. For example, after the fall of the 1990s, the cargo turnover from the Far Eastern ports increased many-fold, because this was ensured by a certain margin of the capacity of the railways. At the present stage, the growth prospects of cargo transshipment are directly dependent on the lagging behind in the implementation of reconstruction plans for their subcontractors;

- high loading of the most dynamically developing Far Eastern logistics route. The density of railway traffic in the meridional direction in the Far East is almost at the limit, which is confirmed by experts [11].

- discrepancy between the world practice of the regime and the procedures for operation of border checkpoints, customs, the lack of generally accepted tax and customs preferences abroad, including creation of port special economic zones.

The increase in cargo turnover of ports is hampered by other difficulties, for example, antimonopoly regulation of stevedoring activities and all the inconveniences associated with the fact that sea terminal operators are enlisted in the register of natural monopoly subjects.

And, finally, we should note such a serious factor of state influence on all aspects of the activities and development of port infrastructure, as a condition, the quantitative and qualitative composition of the domestic transport fleet. The directly proportional dependence of the fleet and ports, which cannot

Table 1

## Criteria of attractiveness in the assessment of the seaport

The list of criteria	The importance of the criterion (in descending order)	The weight of the criterion in %
Cargo delivery end point	1	90
Efficiency of handling capacities	2	88
Possibility of saving on operating expenses	3	84
Frequency of work of vessels on lines	4	80
Efficiency of passage of formalities	5	76
Port location	6	74
Costs for port charges	7	70
Total number of berths and depth	8	66
Variety of services	9	60
Convenience of land transportation	10	58
Area of marshalling yards	11	54
Capital investments in terminals and special complexes	12	52
Quality of services	13	50
Possibility of coordinating the joint work of ships	14	48
Availability of departure port benefits	15	42

develop separately, makes us consider this factor in more detail.

#### Competitiveness criteria

The growth of globalization of the world economy and foreign trade relations of Russia leads to an increase in the number of participants in transport and logistics processes and, ultimately, to an increase in the role and importance of their competitiveness.

The competitive capacity in the context under consideration means, first of all, the increase of port capacities and cargo transshipment volumes, the improvement of the quality of rendered services, the reduction of the unit cost of transshipment of a ton of cargo and the cost of ship calls in domestic ports. It should also be noted that in the special studies, scientific sources and worldwide practice to date, there are no common principles, approaches and a universal methodology for assessing the competitiveness of seaports [6]. However, the basis of such an assessment in transport is the transition of the profitability point from the processes of physical transportation or cargo turnover to the area of transport and logistics services. For this purpose, various port «attractiveness» criteria systems are used, not single indicators of some production and labor efforts are used, but a «balanced» set of port performance indicators in various planes, allowing to control the factors influencing these indicators, and not just to track the results. And such an integral evaluation row calculated by scientific methods can turn out to be considerable (10–20 positions).

The system of indicators under consideration, meanwhile, is designed to alleviate the problem of «price-quality-time» that is difficult to be solved, since one, as a rule, is done to the detriment of another. With the optimal option, the seaport will be able to more flexibly take into account the interests of shippers, increase the proposed choice of solutions and better use their competitive advantages in accordance with the current realities in the market of transport and logistics services.

For seaports, depending on many external and internal factors, the list of competitiveness

indicators may vary. As a particular example [7], Table 1 provides a possible list of criteria for attractiveness, which, in our opinion, really affects the shipper when deciding on the choice of the port.

In the process of solving strategic problems the set parameters (criteria) of competitiveness are usually accepted. So, in the strategy of development of the sea port infrastructure of Russia (the main developer of «Rosmorport») the following basic indicators of the competitiveness of domestic ports are given for the perspective prospect up to 2030:

- ratio of budgetary and extra budgetary sources in investments in terminals and port infrastructure, rubles – 1:2,5;

- share of Russian foreign trade cargo handled at the ports of neighboring countries (the Ukraine, the Baltic countries), in the total volume of cargo handled at the ports of Russia and neighboring countries in the initial period – 5–10 %, in the final period – 4–5 %;

- increase in the use of various reloading complexes of seaports to a level of 75–80 %.

Sea domestic ports in all basins today are experiencing a powerful competitive pressure from the seaports of neighboring countries, especially those through which the transport intermodal corridors pass.

Russian ports were built mainly in the 60s of the last century and today many of them do not fully meet modern standards of guaranteed depths of approach channels, water areas, raids and berths. The problem of increasing competitiveness lies also in the strait zones of the Baltic and Black Seas, through which the most intensive cargo flows pass to the country's largest seaports, only the freezing northern ports (of which Murmansk port only is not a freezing one) and ports of the Far Eastern Basin have direct access to the ocean, in connection with which, diversification of routes is sometimes required.

To technical reasons of low competitiveness of domestic ports, one can safely attribute the obsolete transport equipment. For example, in port infrastructure there are 6–7 thousand gantry cranes, of which 90 % have exhausted their





resources, annually for replacement we purchase about 20 new cranes of imported production.

Domestic ports are also lagging behind in the development of container cargo flow – the most progressive form of world trade with a wide range of «goods». Experience shows that the enlargement of «cargo units» and the introduction of container, package, and ro-ro technology reduce transport costs to 47%.

However, the most significant drawback of domestic ports is the weak logistics infrastructure of rail and road access to them, a lag in increasing the capacity of land transport communications from the capacity of ports.

The decrease in competitiveness is also due to gaps in the legislative framework for port activities, territorial and property relations. Most of the Russian ports are located in the city, and therefore are limited or deprived of the prospects for further development.

To this can be added the lack of a well-thought-out, scientifically grounded, tariff-oriented tariff policy that provides not high (and not competitive) fees, but a high collection of fees and charges for a wide range of services. The structure of port charges as an essential factor of financial competitiveness is intended to reflect the state of the market of port services, to be flexible in order to take into account local conditions. Shipping companies that pay port fees should have the opportunity to review illegal actions, which in the end allows you to switch cargo flows from neighboring ports, including neighboring countries, to domestic competitive ports.

#### **Port of the «third» generation**

An interesting solution may be a combination of all four modes of transport in the agglomeration of a single port to dramatically increase its demand as a transport node for many companies.

Mikhail Erofeev, the general director of the Ust-Luga multimodal complex, said relatively recently [13] that the country needs third-generation ports: «The idea is to create a full multimodal hub. What is «full»? There is a seaport, a railway and a railway junction are large, the federal highway has been put in, there is not enough air to bring together four types of transport in one place. This is a unique situation. Our airport will be the first specialized cargo airport in the country».

Last year, the general director said, 330 thousand tons of aviation cargo was destined for the North-West Federal District. Of these, only 30 000 pass through Pulkovo airport, and 300 000 go by through Helsinki, the Baltic states, even Frankfurt, Moscow. If we manage to re-orient air cargo in a direction that is advantageous for us, it will be a very big breakthrough. Then there will be all kinds of express mail, DHL, EMS, operators of Internet trading and so on – all of them are also interested in this site. And, of course, operators and logisticians who are able to use Ust-Luga's multimodal capabilities to optimize their business processes are extremely interested in cargo airport.

Such an attractive combination is not such a fantasy. It, it must be assumed, is a very real and close-in-time prospect. The main thing is that incentives work.

**Conclusion.** The development of the country's transport system, including its anchor points – seaports, will always be a prerequisite for the implementation of an innovative model of the Russian Federation's economic growth. Taking into account the complexity and scientific capacity of the modernization programs of the transport complex and the long-term goals of the sea transport strategy, the sector public administration provides for considerable support for sectoral



education and science. It requires the creation of a modern system of training personnel for the port industry, the establishment of partnership and contractual relations of ports with universities and colleges, and in line with this, and the tactics of step-by-step integration of sectoral market interests.

## REFERENCES

1. Kirichenko, A. V., Izotov, O. A., Solyakov, O. V. Foreign trade operations and their transport support: a study guide [Vneshnetorgovye operacii i ih transportnoe obespechenie: uchebnoe posobie]. St. Petersburg, GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2013, 420 p.
2. Cargo turnover of Russian seaports. Association of Russian seaports [Gruzooborot morskikh portov Rossii. Associacija morskikh portov Rossii]. [Electronic resource]: <http://www.morport.com/eng/news/document1926.shtml>. Last accessed 28.08.2017.
3. Strategy of development of the sea port infrastructure of Russia until 2030 (approved by the Maritime Board under the Government of the Russian Federation on 28.09.2012). [Strategija razvitiya morskoy portovoj infrastruktury Rossii do 2030 goda (odobrena Morskoj kolleziej pri Pravitel'stve RF 28.09.2012)]. [Electronic resource]: <http://www.rosmorport.ru/media/File/strategy.pdf>. Last accessed 28.08.2017.
4. International Association of Ports and Harbors (IAPH). [Electronic resource]: <http://www.iaphworldports.org/data-base-of-iaph-member-ports-financial-issues>. Last accessed 28.08.2017.
5. Kirichenko, A. V., Izotov, O. A., Solyakov, O. V. Russia's seaports: the current state and development prospects [Morskije porty Rossii: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya]. Moscow, Morkniga publ., 2014, 321 p.
6. Fisenko, A. I., Kuleshova, E. A. Competitiveness of the Far East's seaports and problems of forming their cargo base [Konkurentosposobnost' morskikh portov Dal'nego Vostoka i problemy formirovaniya ih gruzovoj bazy]. Transportnoe delo Rossii, 2012, Iss. 5, pp. 189–192.
7. Troitskaya, N. A. Transport corridors of Russia for international communication [Transportnye koridory Rossii dlja mezhdunarodnogo soobshhenija]. Moscow, ASMAP publ., 2000, 174 p.
8. Kozlov, L. N., Kazantsev, E. D. Eurasian economic space: cooperation, integration and development – transport and logistics component. Tallinn, September 16, 2010 [Evrazijskoe ekonomicheskoe prostranstvo: sotrudnichestvo, integracija i razvitie – transportno-logicheskaja sostavljajushhaja. Tallinn, 16 sentjabrja 2010 goda]. [Electronic resource]: <https://refdb.ru/look/2393655.html>. Last accessed 28.08.2017.
9. Review of cargo turnover of Russian seaports (January–August 2017). Information agency Partner. RU [Obzor gruzooborota morskikh portov Rossii (janvar'–avgust 2017 g.). Informacionnoe agentstvo Partner.ru]. [Electronic resource]: <http://www.rzd-partner.ru/wate-transport/reviews/obzor-gruzooborota-morskikh-portov-rossii-yanvar-avgust-2017>. Last accessed 28.08.2017.
10. Russia is unloading the Baltic states. Terminal Bronka is trying to pull the cargo from the ports of the Baltic States. Information agency DP.ru [Rossija razgruzhaet Pribaltiku. Terminal Bronka pytaetsja otjanut' na sebja gruzy iz portov stran Baltii. Informacionnoe agentstvo DP.ru]. [Electronic resource]: [https://www.dp.ru/a/2017/08/18/Rossija\\_razgruzhaet\\_Pribalt](https://www.dp.ru/a/2017/08/18/Rossija_razgruzhaet_Pribalt). Last accessed 28.08.2017.
11. Rosmorrechflot: cargo turnover of Russian sea ports in the first half of the year increased by 11,3 %, to 384 million tons. Information Agency TASS [Rosmorrechflot: gruzooborot morskikh portov RF v I polugodii vyros na 11,3 %, do 384 mln t. Informacionnoe agentstvo TASS]. [Electronic resource]: <http://tass.ru/transport/4406794>. Last accessed 28.08.2017.
12. Russia's export potential and development of economic ties with Asian countries. Session 4. International Discussion Club Valdai [Eksportnyj potencial Rossii i razvitie ekonomicheskikh svyazej so stranami Azii. Sessija 4. Mezhdunarodnyj diskussionnyj klub Valdaj]. [Electronic resource]: <http://www.valdaiclub.com/events/posts/articles/eksportnyj-potencial-rossii-sessiya-4/>. Last accessed 28.08.2017.
13. What for is the third generation port for Russia? Information Agency EXPERT [Zachem Rossii port tret'ego pokolenija Informacionnoe agentstvo EKSPERT]. [Electronic resource]: <http://expert.ru/expert/2016/45/zachem-rossii-port-tretego-pokoleniya/>. Last accessed 28.08.2017.
14. Ports have come down from the shallows. Analytical study. Fontanka.ru [Porty soshli s meli. Analiticheskoe issledovanie. Fontanka.ru]. [Electronic resource]: <http://www.fontanka.ru/longreads/seaports/>. Last accessed 28.08.2017.
15. Russian wheat export prices flat as exports stay at record high. [Electronic resource]: <http://www.hellenicshippingnews.com/russian-wheat-export-prices-flat-as-exports-stay-at-record-high/>. Last accessed 28.08.2017.
16. Russia to begin all-weather LNG shipping via Northern Sea Route. [Electronic resource]: <http://freightweek.org/index.php/corporate-news-2/2576-russia-to-begin-all-weather-lng-shipping-via-northern-sea-route>. Last accessed 28.08.2017.
17. Russia – Rail. [Electronic resource]: <https://www.export.gov/article?id=Russia-Rail>. Last accessed 28.08.2017.
18. Russian tanker sails through Arctic without icebreaker for first time. [Electronic resource]: <https://www.theguardian.com/environment/2017/aug/24/russian-tanker-sails-arctic-without-icebreaker-first-time>. Last accessed 28.08.2017.
19. Russian northwest ports and terminals battle for cargo. [Electronic resource]: [https://www.joc.com/port-news/terminal-operators/russian-northwest-ports-and-terminals-battle-cargo\\_20170623.html](https://www.joc.com/port-news/terminal-operators/russian-northwest-ports-and-terminals-battle-cargo_20170623.html). Last accessed 28.08.2017.
20. Maritime ports freight and passenger statistics. [Electronic resource]: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Maritime\\_ports\\_freight\\_and\\_passenger\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Maritime_ports_freight_and_passenger_statistics). Last accessed 28.08.2017. ●

Information about the authors:

**Soliakov, Oleg V.** – Ph.D. (Eng), Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, [solyakov1@yandex.ru](mailto:solyakov1@yandex.ru).

**Izotov, Oleg A.** – Ph.D. (Eng), associate professor, deputy head of IMTM of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (Moscow branch), Moscow, Russia, [iztv65@rambler.ru](mailto:iztv65@rambler.ru).

**Yakunchikov, Vladimir V.** – Ph.D. (Eng), associate professor, dean of the faculty of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping (Moscow branch), Moscow, Russia, [yv1969@mail.ru](mailto:yv1969@mail.ru).

Article received 11.07.2017, accepted 31.08.2017.





# О совершенствовании планирования запасов материально-технических ресурсов



Александр ВАЛЕНТЕЙЧИК  
Alexander G. VALENTEICHIK

Владимир БЕЛКОНСКИЙ  
Vladimir V. BELKONSKY



*Валентейчик Александр Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры экономики и логистики на транспорте Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия.*

*Белконский Владимир Владимирович – аспирант кафедры экономики и логистики на транспорте Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия.*

## On Improvement of Planning of Stocks of Material and Technical Resources

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 126)

**Актуальность статьи обосновывается необходимостью углубленных теоретико-прикладных исследований, связанных с созданием комплексной системы планирования и контроллинга ресурсов, совершенствованием материально-технического снабжения предприятий железных дорог. Объектом и областью исследования является подсистема материально-технического снабжения на полигоне Куйбышевской железной дороги в системе экономического менеджмента ОАО «РЖД». При этом демонстрируется улучшенная методика расчёта норматива производственных запасов, которая исключает необоснованные децентрализованные закупки, снижает содержание запасов материально-технических ресурсов, эксплуатационные расходы на сопутствующие поставки товарно-материальных ценностей, а также эксплуатационные, амортизационные и налоговые расходы региональных отделов Самарской дирекции материально-технического обеспечения.**

*Ключевые слова:* железная дорога, материально-техническое снабжение, планирование, методика расчёта норматива производственных запасов, внутриотраслевые резервы, лимиты расходов, экономическая эффективность.

**Ц**ель системы материально-технического снабжения предприятия заключается в своевременном и полном удовлетворении потребности его подразделений в достижении экономической устойчивости, стабильном функционировании экономических и производственных процессов [1].

Для обеспечения бесперебойной работы железных дорог в отдельных хозяйствах (пути, электрификации, локомотивном и пр.) создаются аварийно-восстановительные запасы. Департаменты ОАО «РЖД» с учётом специфики деятельности отраслевых хозяйств могут формировать и другие виды запасов: по километровой, технологической, неснижаемый и т.д.

Сумма всех запасов не может превышать норму производственного запаса.

При определении норм производственных запасов используются различные алгоритмы расчёта в зависимости от формы снабжения, категории запасов, уровня их агрегации (предприятие, дорога, дирекция и т.п.).

Ответственность и контроль по поводу соблюдения установленных норм

производственных запасов несут руководители подразделений на всех уровнях управления. Для анализа ситуации используются данные оперативного учёта и бухгалтерской отчётности.

### I.

Текущий уровень запасов  $PЗ_{ту}$ , выраженный в месяцах их производственного потребления, рассчитывается по формуле:

$$PЗ_{ту} = \frac{PЗ_{кп} - AЗ}{P_{мтр}}, \quad (1)$$

где  $PЗ_{кп}$  – величина запасов по дороге (отделению, предприятию) на конец отчётного периода (принимается по форме № 1 «Бухгалтерский баланс», раздел II «Оборотные активы», строка 211 «Сырье, материалы и другие аналогичные ценности»);  $AЗ$  – аварийно-восстановительные, технологические запасы;  $P_{мтр}$  – среднемесячный расход материальных ресурсов (топливо и материалы) в отчётном периоде [5].

Следует заметить, что методика расчёта норматива производственных запасов, утверждённая распоряжением руководства ОАО «РЖД» от 05.10.2006 года № 2007р, на практике оказалась не вполне эффективной [3]. Плановая величина запасов материально-технических ресурсов ( $MЗ$ ) в стоимостном выражении определяется бюджетом дирекции на планируемый период исходя из контрольных параметров:

$$MЗ = PЗ + OВЗ, \quad (2)$$

где  $PЗ$  – производственные запасы материально-технических ресурсов, предназначенные для использования при выполнении планового объёма работ;  $OВЗ$  – отдельные виды запасов для обеспечения нормальной работы при наступлении определённых событий, способных привести к срыву выполнения программы [3].

Планирование производственных запасов производится исходя из плановых затрат по элементам «материалы» и «топливо» и утверждённого норматива запасов.

Годовой показатель рассчитывается по формуле:

$$PЗ = УПЗ \cdot МТ, \quad (3)$$

где  $УПЗ$  – уровень запасов, выраженный в месяцах (днях) их производственного потребления (определяется контрольными

параметрами годового бюджета для центральной дирекции инфраструктуры и дифференцируется по всем структурным подразделениям);  $МТ$  – среднемесячный (среднедневной) расход материалов и топлива, рассчитанный исходя из суммы утверждённых годовым бюджетом затрат по элементам «материалы» и «топливо».

В стоимостном выражении  $PЗ$  отражаются в бюджете запасов и закупок в качестве показателя «норматив запасов для производственного процесса». В течение года величина  $PЗ$  может измениться только в случае корректировки годового бюджета в части затрат на материалы и топливо [3].

Усовершенствование методики расчёта норматива производственных запасов предполагает разделение общего показателя на два отдельно контролируемых показателя:

а)  $PЗ_{н}$  – производственные запасы с новыми материальными ценностями, рассчитываемые по формуле:

$$PЗ_{н} = УПЗ \cdot МТ_{н}, \quad (4)$$

где  $МТ_{н}$  – среднемесячный (среднедневной) расход материалов и топлива исходя из суммы утверждённых годовым бюджетом затрат на новые закупки по элементам «материалы» и «топливо»;

б)  $PЗ_{стр}$  – производственные запасы, создаваемые старогодными материальными ценностями:

$$PЗ_{стр} = УПЗ \cdot МТ_{стр}, \quad (5)$$

где  $МТ_{стр}$  – среднемесячный (среднедневной) расход материалов повторного использования (старогодных), рассчитанный исходя из суммы утверждённых годовым бюджетом затрат на списание материалов повторного использования по элементу «материалы».

Обобщённый норматив производственных запасов находится по формуле:

$$PЗ_{об} = PЗ_{н} + PЗ_{стр}, \quad (6)$$

где  $PЗ_{об}$  – обобщённый норматив производственных запасов.

Расчёт норматива производственных запасов на примере Куйбышевской дирекции инфраструктуры по данным бюджета 2013 года без учёта предлагаемых изменений:



$PЗ = УПЗ \cdot МТ = 1,5 \text{ месяца (45 дней)} \cdot 1825 \text{ млн руб.} / 12 \text{ (365 дней)} = 228 \text{ млн руб.}$

Расчёт норматива производственных запасов на материалы, закупаемые новыми ценностями, с учётом предлагаемых изменений:

$PЗ_n = УПЗ \cdot МТ_n = 1,5 \text{ месяца (45 дней)} \cdot 1579 \text{ млн руб.} / 12 \text{ (365 дней)} = 197,5 \text{ млн руб.}$

Норматив производственных запасов на старогодные материалы:

$PЗ_{стр} = УПЗ \cdot МТ_{стр} = 1,5 \text{ месяца (45 дней)} \cdot 136 \text{ млн руб.} / 12 \text{ (365 дней)} = 17,1 \text{ млн руб.}$

Общий норматив производственных запасов:

$PЗ_{об} = PЗ_n + PЗ_{стр} = 197,5 + 17,1 = 214 \text{ млн руб.}$

Полученный общий норматив более корректно отражает необходимость в содержании запасов и позволяет экономить 1 % средств от предназначенных для закупки новых материальных ресурсов в связи с сокращением объёма запасов на складах на 6,5 %.

Предлагаемый вариант повысит прозрачность нормирования производственных запасов, повлияет на планирование вовлечения запасов в производственный процесс, в том числе неликвидных и неходовых, и как следствие поможет удовлетворению потребностей заказчиков в материалах совокупностью поставок по заявкам, подготовленным с учётом планов вовлечения запасов со складов подразделений.

Данное решение становится одним из факторов реализации имеющихся внутриотраслевых резервов для повышения эффективности подсистемы материально-технического снабжения ОАО «РЖД».

## II.

Планирование объёма материально-технических ресурсов на линейных предприятиях и в их цехах, на наш взгляд, целесообразно производить по методике Г. Я. Кожегиной и Л. М. Сеницы [4]. Снабжение цехов и линейных предприятий (вагонные и локомотивные депо, дистанции пути, электроснабжения и т.д.) материалами следует осуществлять в полном соответствии с установленными лимитами расходов и особенностями производства.

Последние учитываются при разработке графиков подач, на основе которых материалы доставляются в цеха. Лимит запасов устанавливается исходя из производственной программы цеха и специфицированных норм расхода.

Расчёт лимита производится по формуле:

$$L = P \pm P_{нз.п} + H_3 - O, \quad (7)$$

где  $L$  – лимит номенклатуры продукции;

$P$  – потребность цеха в материалах для выполнения производственной программы;

$P_{нз.п}$  – потребность цеха в материалах для изменения незавершенного производства (+ увеличение, – уменьшение);

$H_3$  – норматив цехового запаса данной продукции;

$O$  – расчётный ожидаемый остаток продукции в цехе на начало планового периода [4].

Расчёт выполняется в натуральных показателях. Потребность в материалах для выполнения производственного задания определяется путём умножения программы производства на нормы расхода по соответствующим изделиям. Таким же образом рассчитывается потребность в материалах для изменения незавершённого производства, т.е. путём умножения производственных норм расхода на изменение программы незавершённого производства в плановом периоде.

Цеховой запас определяется в необходимых случаях и зависит от величины партии продукции, доставляемой в цех, среднесуточного её расхода, а также от цикличности производства.

Расчётный ожидаемый остаток материальных ресурсов в цехе находится по результатам работы цеха в периоде, предшествующем плановому:

$$O = O_{ф} + V_{ф} - (P_{о.п} + P_{э.н} + P_{нз.п} + P_{бр}), \quad (8)$$

где  $O_{ф}$  – фактический остаток на первое число по данным инвентаризации или бухгалтерского учёта;

$V_{ф}$  – количество отпущенных цеху материалов за весь период;

$P_{о.п}$  – фактический расход на основное производство;

$P_{э.н}$  – фактический расход на ремонтно-эксплуатационные нужды;

$P_{\text{нз.п}}$  — фактический расход на изменение незавершённого производства;

$P_{\text{бр}}$  — расход на брак (оформленный актом списания).

Фактический расход на основное производство и ремонтно-эксплуатационные нужды рассчитывается путём умножения фактических объёмов работ на действующие в данном периоде нормы расхода материальных ресурсов [4].

В результате внедрения предлагаемых изменений:

- вырастет:

- эффективность планирования поставок материально-технических ресурсов,

- эффективность контроля содержания запасов товарно-материальных ценностей в нормативах,

- прозрачность нормирования производственных запасов;

- снизятся:

- содержание запасов товарно-материальных ресурсов, в том числе: неликвидных и неходовых,

- эксплуатационные расходы дирекции по сопутствующим поставкам товарно-материальных ценностей.

При планировании производственных запасов необходимо также учитывать, что международными и отечественными бухгалтерскими регуляторами рекомендовано к использованию несколько методов учёта запасов. Процедура циркуляции вложений в запасы описывается следующей зависимостью [6]:

$$\text{Inv}_b + \text{SPL} = \text{COGS} + \text{Inv}_e, \quad (9)$$

где  $\text{Inv}_b$  — запасы на начало периода (входные запасы);  $\text{Inv}_e$  — запасы на конец периода (выходные запасы);  $\text{SPL}$  — поступление сырья и материалов за период;  $\text{COGS}$  — себестоимость продукции.

Из приведённого баланса следует, что одна и та же сумма (правая часть выражения) распределяется как на себестоимость, так и выходные запасы. В практической деятельности используются следующие методы:

- по себестоимости каждой единицы;
- средней себестоимости;

- по себестоимости первых по времени приобретения материально-производственных запасов (способ FIFO);

- по себестоимости последних по времени приобретения материально-производственных запасов (способ LIFO).

Выбор метода существенно влияет на финансовые результаты. Так, метод FIFO обеспечивает относительно больший прирост авансированного капитала, лучшие значения показателей рентабельности. Применение же метода LIFO приводит к заниженной оценке производственных запасов и к меньшей величине прибыли. Но следует заметить, что в условиях инфляции, характерной для настоящего времени, методика LIFO наиболее предпочтительна, так как величина уплачиваемого налога меньше, и в связи с этим большее количество средств остаётся у предприятия.

Методы оценки могут применяться как однократно по завершению отчётного периода, так и permanently, то есть по мере отпуска запасов в производство [6]. Тем не менее вопрос ещё в том, насколько любые коррекции в расчётах и показателях будут отвечать преобладающим обстоятельствам отраслевого рынка и разумной тактической гибкости предприятия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров К. А. Совершенствование материально-технического снабжения как необходимое условие повышения экономического потенциала предприятия // Проблемы совершенствования организации производства и управления промышленными предприятиями: межвузовский сборник научных трудов. — 2012. — № 2. — С. 100–107.

2. Корнев А. К. Производственный потенциал России: необходимость ускоренного обновления и перспективы // Проблемы прогнозирования. — 2012. — № 4. — С. 127–136.

3. Методика планирования запасов материально-технических ресурсов. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 05.10.2006 года № 2007р.

4. Кожекин Г. Я., Сеница Л. М. Организация производства. — Минск: Эксперспектива, 1998. — 332 с.

5. [Электронный ресурс]: <http://edu.dvgups.ru/metdoc/ekmen/etr/emts/metod/up/frame/6.htm>. Доступ 17.06.2017.

6. Ковалёв В. В. Финансовый менеджмент: теория и практика / 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Проспект, 2007. — 1024 с. ●

Координаты авторов: Валентейчик А. Г. — a.valentei4ik@yandex.ru,  
Белконский В. В. — Bear.samara63@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 27.02.2017, принята к публикации 17.06.2017.



## ON IMPROVEMENT OF PLANNING OF STOCKS OF MATERIAL AND TECHNICAL RESOURCES

**Valenteichik, Alexander G.**, Samara State Transport University, Samara, Russia.

**Belkonsky, Vladimir V.**, Samara State Transport University, Samara, Russia.

### ABSTRACT

The relevance of the article is justified by the need for in-depth theoretical and applied research related to creation of an integrated system for planning and controlling of resources, improvement of the material and technical supply of railway enterprises. The object and area of research is the subsystem of material-technical supply at the operating domain of Kuibyshev Railway in the system of economic

**Keywords:** railway, material and technical supply, planning, methodology for calculating the standard of production stocks, intra-industry reserves, spending limits, economic efficiency.

**Background.** The purpose of the system of material and technical supply of the enterprise is to timely and fully meet the needs of its units in achieving economic stability, stable functioning of economic and production processes [1].

To ensure the smooth operation of railways in certain sectors of the economy (track, electrification, locomotive, etc.), emergency recovery stocks are created. Departments of JSC Russian Railways, taking into account the specifics of the activities of the sectoral economies, can also form other types of reserves: kilometer-based, technological, irreversible, etc.

The sum of all stocks cannot exceed the standard of the production stock.

In determining the standards of production stocks, various calculation algorithms are used, depending on the form of supply, the category of reserves, the level of their aggregation (enterprise, road, directorate, etc.).

Responsibility and control over observance of established standards of production reserves are borne by the heads of departments at all levels of management. For the analysis of the situation, the data of operational accounting and financial statements are used.

**Objective.** The objective of the authors is to consider the method for improvement of planning in terms of stock of material and technical resources.

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

### Results.

#### I.

The current level of stocks  $PS_{cp}$ , expressed in months of their production consumption, is calculated by the formula:

$$PS_{cl} = \frac{PS_{cp} - ES}{C_{mtr}}, \quad (1)$$

where  $PS_{cp}$  – the amount of stocks on the road (branch, enterprise) at the end of the reporting period (taken under form No. 1 «Balance Sheet», Section II «Current Assets», line 211 «Raw materials, materials and other similar values»);  $ES$  – emergency-recovery, technological stocks;  $C_{mtr}$  – average monthly consumption of material resources (fuel and materials) in the reporting period [5].

It should be noted that the methodology for calculating the standard of production stocks, approved by the order of the management of JSC Russian Railways dated 05.10.2006 No. 2007r, turned out to be not quite effective in practice [3]. The planned value of stocks of material and technical resources (MS) in value terms is determined by the budget of the directorate for the planned period based on the control parameters:

$$MS = PS + CTS, \quad (2)$$

where  $PS$  – production stocks of material and technical resources intended for use in the performance of the planned scope of work;  $CTS$  – certain types of stocks to ensure normal operation when certain events occur that could lead to disruption of the program [3].

Planning of production stocks is based on the planned costs for the elements «materials» and «fuel» and the approved norm of stocks.

management of JSC Russian Railways. At the same time, the improved methodology for calculating the standard of production stocks is demonstrated, which excludes unreasonable decentralized purchases, reduces maintenance of inventories, operational costs of accompanying supplies of material assets, as well as operational, depreciation and tax expenses of the regional departments of Samara Directorate of Material-Technical Supply.

The annual indicator is calculated by the formula:

$$PS = LPS \cdot MF, \quad (3)$$

where  $LPS$  – level of stocks expressed in months (days) of their production consumption (determined by the control parameters of the annual budget for the central directorate of infrastructure and differentiated across all structural subdivisions);  $MF$  – average monthly (average daily) consumption of materials and fuel, calculated on the basis of the amount approved by the annual budget for the items «materials» and «fuel».

In value terms,  $PS$  are reflected in the budget for stocks and purchases as an indicator of the «stocks standard for the production process». During the year, the value of  $PS$  may change only if the annual budget is adjusted for the cost of materials and fuel [3].

Improvement of the methodology for calculating the standard of production stocks implies the division of the total indicator into two separately monitored indicators:

a)  $PS_n$  – production stocks with new material values, calculated under the formula:

$$PS_n = LPS \cdot MF_n, \quad (4)$$

where  $MF_n$  – average monthly (average daily) consumption of materials and fuel based on the amount of expenditures for new purchases approved by the annual budget for the elements «materials» and «fuel»;

b)  $PS_{old}$  – production stocks created by old material values:

$$PS_{old} = LPS \cdot MF_{old}, \quad (5)$$

where  $MF_{old}$  – average monthly (average daily) consumption of re-use materials (old), calculated on the basis of the amount approved by the annual budget for writing off reusable materials for the element «materials».

The generalized standard of production stocks is found by the formula:

$$PS_{gen} = PS_n + PS_{old}, \quad (6)$$

where  $PS_{gen}$  – generalized standard of production stocks.

Calculation of the standard of production stocks using the example of Kuibyshev Infrastructure Directorate according to the 2013 budget without taking into account the proposed changes:

$$PS = LPS \cdot MF = 1,5 \text{ moths (45 days)} \cdot 1825 \text{ mln rub.} / 12 (365 \text{ days}) = 228 \text{ mln rub.}$$

Calculation of the standard of production stocks for materials purchased by new values, taking into account the proposed changes:

$$PS_n = LPS \cdot MF_n = 1,5 \text{ months (45 days)} \cdot 1579 \text{ mln rub.} / 12 (365 \text{ days}) = 197,5 \text{ mln rub.},$$

The standard of production stocks for old materials:

$$PS_{old} = LPS \cdot MF_{old} = 1,5 \text{ months (45 days)} \cdot 136 \text{ mln rub.} / 12 (365 \text{ days}) = 17,1 \text{ mln rub.}$$

The general standard of production stocks:

$$PS_{gen} = PS_n + PS_{old} = 197,5 + 17,1 = 214 \text{ mln rub.}$$

The received general standard more correctly reflects the need for the content of stocks and allows to save 1% of the funds intended for the purchase of new material resources in connection with the reduction of the stock in the warehouses by 6,5%.

The proposed option will increase the transparency of the normalization of production stocks, will affect the planning of the involvement of stocks in the production

process, including illiquid and unpopular ones, and as a result will help meet the needs of customers in materials by a set of deliveries for applications prepared taking into account plans to involve stocks from warehouses of the departments.

This decision becomes one of the factors for the implementation of available intra-industry reserves to improve the efficiency of the subsystem of material-technical supply of JSC Russian Railways.

## II.

Planning of the volume of material and technical resources at the linear enterprises and in their shops, in our opinion, is expedient to be carried out by the method of G. Ya. Kozhekin and L. M. Sinitsa [4]. The supply of workshops and linear enterprises (carload and locomotive depots, track distances, power supply, etc.) should be carried out in full accordance with the established spending limits and production features. The latter are taken into account when developing schedules of feeds, on the basis of which materials are delivered to the shops. The stock limit is established based on the production program of the workshop and the specified consumption rates.

The calculation of the limit is made by the formula:

$$L = N \pm N_{c.p.} + S_s - E, \quad (7)$$

where  $L$  – limit of the nomenclature of production;  $N$  – need of the workshop in the materials for the performance of the production program;  $N_{c.p.}$  – need of the workshop in materials to change the work in progress (+ increase, – decrease);  $S_s$  – standard of the workshops' stocks of this product;  $E$  – estimated expected product balance in the workshop at the beginning of the planning period [4].

The calculation is carried out in natural terms. The demand for materials for the performance of a production task is determined by multiplying the production program by the consumption rates for the respective products. In the same way, the demand for materials for changing the work in progress is calculated, i.e. by multiplying the production rates of expenditure for the change in the work in progress program in the planning period.

The workshop stock is determined in necessary cases and depends on the size of the batch of products delivered to the workshop, its average daily consumption, and also on the cyclical nature of production.

The estimated expected balance of material resources in the workshop is based on the work of the shop in the period preceding the planned:

$$E = E_a + V_a - (C_{m.p.} + C_{o.n.} + C_{c.p.} + C_d), \quad (8)$$

where  $E_a$  – actual balance on the first day according to the inventory of the accounting data;

$V_a$  – number of materials released to the workshop for the entire period;

$C_{m.p.}$  – actual expense on main production;

$C_{o.n.}$  – actual expense on repair-operational needs;

$C_{c.p.}$  – actual expense on change of the work in progress;

$C_d$  – expense on defect (formalized by a write-off act).

The actual expense on the main production and repair-operational needs is calculated by multiplying the actual volumes of work with the norms of expenditure of material resources in force in this period [4].

As a result of introduction of the proposed changes:

- will increase:

- effectiveness of planning the supply of material and technical resources,

- effectiveness of monitoring the content of inventories in terms of standards,

- transparency of rationing of production stocks;

- will decrease:

- maintenance of stocks of commodity-material resources, including: illiquid and unpopular,

- operational costs of the Directorate for the related supplies of inventory.

When planning production stocks, it is also necessary to take into account that several methods of inventory accounting have been recommended by the International and domestic accounting regulators. The procedure for circulation of investments in inventories is described by the following relationship [6].

$$Inv_b + SPL = COGS + Inv_e, \quad (9)$$

where  $Inv_b$  – stocks at the beginning of the period (input stocks);  $Inv_e$  – stocks at the end of the period (output stocks);  $SPL$  – receipt of raw materials for the period;  $COGS$  – production cost.

From the above balance, it follows that the same amount (the right side of the expression) is allocated to both the cost price and the output stocks. In practice, the following methods are used:

- of cost of each unit;

- of average cost price;

- of cost of the first-time acquisition of inventories (the FIFO method);

- of cost of the last in time acquisition of inventories (the LIFO method).

**Conclusion.** The choice of the method significantly affects the financial results. Thus, the FIFO method provides a relatively larger increase in advanced capital, better values of profitability indicators. The use of the LIFO method results in a lower estimate of production stocks and a lower profit margin. But it should be noted that in the conditions of inflation, which is typical for the present time, the LIFO method is most preferable, since the amount of tax paid is less, and in this connection, the greater amount of funds remains with the enterprise.

Valuation methods can be applied both once at the end of the reporting period, and permanently, that is, accompanying the supply of stocks to production [6]. Nevertheless, the question is how much any corrections in the calculations and indicators will meet the prevailing circumstances of the industry market and the reasonable tactical flexibility of the enterprise.

## REFERENCES

1. Makarov, K. A. Perfection of material and technical supply as a necessary condition for increasing the enterprise's economic potential [Sovershenstvovanie material'no-tehnicheskogo snabzhenija kak neobhodimoe uslovie povyshenija ekonomicheskogo potentsiala predpriyatija]. *Problemy sovershenstvovaniya organizacii proizvodstva i upravlenija promyshlennymi predpriyatijami: mezhdvuzovskij sbornik nauchnyh trudov*, 2012, Iss. 2, pp. 100–107.

2. Kornev, A. K. Production potential of Russia: the need for accelerated renewal and perspective [Proizvodstvennyj potencial Rossii: neobhodimost' uskorennoogo obnovlenija i perspektivy]. *Problemy prognozirovaniya*, 2012, Iss. 4, pp. 127–136.

3. Methods of planning inventory of material and technical resources. Approved by the decree of JSC Russian Railways of 05.10.2006 No. 2007r [Metodika planirovaniya zapasov material'no-tehnicheskikh resursov. Uverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD» ot 05.10.2006 goda № 2007r].

4. Kozhekin, G. Ya., Sinitsa, L. M. Organization of production [Organizacija proizvodstva]. Minsk, Ekoperspektiva publ., 1998, 332 p.

5. [Electronic resource]: <http://edu.dvgups.ru/metdoc/ekmen/etr/emts/metod/up/frame/6.htm>. Last accessed 17.06.2017.

6. Kovalev, V. V. Financial management: theory and practice [Finansovyj menedzhment: teorija i praktika]. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and enl. Moscow, Prospekt publ., 2007, 1024 p. ●

Information about the authors:

**Valenteichik, Alexander G.** – Ph.D. (Eng), associate professor of the Department of Economics and Logistics in Transport of Samara State Transport University, Samara, Russia, a.valentei4ik@yandex.ru.

**Belkonsky, Vladimir V.** – Ph.D. student of the Department of Economics and Logistics in Transport of Samara State Transport University, Samara, Russia, Bear.samara63@mail.ru.

Article received 27.02.2017, accepted 17.06.2017.





# Преобразуемые потоки и ценности в цепях поставок



Алексей ТЯПУХИН  
Alexey P. TYAPUKHIN

Евгения ТАРАСЕНКО  
Evgenia A. TARASENKO



*Тяпухин Алексей Петрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой логистики и транспортных технологий Оренбургского института путей сообщения – филиала Самарского государственного университета путей сообщения, Оренбург, Россия.*  
*Тарасенко Евгения Алексеевна – специалист по учебно-методической работе Оренбургского института путей сообщения – филиала СамГУПС, Оренбург, Россия.*

## Convertible Flows and Values in Supply Chains (текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 138)

**В статье обоснованы этапы дивергенции управления ценностью в цепях поставок, разработана последовательность формирования отношения конечного потребителя к приобретённой и использованной ценности, предложен методический подход к преобразованию потоков продукции и услуг в потоки ценности. Цель исследования – уточнение сущности ценности конечного потребителя продукции и услуг, являющейся объектом исследования маркетинга, а также формирование на этой основе необходимых предпосылок для корректировки теории и методологии логистики как концепции управления предприятиями.**

*Ключевые слова:* ценность, поток, конечный потребитель, логистика, дивергенция, система поставок, преобразование.

**Ц**енность потребителя – относительно новое понятие для предприятий, функционирующих на высококонкурентных рынках. Только в 2004 году Американская ассоциация маркетинга ввела в оборот определение маркетинга, ориентированное на ценность, изложенное в следующей редакции: «Маркетинг – это деятельность, набор институтов и процессов для создания, сообщения, доставки и обмена предложениями, которые имеют ценность для потребителей, клиентов, партнёров и общества в целом» [1].

Это определение является принципиально важным не только с позиции маркетинга, но и с позиции логистики, под которой мы понимаем «концепцию управления предприятиями, связанную с воздействиями субъекта управления на потоки ресурсов, перемещающиеся по определённым траекториям с помощью звеньев логистической системы (поставщиков и посредников), которые выполняют консолидацию/разукрупнение объектов данных потоков с целью предоставления конечным потребителям, расположенным на определённой территории, максимальной ценности в рамках заявленных ими параметров



		Потребительские свойства (товаров) продукции и услуг	
		Типовые	Уникальные
Свойства (параметры) спроса потребителя	Устойчивые	Нужда	Привычный образ жизни
	Неустойчивые	Потребность	Ценность

Рис. 1. Классификация предпосылок к потреблению продукции и услуг.

количества и качества продукции и услуг и согласованных параметров времени и затрат для их изготовления и реализации» [2].

Очевидно, что ценность конечного потребителя продукции и услуг существенно влияет на качество управления потоками ресурсов, а вместе с тем и на качество управления их траекториями, а также логистическими процессами и системами.

### ИЕРАРХИЯ ТЕРМИНОВ

Проведённый анализ источников по теме исследования позволил выявить следующие аспекты понятия «ценность» и сопутствующих ему обозначений:

1) термин «ценный» означает «...с большими достоинствами, важный, нужный» [3];

2) в работе [4] приведено 31 определение ценности, причём наиболее значимыми являются положения о том, что:

– «это свойство определённого предмета или явления удовлетворять потребности, желания, интересы индивида, группы людей, общества в целом» [5];

– «существуют биологические (здоровье, сила), экономические (богатство), эстетические (красота), моральные (добродетель), религиозные (сакральное) и другие ценности» [6];

3) широко распространённым понятием в маркетинге остаётся понятие «потребительская ценность» или «полезность продукта», оно считается «субъективным, оценочным показателем, зависит от сравнительной важности потребности, удовлетворению которой служит продукт, и от степени удовлетворения потребности продуктом» [7];

4) Ф. Котлер полагает, что «общая ценность для потребителя – совокупность выгод, которые он ожидает получить, приобретая товар или услугу» [8];

5) для изготовления ценности конечного потребителя продукции и услуг необхо-

димо формирование цепочки ценности или «последовательности операций по созданию продукта (ценности): исследования и разработки, дизайн продукта, производство, маркетинг, сбыт, послепродажное обслуживание» [9];

6) эффективное формирование и функционирование цепочки ценности обеспечивает «процесс управления общей последовательностью интегрированных видов деятельности (интерпретация «последовательности операций по созданию продукта (ценности)») и информации о потоках продукции во всей цепочке ценности» или «менеджмент цепочки ценности» [10];

7) «менеджмент цепочки ценности» или «управление ценностью» наряду с управлением цепями поставок (англ. – supply chain management) и управлением требованиями (англ. – demand management) формируют логистику как концепцию управления [11].

Представленная иерархическая зависимость терминов позволяет определить степень влияния введённого понятия «ценность» на сущность и содержание логистики, объект исследования которой потоки ресурсов.

### УТОЧНЕНИЕ СУЩНОСТИ ПОНЯТИЙ

Особенностью нашего исследования является разработка классификации предпосылок к потреблению продукции и услуг их конечным потребителем. Её основу составляют выделенные на рис. 1 классификационные признаки: свойства (параметры) личности потребителя (устойчивые и неустойчивые) и потребительские свойства продукции и услуг (типовые и уникальные).

Анализ информации, представленной на рис. 1, позволяет сделать следующие выводы:

– ценность – это совокупность уникальных характеристик объектов и процес-



		Восприятие потребителем свойств продукции и услуг в качестве	
		Знакомых	Незнакомых
Тип потребностей	Первичные	Стабильность ценности с ориентацией на первичные потребности	Развитие ценности с ориентацией потребителя на первичные потребности
	Вторичные	Стабильность ценности с ориентацией потребителя на вторичные потребности	Развитие ценности с ориентацией потребителя на вторичные потребности

**Рис. 2. Классификация состояний ценности потребителя продукции и услуг по типу его потребности.**

		Количество ценности	
		Одна	Несколько
Количество потребителей	Один	Индивидуальная ценность	Комбинированная ценность
	Несколько	Коллективная ценность	Универсальная ценность

**Рис. 3. Классификация ценности потребителя продукции и услуг по признаку владения.**

		Периодичность возникновения ценности	
		Разовая	Возобновляемая
Характер проявления ценности	Потенциальная	Прообраз	Запас
	Реальная	Объект	Поток

**Рис. 4. Классификация форм ценности потребителя продукции и услуг.**

сов, имеющих положительное или отрицательное значения для потребителя в зависимости от его материального, психического или духовного состояния<sup>1</sup>;

– ценность отличается от потребности уникальностью потребительских свойств товара (продукции и услуг) или, точнее, их особым восприятием потребителем, а от привычного образа жизни – зависимостью от материального, психического или духовного состояния (или устойчивости состояния) потребителя;

– поскольку ценность потребителя напрямую связана с его первичными и вторичными потребностями, с помощью таких классификационных признаков, как восприятие потребителем свойств продукции и услуг в качестве знакомых и незнакомых, а также типа потребностей, можно установить основные состояния ценности потребителя, которые могут быть либо стабильными, либо находиться в развитии (рис. 2).

Следует отметить, что второе состояние может быть спровоцировано как самим

потребителем (мотивацией), так и поставщиком продукции и услуг (стимулированием), осуществляемым в рамках бизнес-процесса «управление отношениями с потребителями» (англ. – customer relationship management) – компонента управления ценностью [12].

В цепи ценности каждое её звено выступает и в роли поставщика, и в роли потребителя. Исходя из этого, целесообразно классифицировать ценность потребителя продукции и услуг по таким признакам, как количество ценности (одна единица, две и более) и количество потребителей, на которых ценность распространяется. В результате можно выделить четыре вида ценности: индивидуальную, коллективную, комбинированную и универсальную (рис. 3), каждая из которых имеет специфику и область применения на практике.

Прежде чем потребитель продукции и услуг получит необходимую ему ценность, она приобретает свои формы, которые могут быть выделены с помощью следующих классификационных признаков: периодичность возникновения цен-

<sup>1</sup> Основу определения составляют данные из [6].

		Состояние потребителя	
		Пассивное (ожидает доставки объекта)	Активное (движется к объекту)
Состояние объекта (ценности)	Пассивное (запас)	Объект (ценность) находится у потребителя	Потребитель движется к объекту (к ценности)
	Активное (поток)	Объект (ценность) движется к потребителю	Объект (ценность) и потребитель движутся друг к другу

**Рис. 5. Варианты состояний продукта (объекта логистического потока) и потребителя с точки зрения управления потоками.**

		Состояние потока ценности	
		Остановка	Движение
Состояние потока ресурсов	Остановка	Подготовка ценности	Формирование ценности на основе запаса
	Движение	Доставка ценности	Формирование ценности на основе потока

**Рис. 6. Классификация этапов получения ценности потребителем продукции.**

ности (разовая, возобновляемая) и характер её проявления (потенциальная, реальная). Как следует из рис. 4, такими формами являются прообраз, объект, запас, поток.

С точки зрения логистики как концепции управления особый интерес вызывают две последние формы, которым можно дать следующие определения:

– поток ценности – совокупность объединённых по определённым признакам уникальных характеристик объектов и процессов, последовательно ощущаемых потребителем в пространстве и во времени в зависимости от его материального, психического или духовного состояния. Данное понятие определяет сущность логистики, для понимания которой следует обратиться к рис. 5 [13]. На нём главным (первичным) объектом логистики выступает поток ценности, который формируется в условиях пассивного состояния потребителя, выполняющего привычные для него функции потребления, эксплуатации, консолидации/разукрупнения или переработки объектов потока ресурсов, а оставшиеся функции берут на себя логистические, технологические и торговые звенья системы, действующие на принципах аутсорсинга;

– запас ценности – совокупность объединённых по определённым признакам создаваемых или созданных уникальных характеристик объектов и процессов, ко-

торые стремится использовать потребитель в пространстве и во времени в зависимости от его материального, психического или духовного состояния.

Как следует из рис. 6, поставщику продукции и услуг необходимо выделять следующие этапы получения ценности потребителем: подготовку, доставку и формирование ценности, причём в двух вариантах – на основе запаса (время получения ценности и время её использования не совпадают) и на основе потока, при котором отмеченное несовпадение отсутствует.

Поскольку значительная часть объектов и процессов окружающей действительности с течением времени изменяет количественные параметры и качественные характеристики, то необходимо учитывать следующие варианты устойчивости восприятия ценности потребителем продукции и услуг: появление, повышение, сохранение и снижение устойчивости, а также переход ценности в состояние неустойчивости (рис. 7). Указанная динамика оказывает существенное влияние на эффективность и результативность управления ценностью в системах поставок.

Устойчивость восприятия ценности потребителем постоянно подвергается воздействию со стороны факторов внешней по отношению к потребителю среды. В результате учитывая такие классификационные признаки, как стадия принятия потребителем продукции и услуг решения



		Постоянство характеристик ценности	
		Сохраняются	Изменяются
Восприятие ценности потребителем ресурсов	Положительное	Устойчивость	← Повышение устойчивости
	Отрицательное	Неустойчивость	← Снижение устойчивости

**Рис. 7. Классификация вариантов устойчивости восприятия ценности потребителем продукции и услуг.**

		Стадия принятия решения	
		Сбор информации	Исследование
Контакт с объектом (-ами) / потоком (-ами) ценности	Без контакта	Сообщение	↓ Обобщение
	С контактом	Наблюдение	↑ Апробация

**Рис. 8. Классификация этапов принятия решения потребителем о получении ценности.**

(сбор информации, исследование), а также контакт с объектом или потоком ценности (без контакта и с контактом), можно выделить характерные для потребителя этапы принятия решения: полученное им сообщение, наблюдение за объектом/потоком, апробация и обобщение полученных результатов (рис. 8).

Изложенный материал позволяет обосновать этапы дивергенции управления ценностью в системах поставок (рис. 9). Напомним, что этап дивергенции связан с критическим восприятием действительности, разрушением стереотипов, использованием весьма широких образных сравнений, крайне далёких ассоциаций. На этом этапе формируется спектр различных требований к будущему объекту [14].

**ОТНОШЕНИЯ КОНЕЧНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ К ПРИОБРЕТЕННОЙ ЦЕННОСТИ**

Для того чтобы уточнить содержание процесса формирования отношения конечного потребителя к приобретённой и использованной ценности, были применены такие классификационные признаки, как тип потребности конечного потребителя продукции и услуг (первичные и вторичные) и период обладания ценностью (долгосроч-

ное и краткосрочное). Данные признаки помогают выделить результаты приобретения (получения) ценностей конечными потребителями (рис. 10): состояние потребителя, потребление (переработка), владение (эксплуатация) и впечатления (эмоции).

Стрелки, изображённые на рис. 10, показывают последовательность учёта вариантов при наличии возврата от впечатлений (эмоций) к исходному варианту – состоянию потребителя. При этом само состояние конечного потребителя (стабильное и нестабильное) и его готовность к действию (или её отсутствие) приводят к обоснованию четырёх состояний потребителя (рис. 11): сомнение, уверенность, депрессия, возбуждение.

Основные варианты характера потребления (переработки) ценности: локальное внутреннее, локальное внешнее, типовое внутреннее и типовое внешнее (рис. 12) – могут быть получены с помощью таких классификационных признаков, как предназначение ценности (для личных целей и для других потребителей) и периодичность возникновения необходимости обладать ценностью (разовая и периодически возникающая).

Такие классификационные признаки, как вариант владения ценностью (в собст-

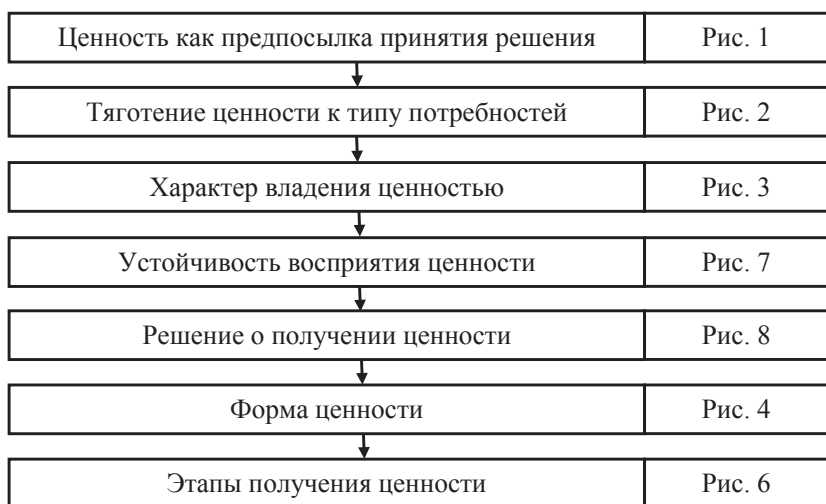


Рис. 9. Этапы дивергенции управления ценностью в системах поставок.

		Тип потребности конечного потребителя	
		Первичные	Вторичные
Период обладания ценностью	Долгосрочное	Состояние потребителя	Владение (эксплуатация)
	Краткосрочное	Потребление (переработка)	Впечатления (реакция)

Рис. 10. Классификация результатов приобретения и использования ценностей.

		Стабильность состояния потребителя	
		Стабильное	Нестабильное
Готовность потребителя к действию ресурсов	Отсутствие	Сомнение	Апатия
	Наличие	Уверенность	Возбуждение

Рис. 11. Классификация состояний потребителя ценности.

		Предназначение ценности	
		Для личных целей	Для целей других потребителей
Периодичность получения ценности	Разовая	Разовое получение ценности для личных целей	Разовое получение ценности для целей других потребителей
	Периодически возникающая	Периодически возникающее получение ценности для личных целей	Периодически возникающее получение ценности для целей других потребителей

Рис. 12. Классификация характера потребления (переработки) ценности.



		Вариант владения ценностью	
		Собственность	Аренда и др.
Характер владения ценностью	Единоличное	Единоличное владение собственностью	Единоличное владение чужой собственностью
	Коллективное	Коллективное владение собственностью	Коллективное владение чужой собственностью

Рис. 13. Классификация характера владения ценностью.

		Отношение к ценности	
		Позитивное	Негативное
Уровень впечатлений от ценности	Незначительный	Одобрение	Разочарование
	Значительный	Восторг	Раздражение

Рис. 14. Классификация впечатлений потребителя от использования ценности.

венности и в аренде) и характер владения (единоличное и коллективное), формируют четыре варианта владения ценностью: единоличное и коллективное владение как собственной, так и чужой собственностью (рис. 13).

И, наконец, варианты впечатлений потребителя от использования ценности – одобрение, восторг, разочарование и раздражение (рис. 14) – выделяются с помощью адекватных им классификационных признаков: сформированное отношение к ценности (позитивное и негативное) и уровень впечатлений от ценности (незначительный и значительный).

Данные рис. 10–14 позволяют прогнозировать поведение потребителя продукции и услуг с учётом корректировок процессов создания, сообщения, доставки предложений и обмена ими, которые имеют ценность для потребителей, клиентов, партнёров и общества в целом. Совокупный материал даёт возможность разработать последовательность формирования отношения конечного потребителя к приобретённой и использованной ценности (рис. 15).

Анализ данных, представленных на рис. 15, позволяет сделать следующие выводы:

– история разового или периодически возникающего потребления того или ино-

го продукта (услуги) оказывает влияние как на саму ценность, так и на характер владения будущей ценностью (стрелка 1). На данном этапе приоритетный тип потребления (на рис. 15 – периодически возникающее потребление для личных целей) согласуется с характером владения ценности (стрелка 2 – единоличное владение чужой собственностью, например, аренда или ипотечный кредит);

– получаемая при потреблении продукта или услуги ценность оказывает влияние на впечатления потребителя (стрелка 3 – апатия), а вместе с тем и на состояние потребителя (на рис. 15 – разочарование);

– сочетание «апатия – разочарование», в свою очередь, влияет на характер владения как настоящей (стрелка 4), так и будущей ценностью.

Изложенная последовательность помогает уточнить и дополнить теорию и методологию управления ценностью в цепях поставок и с точки зрения маркетинга, и с позиций логистики как концепции управления предприятиями.

## ПРОЦЕСС ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОТОКОВ

Для эффективного управления ценностью в цепях поставок требуется использовать основные компоненты ценности по-

Состояние Впечатление	Одобрение	Разочарование	Восторг	Раздражение
Сомнение	См – Од	См – Рз	См – Вс	См – Рд
Апатия	Ап – Од	Ап – Рз	Ап – Вс	Ап – Рд
Уверенность	Ув – Од	Ув – Рз	Ув – Вс	Ув – Рд
Возбуждение	Вз – Од	Вз – Рз	Вз – Вс	Вз – Рд

Потребление	2		Коллек- тивное владение собствен- ностью	Коллек- тивное владение чужой собствен- ностью
	Владение	Едино- личное владение собствен- ностью		
Разовое потребление для личных целей	РЛ – Ес	РЛ – Еч	РЛ – Кс	РЛ – Кч
Разовое потребление для целей других потребителей	РД – Ес	РД – Еч	РД – Кс	РД – Кч
Периодически возникающее потребление для личных целей	ПЛ – Ес	ПЛ – Еч	ПЛ – Кс	ПЛ – Кч
Периодически возникающее потребление для целей других потребителей	ПД – Ес	ПД – Еч	ПД – Кс	ПД – Кч

Рис. 15. Последовательность формирования отношения конечного потребителя к приобретенной и использованной ценности.

ребителя, число и состав которых обоснованы в [15]. Данные рис. 16 позволяют структурировать ценность потребителя продукции и услуг по количеству, качеству, затратам и времени на базе компонентов управления цепями поставок – «процесс», «система», «консолидация», «разукрупнение», «поставщики», «посредники» и дополнительных компонентов управления ценностью «территория» и «траектория», а также сформировать необходимую сово-

купность потоков продукции и услуг (таблица 1). Методология решения проблемы изложена в работе [16].

Как следует из таблицы 1, каждый из потоков продукции и услуг обеспечивает создание и доставку ценности их потребителю. В то же время сложный характер потребления предполагает последовательную консолидацию потоков как следствие их предварительной структуризации с точки зрения:



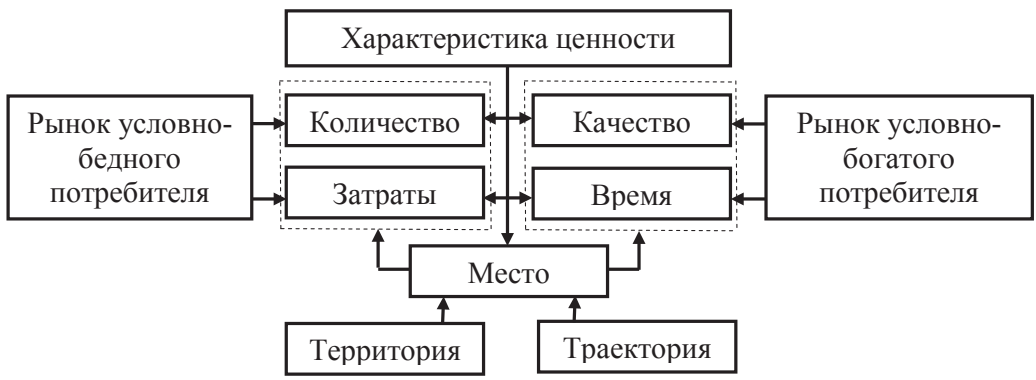


Рис. 16. Основные компоненты ценности потребителя.

Таблица 1  
Компоненты ценности потребителя продукции и услуг (материальных ресурсов)

Компоненты ценности	Поток 1	Поток 2	Поток ...	Поток N	Итого
Качество, Q	$\sum_{i=1}^{l_1} Q_i$	$\sum_{i=1}^{l_2} Q_i$	...	$\sum_{i=1}^{l_N} Q_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^{l_s} Q_{si}$
Количество, K	$\sum_{i=1}^{m_1} K_i$	$\sum_{i=1}^{m_2} K_i$	...	$\sum_{i=1}^{m_N} K_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^{m_s} K_{si}$
Затраты, Z	$\sum_{i=1}^{n_1} Z_i$	$\sum_{i=1}^{n_2} Z_i$	...	$\sum_{i=1}^{n_N} Z_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^{n_s} Z_{si}$
Время, W	$\sum_{i=1}^{p_1} W_i$	$\sum_{i=1}^{p_2} W_i$	...	$\sum_{i=1}^{p_N} W_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^{p_s} W_{si}$
Ценность, V	$\sum_{q=1}^{t_1} V_q$	$\sum_{q=1}^{t_2} V_q$	...	$\sum_{q=1}^{t_N} V_q$	$\sum_{s=1}^N \sum_{q=1}^{t_s} V_{sq}$

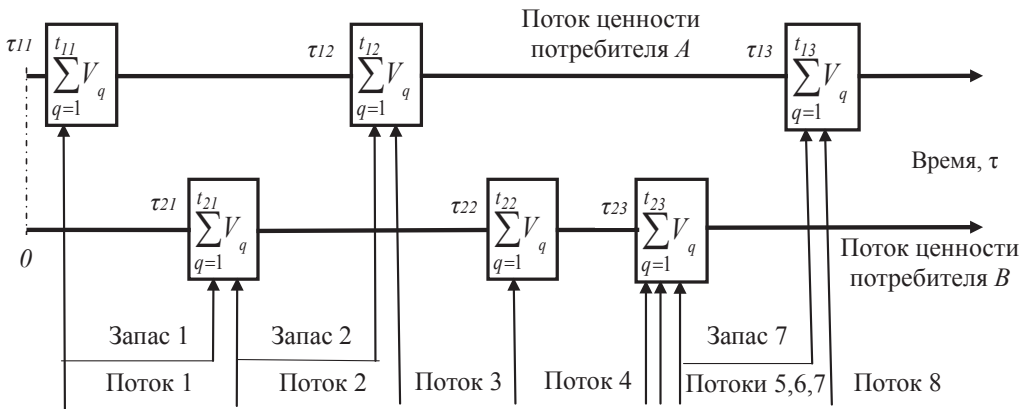


Рис. 17. Схема преобразования потоков продукции и услуг в потоки ценности.



- управления требованиями в цепях поставок [11];
- форм ценности потребителя продукции и услуг (рис. 4);
- этапов получения ценности потребителем (рис. 6).

Кроме того, на конечной стадии управления ценностью возникает ещё одна проблема, связанная с преобразованием потоков продукции и услуг (управление цепями поставок) в потоки ценности (управление ценностью в цепях поставок). Решение этой проблемы обеспечивается на основе данных, представленных на рис. 17. Их анализ позволяет сделать следующие выводы:

- при преобразовании потоков продукции и услуг в потоки ценности неизбежны запасы продукции и услуг в качестве запаса ценности. Например, на рис. 17 поток 1 распадается на два потока продукции и услуг, один из которых направляется к потребителю А, а второй переходит в состояние запаса, ожидая преобразования в поток ценности потребителя В;

- запасы ценности потребителя В (например, 1 и 2) могут переходить в потоки продукции и услуг при перемещении потребителя В в другое место (территорию) и наоборот;

- при поступлении потребителю В нескольких потоков ресурсов одновременно (например, 5, 6 и 7) нужно учитывать возможные их простои (появление запасов объектов потоков), что снижает ценность данного потребителя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье получены элементы научной новизны:

- обоснованы этапы дивергенции управления ценностью в цепях поставок (рис. 9);
- разработана последовательность формирования отношения конечного потребителя к приобретённой и использованной ценности (рис. 15);
- предложен методический подход к преобразованию потоков продукции и услуг в потоки ценности (рис. 17).

В ходе дальнейших исследований предполагается:

- уточнить методологию управления потоками ресурсов и потоками ценности при устранении межфункциональных барьеров в каналах типа «поставщик/потребитель»;
- дополнить теорию управления отношениями между поставщиками и потребителями в системах поставок продукции и услуг;
- исследовать этапы управления требованиями в системах поставок продукции и услуг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. About AMA. [Электронный ресурс]: <https://www.ama.org/AboutAMA/Pages/Definition-of-Marketing.aspx>. Доступ 11.02.2017.
2. Тяпухин А. П. Логистика и управление цепями поставок: авторский взгляд // Вестник Московского университета. Серия 24: Менеджмент.– 2011.– № 2.– С. 128–145.
3. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка.– М.: Азбуковник, 1998.– 944 с.
4. Ценность. [Электронный ресурс]: <http://terme.ru/termin/cennost.html>. Доступ 11.02.2017.
5. Гуревич П. С. Культурология: Учебник для вузов.– М.: Проект, 2003.– 336 с.
6. Зорин В. И. Евразийская мудрость от А до Я: Толковый словарь.– Алматы: Создiк-Словарь, 2002.– 408 с.
7. Потребительская ценность. [Электронный ресурс]: <http://marketopedia.ru/62-potrebitelnaya-cennost.html>. Доступ 11.02.2017.
8. Котлер Ф. Маркетинг-менеджмент.– СПб.: Питер, 2003.– 800 с.
9. Porter M. E. Competition in Global Industries. Boston: Harvard Business School Press, 1986.
10. Менеджмент цепочки поставок [Электронный ресурс]: <http://econom-lib.ru/3-21.php>. Дата обращения: 11 февраля 2017.
11. Тяпухин А. П. О понятиях «логистика» и «управление цепями поставок» // Логистика.– 2009.– № 2.– С. 16–17.
12. Долбина С. А., Тяпухин А. П. Теоретические предпосылки формирования бизнес-процессов в цепях ценности // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика.– 2011.– № 1.– С. 25–34.
13. Тяпухин А. П., Тяпухина О. А. Классификация торговых посредников и варианты их использования в цепях поставок // Управленческое консультирование.– 2015.– № 4.– С. 94–106.
14. Татур Ю. Г. Образовательная система России: высшая школа. – М.: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов / МГТУ им. Баумана, 1999.– 278 с.
15. Тяпухин А. П. Авторский взгляд на теорию логистики // Управление каналами дистрибуции.– 2008.– № 3.– С. 178–191.
16. Тяпухин А. П., Тяпухина О. А. Обоснование вариантов и формирование системы поставок материальных ресурсов // Вопросы современной экономики.– 2015.– № 4. [Электронный ресурс]: <http://economic-journal.net/2015/10/128>. Доступ 11.02.2017.

Координаты авторов: Тяпухин А. П. – [aptyapuhin@mail.ru](mailto:aptyapuhin@mail.ru), Тарасенко Е. А. – [t\\_e\\_a\\_t@mail.ru](mailto:t_e_a_t@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 12.02.2017, принята к публикации 21.03.2017.



## CONVERTIBLE FLOWS AND VALUES IN SUPPLY CHAINS

**Tyapukhin, Alexey P.**, Orenburg Transport Institute, branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia.

**Tarassenko, Evgenia A.**, Orenburg Transport Institute, branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia.

### ABSTRACT

The article substantiates the stages of divergence of value management in supply chains, a sequence of formation of the final consumer's relation to the acquired and used value is developed, a methodical approach is proposed to transform the flows of products and services into value flows. The

purpose of the research is to clarify the essence of the value of the final consumer of products and services that are the subject of marketing research, and also the formation on this basis of necessary prerequisites for adjusting the theory and the methodology of logistics as a concept of enterprise management.

*Keywords:* value, flow, final consumer, logistics, divergence, supply chain, transformation.

**Background.** The value of a consumer is a relatively new concept for enterprises operating in highly competitive markets. Only in 2004, the American Marketing Association introduced the definition of value-oriented marketing, which is now spelled out in the following edition: «Marketing is an activity, a set of institutions and processes for creating, communicating, delivering and exchanging proposals that are **of value** to consumers, clients, partners and society as a whole» [1].

This definition is fundamentally important not only from the point of view of marketing, but also from the point of view of logistics, by which we mean «the concept of enterprise management related to the effects of the subject of management on resource **flows** moving along certain trajectories through the links of the logistics system (suppliers and intermediaries) which perform the consolidation/unbundling of the objects of these flows in order to provide the final consumers located in a certain territory with the maximum **value** within the framework of the application of parameters of quantity and quality of products and services and the agreed parameters of time and costs for production and sale of them» [2].

It is obvious that the value of the final consumer of products and services significantly affects the quality of management of resource flows, and at the same time the quality of management of their trajectories, as well as logistical processes and systems.

**Objective.** The objective of the authors is to consider convertible flows and values in supply chains.

**Methods.** The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, economic methods.

### Results.

#### Hierarchy of terms

The conducted analysis of sources on the research topic allowed to reveal the following aspects of the concept of «value» and the accompanying notations:

1) the term «valuable» means «... with great merit, important, necessary» [3];

2) in [4], 31 definitions of value are given, and the most significant are the provisions that:

- this property of a certain object or phenomenon satisfies the needs, desires, interests of an individual, a group of people, society as a whole» [5];

- «there are biological (health, strength), economic (wealth), aesthetic (beauty), moral (virtue), religious (sacral) and other values» [6];

3) the notion of «consumer value» or «product utility» remains a widespread concept in marketing; it is considered «subjective, estimated indicator, depends on the comparative importance of the need, the satisfaction of which is the product, and on the degree of satisfaction of the product» [7];

4) F. Kotler believes that «the overall value for a consumer is a set of benefits that he expects to receive by purchasing a product or a service» [8];

5) for production of the value of the final consumer of products and services, the formation of a value chain or «a sequence of operations for creation of a product (value): research and development, product design, production, marketing, sales, after-sales service» [9];

6) effective formation and functioning of the value chain provides «a process for managing the overall sequence of integrated activities (interpretation of the «sequence of operations for creating a product (value)») and information about product flows throughout the value chain» or «value chain management» [10];

7) «value chain management» or «value management», along with «supply chain management» and «demand management» form the logistics as a management concept [11].

The presented hierarchical dependence of terms makes it possible to determine the degree of influence of the introduced concept of «value» on the essence and content of logistics, the object of research of which is the flow of resources.

		Consumer properties of products and services	
		Typical	Unique
Properties (parameters) of consumer's personality	Stable	Necessity	Habitual lifestyle
	Unstable	Need	Value

**Fig. 1. Classification of prerequisites for consumption of products and services.**

		Perception by a consumer of properties of products and services quality	
		Familiar	Unfamiliar
Type of needs	Primary	Stability of a value with a focus on primary needs	Development of a value with a consumer's focus on primary needs
	Secondary	Stability of a value with a consumer's focus on secondary needs	Development of a value with a consumer's focus on secondary needs

**Pic. 2. Classification of states of a value of a consumer of products and services by a type of his need.**

		Quantity of value	
		One	Several
Number of consumers	One	Individual value	Combined value
	Several	Collective value	Universal value

**Pic. 3. Classification of a value of a consumer of products and services on the basis of ownership.**

		Periodicity of occurrence of a value	
		Single	Renewable
Nature of manifestation of a value	Potential	Prototype	Stock
	Real	Object	Flow

**Pic. 4. Classification of forms of a value of consumers of products and services.**

**Clarification of the essence of concepts**

The peculiarity of our research is development of classification of prerequisites for consumption of products and services by their end-user. Its basis is shown in Pic. 1 classification characteristics: properties (parameters) of the consumer's personality (stable and unstable) and consumer properties of products and services (typical and unique).

Analysis of the information presented in Pic. 1, allows us to draw the following conclusions:

- value is a set of unique characteristics of objects and processes that have positive or negative values for the consumer, depending on his material, mental or spiritual state<sup>1</sup>;

- the value differs from the need for the uniqueness of consumer properties of goods (products and services) or, more precisely, their special perception by the consumer, and from the habitual lifestyle – dependence on the material, mental or spiritual state (or stability of the state) of the consumer;

- because the value of the consumer is directly related to his primary and secondary needs, using such classification characteristics as consumer perception of the properties of products and services as familiar and unfamiliar, as well as the type of needs, it is possible to establish the basic conditions of consumer value that can be either stable, or be in development (Pic. 2).

It should be noted that the second state can be provoked both by the consumer (motivation) and the supplier of products and services (stimulation) carried out within the business process «customer

relationship management» – component of value management [12].

In the chain of values, each of its links acts both as a supplier and as a consumer. On this basis, it is advisable to classify the value of a consumer of products and services on such attributes as the amount of value (one unit, two or more) and the number of consumers on which the value is distributed. As a result, we can distinguish four types of value: individual, collective, combined and universal (Pic. 3), each of which has specificity and scope of application in practice.

Before the consumer of products and services receives the necessary value, it acquires its own forms, which can be distinguished with the help of the following classification characteristics: periodicity of occurrence of a value (single, renewable) and nature of its manifestation (potential, real). It follows from Pic. 4, such forms are prototype, object, stock, flow.

From the point of view of logistics as a management concept, two last forms are of particular interest, which can be given the following definitions:

- value flow – a set of unique characteristics of objects and processes united according to certain characteristics that are consistently perceived by a consumer in space and time, depending on his material, mental or spiritual state. This concept defines the essence of logistics, for understanding of which we should refer to Pic. 5 [13]. On it, the main (primary) object of logistics is value flow, which is formed in conditions of the passive state of the consumer, performing functions of consumption, exploitation, consolidation/disaggregation or processing of resource flow objects that are customary

<sup>1</sup> The definition is based on data of the work [6].



		State of the consumer	
		Passive (waiting for delivery of the object)	Active (moves to the object)
State of the object (value)	Passive (stock)	Object (value) is owned by the consumer	Consumer moves to the object (value)
	Active (flow)	Object (value) moves to the consumer	Object (value) and the consumer move to each other

**Pic. 5. Variants of the state of the product (the object of the logistic flow) and the consumer in terms of flow control.**

		State of the value flow	
		Stop	Movement
State of value flow	Stop	Value preparation	Value formation on a stock basis
	Movement	Value delivery	Value formation on a flow basis

**Pic. 6. Classification of stages of obtaining a value by the consumer of production.**

		Value characteristic	
		Remains	Changes
Perception of a value by a consumer	Positive	Stability	Improvement of stability
	Negative	Unstability	Decrease in stability

**Pic. 7. Classification of variants of stability of perception of a value by a consumer of products and services.**

		Decision-making stage	
		Information gathering	Research
Contact with the object (-s)/ flow (-s) of value	Without contact	Message	Generalization
	With contact	Observation	Approbation

**Pic. 8. Classification of the stages of decision-making by the consumer about receipt of a value.**

for him, and the remaining functions are taken over by logistical, technological and trade links of the system operating on the principles of outsourcing;

– **value stock** – a set of unique, uniquely being created or created unique characteristics of objects and processes that the consumer seeks to use in space and time, depending on his material, mental or spiritual state.

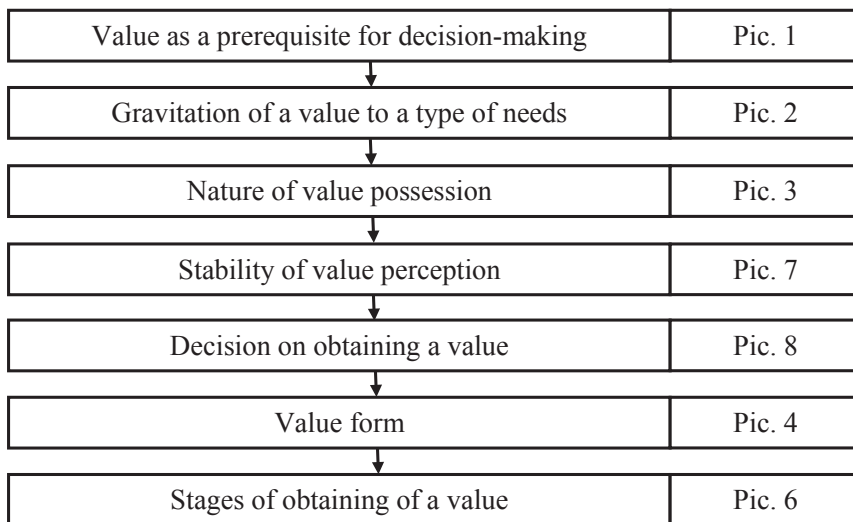
It follows from Pic. 6, the supplier of products and services should identify the following stages of obtaining a value by the consumer: preparation, delivery and value formation, and in two variants – on the basis of stock (time of obtaining a value and time of its use do not coincide) and on the basis of the flow at which the marked mismatch is absent.

Since a significant number of objects and processes of the surrounding reality change quantitative parameters and qualitative characteristics over time, it is necessary to take into account the following options for stability of perception of a value by the consumer of products and services: appearance, increase, preservation and reduction of

stability, and transition of a value to an unstable state (Pic. 7). This dynamic has a significant impact on efficiency and effectiveness of value management in supply chains.

The stability of perception of a value by the consumer is constantly exposed to external factors in relation to the consumer environment. As a result, taking into account such classification characteristics as the stage of the consumer's acceptance of products and services of the solution (information gathering, research), as well as contact with the object or the value flow (without contact and with contact), it is possible to distinguish the decision-making stages typical for the consumer: message, object/flow monitoring, approbation and generalization of the results obtained (Pic. 8).

The presented material allows to substantiate the stages of divergence of value management in supply systems (Pic. 9). Recall that the divergence phase is associated with a critical perception of reality, destruction of stereotypes, use of very broad figurative comparisons, extremely distant



**Pic. 9. Stages of divergence of value management in supply chains.**

		Type of need of end user	
		Primary	Secondary
Period of value possession	Long-term	State of consumer	Possession (exploitation)
	Short-term	Consumption (processing)	Impressions (reaction)

**Pic. 10. Classification of results of acquisition and use of values.**

		Stability of the state	
		Stable	Unstable
Readiness to act	Absence	Doubt	Apathy
	Presence	Confidence	Excitement

**Pic. 11. Classification of consumer's values.**

		Purpose of a value	
		For personal purposes	For purposes of other consumers
Periodicity of acquisition of a value	One-time	One-time value acquisition for personal purposes	One-time value acquisition for other consumers
	Periodically arising	Periodically arising acquisition of a value for personal purposes	Periodically arising acquisition of a value for the purposes of other consumers

**Pic. 12. Classification of the nature of consumption (processing) of value.**

associations. At this stage, the spectrum of various requirements for a future object is formed [14].

The attitude of the end user to the acquired value In order to clarify the content of the process of formation of the attitude of the final consumer to the acquired and used value, such classification

characteristics as the type of demand of the final consumer of products and services (primary and secondary) and the period of possession of a value (long-term and short-term) were applied. These characteristics help to isolate the results of acquisition of values by end-users (Pic. 10): consumer status,



		Variant of possession of value (property)	
		Ownership	Lease, etc.
Nature of possession	Individual	Individual possession of the property	Individual possession of another's property
	Collective	Collective possession of property	Collective possession of another's property

**Pic. 13. Classification of the nature of possession of value.**

		Attitude to value	
		Positive	Negative
Level of impressions of a value	Insignificant	Approval	Disappointment
	Significant	Delight	Irritation

**Pic. 14. Classification of consumer's impressions of the use of a value.**

State. Impression	Approval	Disappointment	Enthusiasm	Irritation
Doubt	Dbt – Aprl	Dbt – Dspt	Dbt – Ensm	Dbt – Irrtn
Apathy	Apth – Aprl	Apth – Dspt	Apth – Ensm	Apth – Irrtn
Confidence	Cnf – Aprl	Cnf – Dspt	Cnf – Ensm	Cnf – Irrtn
Excitement	Exct – Aprl	Exct – Dspt	Exct – Ensm	Exct – Irrtn

Consumption	Individual possession of property	Individual possession of another's property	Collective possession of property	Collective possession of another's property
One-time consumption for personal purposes	OTP – Io	OTP – Ia	OTP – Co	OTP – Ca
One-time consumption for purposes of other consumers	OTO – Io	OTO – Ia	OTO – Co	OTO – Ca
Periodically arising consumption for personal purposes	PP – Io	PP – Ia	PP – Co	PP – Ca
Periodically arising consumption for purposes of other consumers	PO – Io	PO – Ia	PO – Co	PO – Ca

**Pic. 15. Sequence of formation of the attitude of the final consumer to the acquired and used value.**

consumption (processing), possession (operation) and impressions (emotions).

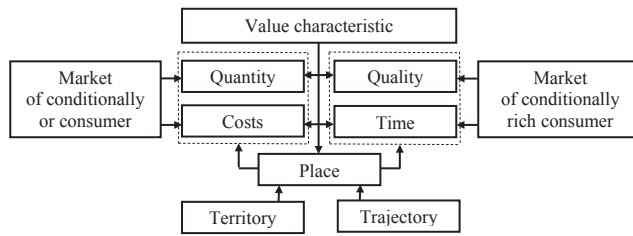
The arrows shown in Pic. 10, show the sequence of accounting options when there is a return from impressions (emotions) to the original version – the state of the consumer. In this case, the very state of the end consumer (stable and unstable) and his readiness for action (or lack thereof) lead to substantiation of four consumer states (Pic. 11): doubt, confidence, depression, excitement.

The main variants of the nature of consumption (processing) of a value: local internal, local external, typical internal and typical external (Pic. 12) – can be obtained with the help of such classification

characteristics as the purpose of a value (for personal purposes and for other consumers) and frequency of occurrence of a need to possess a value (one-off and periodically arising).

Such classification characteristics, as a variant of possession of a value (owned and leased) and the nature of possession (single and collective), form four variants of possession of a value: individual and collective possession as of own and another's property (Pic. 13).

Finally, variants of consumer's impressions of the use of a value – approval, enthusiasm, disappointment and irritation (Pic. 14) – are highlighted with the help of appropriate classification characteristics: the formed



Pic. 16. The main components of the value of the consumer.

Table 1

Components of the value of the consumer of products and services (material resources)

Value components	Flow 1	Flow 2	Flow ...	Flow N	Total
Quality, Q	$\sum_{i=1}^{l_1} Q_i$	$\sum_{i=1}^{l_2} Q_i$	...	$\sum_{i=1}^{l_N} Q_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^l Q_{si}$
Quantity, K	$\sum_{i=1}^{m_1} K_i$	$\sum_{i=1}^{m_2} K_i$	...	$\sum_{i=1}^{m_N} K_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^m K_{si}$
Costs, Z	$\sum_{i=1}^{n_1} Z_i$	$\sum_{i=1}^{n_2} Z_i$	...	$\sum_{i=1}^{n_N} Z_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^n Z_{si}$
Time, W	$\sum_{i=1}^{p_1} W_i$	$\sum_{i=1}^{p_2} W_i$	...	$\sum_{i=1}^{p_N} W_i$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^p W_{si}$
Value, V	$\sum_{q=1}^{l_1} V_q$	$\sum_{q=1}^{l_2} V_q$	...	$\sum_{q=1}^{l_N} V_q$	$\sum_{s=1}^N \sum_{i=1}^l V_{si}$

attitude to a value (positive and negative) and the level of impressions of a value (small and significant).

The data in Pic. 10–14 allow to predict the behavior of the consumer of products and services, taking into account the adjustments in the processes of creating, communicating, delivering and exchanging of messages that are of value to consumers, customers, partners and society as a whole. The aggregate material makes it possible to develop a sequence of forming the ratio of the final consumer to the acquired and used value (Pic. 15).

Analysis of the data presented in Pic. 15, allows us to draw the following conclusions:

- the history of a one-time or periodically arising consumption of a given product (service) affects both the value itself and the nature of owning the future value (arrow 1). At this stage, the priority type of consumption (in Pic. 15 – periodically arising consumption for personal purposes) is consistent with the nature of possession of the value (arrow 2 – individual possession of another’s property, for example, rent or mortgage);
- the value obtained by consumption of a product or service has an effect on the consumer’s impressions (arrow 3 – apathy), and at the same time the consumer’s state (in Pic. 15 – disappointment);
- the combination of «apathy – disappointment», in turn, affects the character of possession of a present (arrow 4), as well as a future value.

This sequence helps to clarify and supplement the theory and methodology of value management in supply chains and from the point of view of marketing, and from the standpoint of logistics as a concept of enterprise management.

**Flow transformation process**

To effectively manage value in supply chains, it is required to use the main components of consumer value, the number and composition of which are

justified in [15]. The data in Pic. 16 allow to structure the value of the consumer of products and services by quantity, quality, cost and time on the basis of the components of supply chain management – «process», «system», «consolidation», «Downsizing», «suppliers», «intermediaries» and additional value management components «territory» and «trajectory», and also to form the necessary set of flows of products and services (Table 1). The methodology for solving the problem is presented in [16].

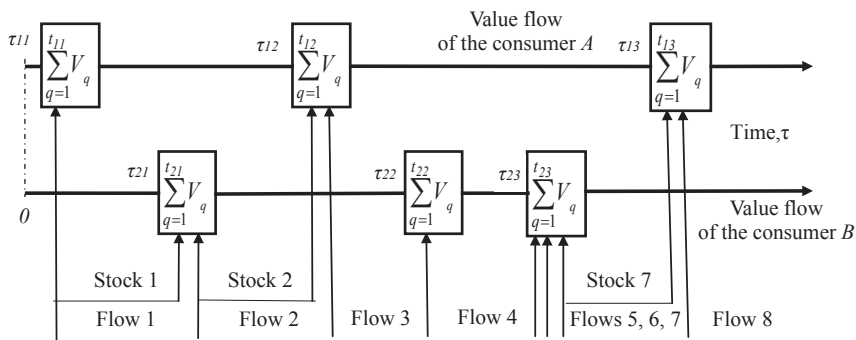
As follows from Table 1, each of the flows of products and services ensures creation and delivery of a value to their consumers. At the same time, the complex nature of consumption implies a consistent consolidation of flows as a consequence of their preliminary structuring in terms of:

- demand management in supply chains [11];
- forms of a value for consumers of products and services (Pic. 4);
- stages of obtaining value by the consumer (Pic. 6).

In addition, at the final stage of value management, there is another problem associated with the transformation of the flow of products and services (supply chain management) into value flows (value chain management in supply chains). The solution of this problem is provided on the basis of the data presented in Pic. 17. Their analysis allows us to draw the following conclusions:

- in the transformation of the flow of products and services into value flows, supplies of products and services are inevitable as a stock of value. For example, in Pic. 17 flow 1 breaks up into two flows of products and services, one of which is directed to consumer A, and the second goes into the state of the stock, waiting for conversion into the flow of value of the consumer B;





**Pic. 17. Scheme of converting the flow of products and services into value flows.**

– the stocks of the value of the consumer B (for example, 1 and 2) can go into the flows of products and services when the consumer B moves to another place (territory) and vice versa;

– when the consumer B receives several resources simultaneously (for example, 5, 6 and 7), it is necessary to take into account possible downtime (the appearance of the stock of flow objects), which reduces the value of this consumer.

#### Conclusion.

Thus, the article permitted to describe some elements of scientific novelty:

– stages of divergence of value management in supply chains are justified (Pic. 9);

– a sequence of formation of the ratio of the final consumer to the acquired and used value has been developed (Pic. 15);

– a methodical approach is proposed to transform the flows of products and services into value flows (Pic. 17).

In the course of further research it is supposed:

– to clarify the methodology for managing resource flows and value flows when eliminating cross-functional barriers in «supplier/consumer» channels;

– to supplement the theory of management of relations between suppliers and consumers in the systems of supply of products and services;

– to study the stages of demand management in the delivery systems of products and services.

#### REFERENCES

1. About AMA. [Electronic resource]: <https://www.ama.org/AboutAMA/Pages/Definition-of-Marketing.aspx>. Last accessed 11.02.2017.
2. Tyapukhin, A. P. Logistics and supply chain management: the author's view [Logistika i upravlenie cepjami postavok: avtorskij vzgljad]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 24: Menedzhment, 2011, Iss. 2, pp. 128–145.
3. Ozhegov, S. I., Shvedova, N. Yu. The explanatory dictionary of the Russian language [Tolkovyj slovar' russkogo jazyka]. Moscow, Azbukovnik publ., 1998, 944 p.
4. Value [Cennost']. [Electronic resource]: <http://terme.ru/termin/cennost.html>. Last accessed 11.02.2017.

5. Gurevich, P. S. Cultural science: Textbook for universities [Kul'turologija: Uchebnik dlja vuzov]. Moscow, Proekt publ., 2003, 336 p.

6. Zorin, V. I. Eurasian wisdom from A to Z: Explanatory dictionary [Evrazijskaja mudrost' ot A do Ja: Tolkovyj slovar']. Almaty, Sozdik-Slovar' publ., 2002, 408 p.

7. Consumer value [Potrebitel'skaja cennost']. [Electronic resource]: <http://marketopedia.ru/62-potrebitelnaya-cennost.html>. Last accessed 11.02.2017.

8. Kotler, F. Marketing Management. St. Petersburg, Piter publ., 2003, 800 p.

9. Porter, M. E. Competition in Global Industries. Boston, Harvard Business School Press, 1986.

10. Supply chain management [Menedzhment cepochki postavok] [Electronic resource]: <http://econom-lib.ru/3–21.php>. Last accessed 11.02.2017.

11. Tyapukhin, A. P. On the concepts of «logistics» and «supply chain management» [O ponjatijah «logistika» i «upravlenie cepjami postavok»]. Logistika, 2009, Iss. 2, pp. 16–17.

12. Dolbina, S. A., Tyapukhin, A. P. Theoretical preconditions for formation of business processes in value chains [Teoreticheskie predposylki formirovaniya biznes-processov v cepjah cennosti]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Serija: Ekonomika, 2011, Iss. 1, pp. 25–34.

13. Tyapukhin, A. P., Tyapukhina, O. A. Classification of trade intermediaries and options for their use in supply chains // Administrative consulting [Klassifikacija torgovyh posrednikov i varianty ih ispol'zovaniya v cepjah postavok]. Upravlencheskoe konsul'tirovanie, 2015, Iss. 4, pp. 94–106.

14. Tatur, Yu. G. The educational system of Russia: a higher school [Obrazovatel'naja sistema Rossii: vysshaja shkola]. Moscow, Research center of quality problems of training of specialists / Bauman MSTU, 1999, 278 p.

15. Tyapukhin, A. P. Author's view on the theory of logistics [Avtorskij vzgljad na teoriju logistiki]. Upravlenie kanalami distribucii, 2008, Iss. 3, pp. 178–191.

16. Tyapukhin, A. P., Tyapukhina, O. A. Substantiation of options and formation of a system of supply of material resources [Obosnovanie variantov i formirovanie sistemy postavok material'nyh resursov]. Voprosy sovremennoj ekonomiki, 2015, Iss. 4. [Electronic resource]: <http://economic-journal.net/2015/10/128>. Last accessed 11.02.2017. ●

Information about the authors:

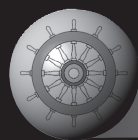
**Tyapukhin, Alexey P.** – D.Sc. (Economics), professor, head of the department of Logistics and transport technologies of Orenburg Transport Institute, branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia, [aptyapuhin@mail.ru](mailto:aptyapuhin@mail.ru).

**Tarasenko, Evgenia A.** – specialist in educational and methodical work of Orenburg Transport Institute, branch of Samara State Transport University, Orenburg, Russia, [t\\_e\\_a\\_t@mail.ru](mailto:t_e_a_t@mail.ru).

Article received 12.02.2017, accepted 21.03.2017.







## Системный анализ и моделирование транспортных и пассажирских потоков



Евгений МАСЛОВ

Evgeny S. MASLOV

### System Analysis and Modeling of Transport and Passenger Flows

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 150)

**В статье анализируются подходы к моделированию транспортных и пассажирских потоков для оптимизации и повышения эффективности функционирования имеющихся маршрутов и пересадочных узлов. Приведена методика оценки транспортных потоков в системе крупного города на основе транспортной модели. Выделены ключевые показатели для обеспечения взаимодействия в управлении транспортными и пассажирскими потоками. Описан системный подход при анализе возможностей интеграции частей (элементов) интеллектуальной транспортной системы.**

*Ключевые слова:* интеллектуальная транспортная модель, системный подход, управление транспортными потоками, управление пассажиропотоками, оптимизация, информационная модель, взаимодействие транспортных и пассажирских потоков.

*Маслов Евгений Сергеевич – аспирант кафедры интеллектуальных транспортных систем Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

**П**остоянно нарастающая нагрузка на транспортную сеть и пересадочные узлы города приводит к тому, что существенно возрастает интенсивность транспортных потоков, а расширять пути и увеличивать количество подъездных линий зачастую уже нет возможности. В этих условиях особое значение приобретает способность системы поднять пропускную способность станций и остановочных пунктов при минимальных изменениях архитектурно-планировочных решений, без капитальной реорганизации, с помощью внутренних ресурсов транспортных объектов.

Возникает задача оптимизации транспортных потоков, повысить эффективность функционирования имеющихся дорог, максимально сэкономив материальные средства на дорогостоящей реконструкции, а также избавить улицы от пробок и заторов, отнимающих много времени и нервов у водителей и пассажиров и к тому же серьезно загрязняющих окружающую среду.

Решение задачи по увеличению пропускной способности при текущей транспортной инфраструктуре можно найти при детальном изучении движения транспорт-

ных потоков, транспортных средств, пассажиров, их взаимодействия между собой и элементами транспортной сети, условий и логики управления потоками.

## 1.

Какие параметры определяют транспортный поток? Является ли данное множество автомобилей на дороге транспортным потоком или нет? С какого количества транспортных средств начинается поток? Эти вопросы никогда не были чисто умозрительными.

Одно транспортное средство не является потоком, а два – вероятно, уже могут им быть (например, в модели «следования за лидером» рассматривают две транспортные единицы). То есть понятие транспортного потока определяется в рамках той теории или модели транспортных процессов и систем, в которой используется. И для каждого типа моделей и уровня детализации поток будет иметь свой характер и свойства движения.

Например, в абстрактной теории транспортных процессов и систем, построенной на использовании математической модели, которую условно можно назвать транспортной машиной от профессора В. В. Доенина [1], транспортный поток (ТП) – это совокупность транспортных объектов, проходящих через заданную точку сети в определённый момент времени. Транспортный процесс и учёт влияния факторов взаимодействия объектов на характер его развития может быть осуществлён с помощью модели движения объектов [2]:

$$\begin{aligned} z_v^i &= f_z^i(x_v^i, s_v^i), \\ s_{v+1}^i &= f_s^i(x_v^i, s_v^i), \\ d_{v+1}^i &= f_d^i(x_v^i, s_v^i), \\ x_v^i &= f_x^i(z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k, t_v), \\ t_v &= t_{v-1} + \Delta t, i=1, 2, \dots, k, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $z_v^i$  – функция реакции транспортного объекта в  $v$ -й момент времени;  $s_{v+1}^i$  – состояние объекта в  $v + 1$  момент времени для рассматриваемого  $i$ -го процесса;  $d_{v+1}^i$  – местоположение объекта в среде в  $v + 1$  момент времени для  $i$ -го процесса;  $x_v^i$  – переменная, указывающая на наличие

места в зоне по ходу движения объекта для  $i$ -го процесса;  $\Delta$  – дискретный шаг изменения времени  $t$ .

Модель (1) отражает факт влияния каждого из  $k$  объектов системы на рассматриваемый  $i$ -й процесс, проявляющийся через изменение входных воздействий  $x_v^i$  как результат формирования совокупности реакций  $z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k$ . Опираясь на данную модель, можно обеспечить анализ свойств динамических систем любого рода, предназначенных для перемещения объектов различного вида.

Согласно другой версии [3], ТП – это совокупность транспортных средств, движущихся по проезжей части дороги. Здесь же, в зависимости от числа полос и разрешённых направлений движения, транспортный поток подразделяют на однополосный односторонний, двух-, трёхполосный (и более) односторонний или двусторонний.

Определение пассажиропотока в абстрактной теории В. В. Доенина обобщено понятием интеллектуального транспортного потока. И формулируется оно так [1]: интеллектуальным будем называть дискретный транспортный поток, управление транспортным процессом в котором реализуется либо внешним по отношению к объекту транспортным оператором (централизованное управление), либо самими интеллектуальными транспортными объектами самостоятельно (автономное управление), либо одновременно тем и другим (комбинированное управление). Важнейшими характеристиками транспортных потоков в данном случае являются управляемость, устойчивость и сходимости транспортных процессов.

В ином источнике [4] пассажиропоток определён как совокупность поездок, объединённых единым направлением и совершаемых в рассматриваемый период.

Однако, несмотря на всё разнообразие трактовок и многовариантность подходов к понятию, анализ транспортных потоков остаётся сложным этапом управления дорожным движением и может базироваться на:

- статистических данных, в основе которых транспортное обследование, использование автоматизированных пунктов



учёта движения транспортными детекторами, экспертные оценки, вынесенные при помощи транспортной модели;

- моделировании дорожно-транспортных ситуаций посредством специального компьютерного обеспечения;
- комплексном подходе.

Комплексный или комбинированный подход, когда объединяются статистические данные, собранные при помощи всех доступных методов, и результаты моделирования, даёт обычно наилучшие решения.

Согласно анализу, универсальными для моделирования транспортных потоков и возможности воспроизведения совокупности как отдельных деталей движения, так и системного процесса в целом являются методы имитационного моделирования.

## 2.

С помощью методов имитационного моделирования возможно использование многоподходного варианта, что позволяет построить транспортную модель для анализа свойств и поведения индивидуальных объектов (применяя агентное моделирование) и для системного синтеза. При описании системы с участием транспортных процессов (применяя дискретно-событийное моделирование) или глобальных зависимостей (применяя системную динамику) вполне допустима и комбинация таких подходов.

Первоочередной задачей анализа транспортных потоков на основе транспортной модели является формулировка заданий по разработке мероприятий, направленных на оптимизацию дорожного движения, среди которых могут быть:

- реконструкция улично-дорожной сети, территории или архитектурной планировки станции, транспортного узла;
- оптимизация работы имеющихся в наличии технических средств организации дорожного движения (информационных табло, светофоров и др.);
- подготовка новых ИТС-решений.

Информация, характеризующая транспортные потоки, обычно разнородна и состоит из больших объёмов данных.

Эффективный их анализ возможен лишь при условии построения имитационной модели и применения специализированного программного обеспечения, которое способно:

- предоставлять данные в стандартизованном и наглядном виде;
- сравнивать структуры и массивы данных;
- осуществлять проверку информации на достоверность.

Многолетний опыт научных исследований и практических наблюдений за транспортными потоками позволил выделить наиболее объективные показатели. Среди них выделяются: интенсивность транспортного потока, его состав по типам транспортных средств, плотность потока, скорость движения, задержки движения.

Интенсивность транспортного потока — это число транспортных средств, проезжающих через сечение дороги за единицу времени. В качестве расчётного периода времени для определения интенсивности движения принимают год, месяц, сутки, час и более короткие промежутки (минуты, секунды) в зависимости от поставленной задачи и средств измерения.

Плотность транспортного потока является пространственной характеристикой, определяющей степень стеснённости движения на полосе дороги. Её измеряют числом транспортных средств, приходящихся на один км протяжённости пути. Предельная плотность достигается при неподвижном состоянии колонны автомобилей, расположенных вплотную друг к другу на полосе. Для потока современных легковых автомобилей теоретически предельное значение составляет около 200 авт./км.

Задержки движения — показатель, на который должно быть обращено особое внимание при оценке состояния дорожного движения. К задержкам следует относить потери времени на все вынужденные остановки транспортных средств не только перед перекрёстками, железнодорожными переездами, при заторах на перегонах, но также из-за снижения скорости транспортного потока по сравнению со сложившейся средней скоро-

стью свободного движения на данном участке дороги.

Для характеристики пассажирских потоков используются такие основные показатели:

- транспортная подвижность;
- коэффициент пересадочности;
- время передвижения по маршруту;
- мощность или напряжённость;
- затраты на пересадку (время, работа);
- объём пассажиров;
- интенсивность потока;
- плотность потока;
- направление потока;
- коэффициент сменяемости пассажиров.

Уточним некоторые ключевые показатели:

– мощность пассажирских потоков – это количество пассажиров, которое проезжает в определённое время на заданном участке маршрута в одном направлении;

– объём пассажиров есть их количество, перевозимое за определённый промежуток времени (час, сутки, месяц, год);

– коэффициент сменяемости определяется как отношение длины маршрута к средней дальности поездки пассажиров.

Концепцией системного подхода к транспортной системе подразумевается прежде всего взаимосвязь территориально-сетевых частей или транспортных подсистем города. В настоящее время транспортные системы обладают недостаточной эффективностью, поскольку им не удаётся связать существующие части или этапы (функции) в единый механизм. Как правило, функции подготовки груза к перевозке осуществляются без должной координации с погрузочными работами, а последние с потребностями и запросами получателей и т.д. Выделение отдельных функций в самостоятельные производства и неспособность объединить части в единое целое обусловлены различными причинами, включая узость взглядов специалистов, недостатки в организации и транспортном планировании и др. Но во всех случаях это подчёркивает лишь одно: потребность в более рациональном решении транспортной задачи и оптимизации транспортных процессов в целом.

## ВЫВОДЫ

Анализ и синтез частей сложной системы, к разряду которых, несомненно, относится транспортная система большого города, подразумевают использование системного подхода. Он позволяет организовывать и перераспределять, мультиплексировать потоки, обеспечивая население городов транспортными услугами с минимальными задержками и затратами на обслуживание. Благодаря детальному изучению взаимодействия всех транспортных единиц и транспортной инфраструктуры между собой, а также в совокупности с пассажирами, участвующими в транспортном процессе, достигается эффект эмерджентности системы, помогающий оптимизировать пропускную способность и увеличить транспортную доступность сети. А в этом случае и легче оценить и по возможности улучшить маршрутизацию транспортной системы города по любому пересадочному узлу или интермодальной станции, без капитального изменения архитектурно-планировочных решений, за счёт экономной реорганизации уже имеющейся транспортной инфраструктуры и более рационального управления параметрами движения транспортных и пассажирских потоков.

Реализация системного подхода при решении подобных задач управления может быть обеспечена научным моделированием транспортных и пассажирских потоков, предоставлением клиентам транспортных услуг возможности анализа и построения маршрутов с помощью комбинированного пользования различными видами транспорта, что становится реальным на основе имитационных моделей и объединения данных всех систем и модулей в интеллектуальную транспортную систему.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Доенин В. В. Интеллектуальные транспортные потоки. – М.: Спутник+, 2007. – 306 с.
2. Доенин В. В. Основы абстрактной теории транспортных процессов и систем. – М.: Спутник+, 2011. – 348 с.
3. СП 122.13330.2012. Тоннели железнодорожные и автодорожные.
4. Варелуполо Г. А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.

Координаты автора: **Маслов Е. С.** – [ecmaslov@gmail.com](mailto:ecmaslov@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 22.12.2016, принята к публикации 03.02.2017.



**ABSTRACT**

The article analyzes approaches to modeling of transport and passenger flows for optimizing and improving the efficiency of functioning of existing routes and interchange nodes. A technique for estimating traffic flows in a large city system based

on a transport model is presented. Key indicators to provide interaction in the process of control of transport and passenger flows are identified. A systematic approach is described in analyzing the possibilities of integrating parts (elements) of an intelligent transport system.

*Keywords:* intelligent transport model, system approach, transport flow control, passenger flow control, optimization, information model, interaction of transport and passenger flows.

**Background.** Constantly increasing load on the transport network and interchange nodes of the city leads to the fact that the intensity of transport flows increases substantially, and it is often no longer possible to expand the ways and increase the number of access lines. In these conditions, the ability of the system to increase the capacity of stations and stopping points with minimal changes in architectural and planning decisions, without capital reorganization, with the help of internal resources of transport facilities acquires special significance.

The task is to optimize traffic flows, increase the efficiency of functioning of existing roads, maximally save material resources for expensive reconstruction, and also save streets from traffic jams and congestion that take a lot of time and nerves for drivers and passengers and also seriously pollute the environment.

The solution of the task of increasing the capacity with the current transport infrastructure can be found in a detailed study of transport flows, vehicles, passengers, their interaction with each other and the elements of the transport network, the conditions and logic of flow control.

**Objective.** The objective of the author is to consider the issues of a system analysis and modeling of transport and passenger flows.

**Methods.** The author uses general scientific methods, comparative analysis, economic evaluation, simulation modeling.

**Results.**

**1.**

What parameters determine the transport flow? Is this set of cars on the road a traffic flow or not? From how many vehicles does the flow start? These questions have never been purely speculative.

One vehicle is not a flow, and two are probably already able to be (for example, in the «follow-behind-the-leader» model, two transport units are considered). That is, the notion of a transport flow is defined within the framework of that theory or model of transport processes and systems in which it is used. And for each type of a model and a level of detail, the flow will have its own character and motion properties.

For example, in the abstract theory of transport processes and systems based on the use of a mathematical model that can be conditionally called a transport machine by professor V. V. Doenin [1], the transport flow (TF) is a set of transport objects passing through a given point of the network in a certain point in time. The transport process and the account of the influence of factors of the interaction of objects on the nature of its development can be carried out using the model of the movement of objects [2]:

$$\begin{aligned}
 z_v^i &= f_z^i(x_v^i, s_v^i), \\
 s_{v+1}^i &= f_s^i(x_v^i, s_v^i), \\
 d_{v+1}^i &= f_d^i(x_v^i, s_v^i), \\
 x_v^i &= f_x^i(z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k, t_v), \\
 t_v &= t_{v-1} + \Delta t, i=1, 2, \dots, k,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

where  $z_v^i$  – function of the reaction of the transport object at  $v$ -th moment of time;  $s_{v+1}^i$  – state of the object at  $v + 1$  moment of time for the considered  $i$ -th process;  $d_{v+1}^i$  – location of the object in the medium at  $v + 1$  moment of time for the  $i$ -th process;  $x_v^i$  – variable indicating the presence of a place in the zone along the object’s movement for the  $i$ -th process;  $\Delta$  – discrete step of changing time  $t$ .

The model (1) reflects the fact of influence of each of  $k$  objects of the system on the considered  $i$ -th process, which manifest itself through the change of input actions  $x_v^i$  as a result of formation of a set of reactions  $z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k$ . Relying on this model, it is possible to provide an analysis of the properties of dynamical systems of any kind intended for moving objects of various kinds.

According to another version [3], TF is a set of vehicles moving along the roadway. Here, depending on the number of lanes and the permitted directions of motion, the traffic flow is divided into one-sided, two-sided, three-sided (and more).

The definition of a passenger flow in the abstract theory of V. V. Doenin is generalized by the concept of an intelligent transport flow. And it is formulated as follows [1]: an intelligent one will be called a discrete transport flow, the control of a transport process in which is realized either by an external transport operator (centralized control) or by intellectual transport objects independently (autonomous control), or by both (combined control). The most important characteristics of transport flows in this case are controllability, stability and convergence of transport processes.

In another source [4], passenger flow is defined as a set of trips united by a single direction and performed during the period of time under consideration.

However, despite the diversity of interpretations and the multivariate approach to the concept, the analysis of transport flows remains a complex stage of traffic control and can be based on:

- statistical data, based on the transport survey, the use of automated traffic counters by transport detectors, expert assessments made using a transport model;
- modeling of road and transport situations through special computer support;
- integrated approach.

An integrated or combined approach, when aggregating statistical data collected by all available methods, and modeling results, usually yields the best solutions.

According to the analysis, the methods of simulation modeling are universal for the modeling of transport flows and the ability to reproduce the aggregate of both the individual parts of movement and the system process as a whole.

## 2.

With the help of simulation methods, it is possible to use a multi-approach option, which allows to build a transport model for analyzing the properties and behavior of individual objects (using agent modeling) and for system synthesis. When describing a system involving transport processes (using discrete-event modeling) or global dependencies (using system dynamics), a combination of such approaches is also quite possible.

The primary task of the analysis of transport flows on the basis of the transport model is the formulation of tasks to develop activities aimed at optimizing road traffic, among which may be:

- reconstruction of the street-road network, territory or architectural layout of the station, transport hub;
- optimization of the available technical means of traffic organization (information boards, traffic lights, etc.);

- preparation of new ITS-solutions.

The information characterizing transport flows is usually heterogeneous and consists of large amounts of data. Effective analysis is possible only if the simulation model is constructed and specialized software is used that can:

- provide data in a standardized and clear manner;
- compare structures and arrays of data;
- verify the information for reliability.

Long-term experience of scientific research and practical observations of transport flows allowed to identify the most objective indicators. Among them: intensity of the transport flow, its composition according to vehicle types, flow density, speed of movement, delays in movement.

The intensity of the transport flow is the number of vehicles passing through the cross section of the road per unit time. As the estimated period of time year, month, day, hour and shorter intervals (minutes, seconds) are taken to determine the traffic intensity, depending on the task and measurement tools.

The density of the transport flow is a spatial characteristic determining the degree of constraint on the road. It is measured by the number of vehicles per 1 km of the length of the road. The maximum density is achieved when the car column is stationary, located close to each other on the lane. For the flow of modern passenger cars, the theoretical limit value is about 200 cars / km.

Delays in movement are an indicator that should be paid special attention in assessing the state of the road traffic. Delays should include the loss of time for all the stops of vehicles not only before crossings, railway crossings, traffic congestion, but also due to a decrease in the speed of the transport flow compared to the current average speed of free motion on this road section.

To characterize passenger flows, the following key indicators are used:

- transport mobility;
- interchange rate;
- time of movement along the route;
- power or tension;
- costs for an interchange (time, work);
- volume of passengers;
- intensity of the flow;
- density of the flow;
- direction of the flow;
- replacement rate of passengers.

Let's clarify some key indicators:

- power of passenger flows is the number of passengers passing at a certain time on a given section of the route in one direction;

- volume of passengers is their quantities, transported for a certain period of time (hour, day, month, year);

- replacement rate is defined as the ratio of the length of the route to the average range of travel of passengers.

The concept of a system approach to the transport system is primarily the interconnection of the city's territorial-network parts or transport subsystems. Currently, transport systems are not efficient enough, because they cannot link existing parts or steps (functions) into a single mechanism. As a rule, the functions of preparing cargo for transportation are carried out without proper coordination with loading operations, and the latter with the needs and requests of recipients, etc. Separation of individual functions into independent industries and the inability to unite the parts into a single whole are due to various reasons, including the narrowness of the views of specialists, shortcomings in organization and transport planning, etc. But in all cases this emphasizes only one: the need for a more rational solution of the transport problem and optimization of transport processes in general.

**Conclusions.** Analysis and synthesis of parts of a complex system, to the category of which, undoubtedly, the transport system of a large city belongs, imply the use of a systematic approach. It allows organizing and redistributing, multiplexing flows, providing the city's population with transportation services with minimal delays and maintenance costs. Due to a detailed study of the interaction of all transport units and transport infrastructure among themselves, and also in conjunction with passengers involved in the transport process, the emergence of the system is achieved, helping to optimize capacity and increase transport accessibility of the network. And in this case it is easier to evaluate and, if possible, improve the routing of the city's transport system at any interchange node or intermodal station, without a major change in architectural and planning decisions, by economically reorganizing the existing transport infrastructure and more rational traffic control of transport and passenger flows.

The implementation of the system approach in solving such control tasks can be provided by scientific modeling of transport and passenger flows, provision of transport services to customers of transport services with the possibility of analyzing and constructing routes using combined use of various modes of transport, which becomes real on the basis of simulation models and data integration of all systems and modules in intelligent transport system.

## REFERENCES

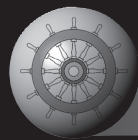
1. Doenin, V. V. Intelligent transport flows [*Intellektual'nye transportnye potoki*]. Moscow, Sputnik+ publ., 2007, 306 p.
2. Doenin, V. V. Fundamentals of the abstract theory of transport processes and systems [*Osnovy abstraktnoj teorii transportnyh processov i sistem*]. Moscow, Sputnik+ publ., 348 p.
3. SP 122.13330.2012. Railway and road tunnels [SP 122.13330.2012. *Tonneli zheleznodorozhnye i avtodorozhnye*].
4. Varelopulo, G. A. Organization of traffic and transport on urban passenger transport [*Organizacija dvizhenija i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte*]. Moscow, Transport publ., 1990, 208 p. ●

Information about the author:

**Maslov, Evgeny S.** – Ph.D. student at the department of Intelligent transport systems of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, [ecmaslov@gmail.com](mailto:ecmaslov@gmail.com).

Article received 22.12.2016, accepted 03.02.2017.





## ВСМ-2 и модернизация транспортно-логистических систем мегаполисов



Тахир ДАВЛЕТШИН

Takhir G. DAVLETSHIN

### HSR-2 and Modernization of Transport and Logistics Systems of Megacities

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 159)

**Тема статьи – влияние ВСМ-2 Москва–Казань–Екатеринбург на судьбу транспортно-логистических систем мегаполисов и крупных городских агломераций вдоль трассы, на градостроительные концепции развития. Комплексная модернизация транспортного каркаса городских агломераций при строительстве высокоскоростной магистрали может решить транспортные проблемы, накопившиеся в течение столетий, позитивно отразиться на пространственно-территориальном развитии городов, повысит эффективность инвестиций, даст резонно ожидаемый синергетический эффект. Причём такая модернизация может потребовать даже меньше средств, чем планируется на этапе строительства (хотя это не самоцель), а экономический эффект при эксплуатации ВСМ, городского и пригородного транспорта обещает быть выше намечаемого, и это открывает новые перспективы для пространственно-территориального развития притрассовых городов и агломераций.**

*Ключевые слова:* ВСМ-2, мегаполисы, агломерации, международные транспортные коридоры, транспортно-логистические системы, взаимовлияние, трассировка, долгосрочный эффект.

*Давлетшин Тахир Габдрашитович – директор ООО «УК «Южная», Казань, Россия.*

**И**нтеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны заявлены в числе главных целей «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» [1].

Географическое положение страны между Европой и Азией предрасполагает к развитию евроазиатских коридоров, чему способствует и бурный экономический рост Китая. Сложившийся транспортный коридор «Запад–Восток» (включая Транссиб) является скелетной транспортной структурой России, но в век высоких скоростей и больших объёмов перевозок потенциал сибирской магистрали ограничен. Поэтому этот коридор нуждается в модернизации и дополнении другими транзитными линиями.

В рамках транспортного коридора «Запад–Восток» сегодня реализуются два крупных проекта – автотрасса Европа–Западный Китай и высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва–Казань–Екатеринбург (ВСМ-2) с продолжением до Пекина. Однако пока оба проекта развиваются низкими темпами, руководители не определились окончательно даже с траекторией магистрали, каждое новое обстоя-



тельство провоцирует изменение маршрута, идут споры о трассе между регионами.

Низкие темпы реализации проектов обусловлены, с одной стороны, сложной финансово-экономической ситуацией в стране, с другой — Россия, долгие годы не занимавшаяся масштабными транспортными проектами, разучилась, не имеет навыков их проектирования и финансирования, недостаточна у нас и законодательная база. Анализ проектных решений по ВСМ-2 показывает, что преобладают стереотипы второй половины XX века, недостаточного внимания взаимовлиянию транспортных коридоров как друг на друга, так и транспортно-логистических систем мегаполисов и городских агломераций.

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ И ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ**

Для экономики России приоритетом в транспортной сфере ныне является развитие международных транспортных коридоров.

Только в 2010 году в связи с завершением строительства федеральной трассы «Амур» Чита—Хабаровск европейская часть страны соединилась сквозной асфальтированной автотрассой с Дальним Востоком. Проектируемая автодорога Европа—Западный Китай станет первой российской трассой высокого уровня на наших восточных рубежах. Российская часть дороги Санкт-Петербург—Вологда—Казань—Оренбург—граница Казахстана, пересекая Татарстан, окажет сильное влияние на всю транспортно-логистическую систему республики.

Что касается железных дорог, то построенная 50—100 лет назад сеть устарела (не сами железные дороги, они обновляются), нужны прямые трассы, высокие скорости, современная система управления.

Проект строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва—Казань—Екатеринбург может привести качественно новые стандарты в пассажирские и грузовые перевозки между Европой и Азией.

В 2015 году появился и третий проект. Государственный концерн «Автодор» объявил о намерении начать в 2018 году строительство платной автотрассы Москва—Казань, причём в одном коридоре с ВСМ-2.

Холдинг «РЖД» и ГК «Автодор» отработывают единый проект по подготовке территорий и выносу коммуникаций, что существенно сократит затраты на строительство. Очевидно, проектирование крупных транспортных программ должно учитывать взаимосвязь и взаимовлияние магистралей друг на друга, и маршруты их могут согласованно измениться, если заранее оптимизировать места их пересечения, дислокацию сопутствующих объектов и коммуникаций [2, 3].

Например, проект строительства автотрассы Москва—Казань существенно повлияет на маршрут автодороги Европа—Западный Китай в Казанской зоне. Ранее проведённые расчёты грузовых и пассажирских потоков, а следовательно, и дислокации транспортно-логистических центров, вокзалов и станций имеют причину сильно измениться с появлением любого нового проекта, что потребует дополнительных затрат и усилий, в том числе и на научные исследования.

## **ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В ЗОНЕ ТРАССЫ**

На развитие крупных городов и агломераций, расположенных вдоль трассы, ВСМ-2 окажет наибольшее влияние, и необходим кардинальный пересмотр их генпланов. Изменения в генпланах городов и их транспортной инфраструктуры предопределят, в свою очередь, трансформацию (коррекцию) маршрутов и условий как существующих МТК, так и проектируемых [3].

Транспортно-логистические системы крупных городов формировались столетиями, при этом проблемы накладывались друг на друга, и на первый взгляд может казаться, что реализация новых проектов может только усугубить уже существующие трудности. Прокладка магистралей по исторически сложившимся городским транспортным коридорам может снизить их пропускную способность (впрочем, и как существующих), значительно ухудшить качество городской среды. Снос зданий и сооружений, перенос коммуникаций, дополнительные транспортные развязки на пересечении с улицами потребуют колоссальных средств. Выход? Необходимо придерживаться требований к организации МТК о касательном обходе мегаполисов.



Вслед за началом проектирования ВСМ-2 в январе 2015 года был анонсирован проект железнодорожной ВСМ «Москва—Пекин». А летом 2017 года ОАО «РЖД» объявило о том, что разрабатывается проект грузопассажирской ВСМ «Евразия», который объединит крупнейшие высокоскоростные транспортные системы Европы и Китая. Общая протяжённость трассы составит 9,5 тыс. километров (расстояние Пекин—Москва—Берлин), а её маршрут будет включать участок Москва—Казань, проходя в средней части через Урал и Сибирь, а также Казахстан и Монголию. ВСМ рассчитана на обращение как пассажирских, так и грузовых контейнерных поездов, что в корне изменит транспортно-логистическую систему вдоль трассы.

Согласно последней версии трассировки (пока не утверждённой) ВСМ-2 проходит на удалении от городов Владимир и Чебоксары, касательно через Н. Новгород и крупную городскую агломерацию — Камскую, включая весь город Казань. Москва и Екатеринбург приняты за конечные пункты, в них станции ВСМ запланированы в центре городов.

Трасса транзитной ветки ВСМ в Н. Новгороде проходит по его окраинам, в 15 км от центра, и таким образом де-факто реализуется касательный обход города. Поезда нижегородского формирования прибывают на Московский вокзал, при этом проезд через город отменить пока не представляется возможным, ветка трассы на Киров пересекает весь город, северный обход пока не обсуждается.

Прохождение ВСМ-2 через Камскую агломерацию неизбежно влияет на перспективы транспортной системы городов Н. Челны, Нижнекамск и Елабуга, кардинально изменив стратегии развития этих крупных населённых пунктов. Пока их руководство не осознает этот факт, планирование городов без учёта трассировки ВСМ-2 влекут за собой значительные нерациональные затраты сегодня, а ещё большие в будущем.

Кстати, Москва и Екатеринбург, рассматриваемые сейчас как конечные пункты трассы ВСМ-2, не являются таковыми в будущем: с развитием в стране сети ВСМ последует продолжение магистрали на запад, юг и север. Экономист, эксперт МЭФ

В. А. Кашин вообще выступает сторонником крайних мер: предлагает убрать все вокзалы из центра города — со всей их инфраструктурой, а «концы» направляющихся в Москву железных дорог замкнуть на уже имеющиеся аэропорты [4].

Представляется более целесообразным другое решение: ВСМ должна подходить к одной из станций Московского центрального кольца (МЦК), а также к одному или двум из московских аэропортов [3]. В Екатеринбурге маршрут и дислокация вокзала тоже требуют нестандартных решений: кроме движения на восток предполагается ответвление на Челябинск.

Непродуманная, научно не подкреплённая трассировка ВСМ-2 может отрицательно сказаться на оптимальной организации грузовых и пассажирских перевозок, сохранности природы и территориально-пространственном развитии городов и агломераций, что можно продемонстрировать наиболее наглядно на примере проектирования ВСМ в Казанской зоне, потому что здесь ситуация особо сложная.

## ТРАНСПОРТНЫЙ КАРКАС КАЗАНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

В разрабатываемой ныне стратегии социально-экономического развития города Казани до 2030 года вопросы транспортной инфраструктуры занимают важное место. Однако городскую среду и транспортную инфраструктуру разработчики стратегии пока видят в узких рамках городского благоустройства и транспортного обслуживания населения, изолированно от системы национальных и международных транспортных коридоров, три из которых имеют статус евразийских: «Север—Юг», «Запад—Восток», «Европа—Западный Китай» [5].

Несмотря на то, что в стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан-2030 МТК как раз уделено немало внимания, чего не скажешь о сети транспортно-логистических центров. С учётом этого необходимо вносить коррективы в планы преобразований и казанской агломерации, и всей конфигурации регионального транспортного каркаса.

При всех достоинствах объездной М-7 автотрасса и железная дорога оказались разъединёнными. При этом объездная дорога и город также в значительной степени

изолированы друг от друга: предложенные разработчиками предыдущих генпланов радиальные выезды из города по сей день не реализованы — Казань оказалась в некоем «котле».

Планы строительства ВСМ-2 Москва—Казань—Екатеринбург вносят дополнительные проблемы, которые не решаются в рамках существующего транспортного каркаса. Обсуждаемая специалистами трассировка магистрали с заездом на станцию Казань-2 через городской лес «Лебяжье» ухудшает для населения транспортную доступность, качество городской среды, а также приведёт к удорожанию строительства, уменьшению скорости прохождения города поездами ВСМ.

Трассировка ВСМ-2 от Н. Новгорода до Н. Челнов выполнена ОАО «Томгипротранс», проектировщиком мостов и дорог в Сибири. Анализ подходов к проектированию показывает, что был реализован сугубо отраслевой подход, дислокация вокзала Казань-2 принята как аксиома, не учтены взаимосвязь и взаимовлияние имеющихся и строящихся магистралей в казанской зоне, перспективы развития городского транспортного каркаса и самого города. Проектанты не изучили разработки казанских специалистов, что значительно упростило бы их работу. Математическое моделирование транспортных потоков в Казанской агломерации в трёх-четырёх вариантах трассировки с учётом экономических, экологических, градостроительных аспектов внесло бы ясность при выборе оптимального маршрута.

21 марта 2016 года трассировка ВСМ в казанской зоне стала предметом обсуждения в Совете по правам человека при Президенте РФ. Совет обратил внимание на нарушения экологического законодательства и рекомендовал Минтрансу РФ, кабинету министров Татарстана и РЖД исключить из проекта вариант прохождения ВСМ по городскому лесу «Лебяжье» на территории Казани как противоречащий ст. 105 Лесного кодекса РФ [6].

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ ЗОНАЛЬНОЙ ТРАССИРОВКИ**

Кроме маршрута через город обсуждаются южный и северный обходы. Высказывания отдельных экспертов по южному

обходу не подкреплены никакими расчётами и разумными доводами, поэтому этот маршрут витает на уровне идеи. Представляется актуальным проектное предложение «Обходная железная дорога г. Казани» [7], которое предусматривает строительство железной дороги в обход Казани, севернее автодороги М-7 от посёлка Красный Яр Зеленодольского р-на до разъезда Бирюли Высокогорского р-на (село Калинино) протяжённостью примерно 50 км, а также нового железнодорожного вокзала Казани за посёлком Сухая Река и линии метрополитена 6,5 км и автотрассы 6 км до него. На имеющихся в черте города железнодорожных путях протяжённостью более 100 км будет организовано наземное метро, интегрированное с городским и пригородным транспортом, поставка грузов по железной дороге на предприятия предполагается в ночное время.

Стоимость проекта обходной железной дороги и участка ВСМ-2 в одном коридоре в казанской зоне составляет 150 млрд рублей (в ценах 2016 года), включая строительство следующих объектов:

- железной дороги пос. Красный Яр—разъезд Бирюли (52 км • 0,5 млрд руб./км = 26 млрд руб.);
- вокзального комплекса на М-7 за Сухой Рекой — 10 млрд руб.;
- линии метро протяжённостью 6,5 км с четырьмя станциями — 50 млрд руб.;
- автотрассы протяжённостью 6 км с развязками — 6 млрд руб.;
- высокоскоростной магистрали от границы с Марий Эл до Нового вокзала на М-7 (42 км • 1,26 млрд руб./км = 53 млрд руб.);
- прочие затраты — 5 млрд руб.

При достижении несопоставимо более высоких результатов итоговые инвестиционные затраты варианта существенно ниже предполагаемых затрат на строительство ВСМ-2 через город: трасса протяжённостью 47 км от границы Марий Эл до Казань-2 оценивалась инициаторами ВСМ-2 в 166 млрд руб. в ценах 2014 года, при этом стоимость выезда из города от Казань-2 в восточном направлении не учитывалась.

Реализация проекта позволяет выпрямить трассу железных дорог и ВСМ, совместить три МТК — автомобильный, железнодорожный и ВСМ в непосредственной близости от Казани, обеспечивает касатель-



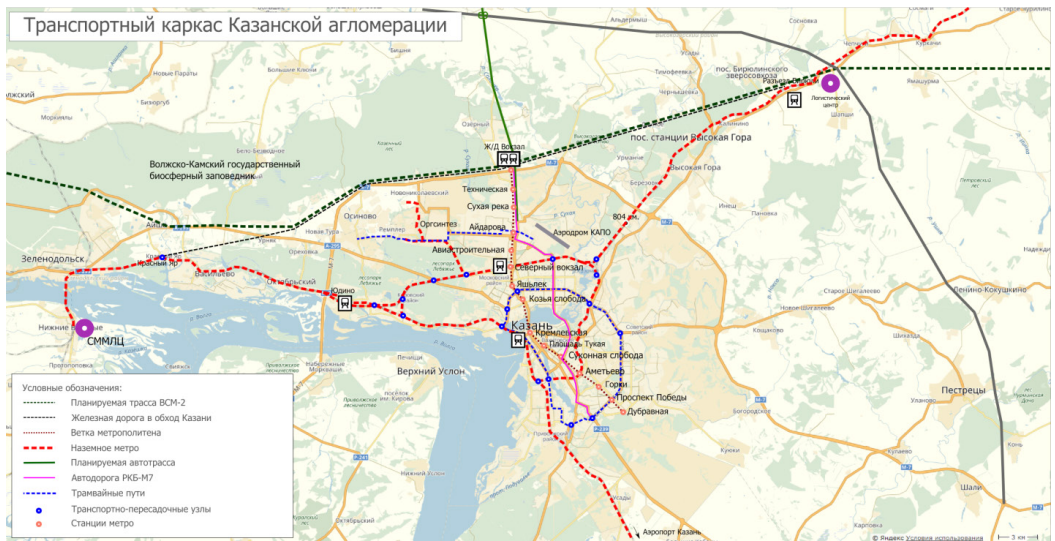


Рис. 1. Обходная железная дорога г. Казани (разработка автора).

ный обход ВСМ города, снимает излишние нагрузки на городскую инфраструктуру.

Строительство вокзального комплекса на М-7, где кроме железнодорожного вокзала будут станция метрополитена, депо ВСМ, депо метро, автовокзал, перехватывающие автостоянки, гостиницы и т.п., — это ещё и появление нового микрорайона города с вероятным созданием здесь центральной поволжской управляющей площадки, заявленной в системе проектов организации евразийских транспортных коридоров.

В зоне меняющихся транспортных схем образуются два крупных логистических центра: «Бирюли» и Свяжский межрегиональный мультимодальный, которые примут на себя и функции сортировочной станции «Юдино». Значение развязки «Бирюли» как потенциальной площадки логистического центра ещё более усиливаются планируемым прохождением здесь автотрассы Европа—Западный Китай. Продолжение будущей дороги от вокзала на М-7 до пересечения с автотрассой Европа—Западный Китай и далее на север способствует развитию районов Заказанья.

Обходная трасса почти на 7 км короче существующей, это ежесуточное сокращение грузоперевозок на 5 млн т • км, если переводить на деньги — около 4 млн руб. в сутки, 1,5 млрд руб. в год. С учётом пассажирских перевозок общая экономия составит 2 млрд руб./год.

Строительство обходной дороги за чертой города, кроме того, позволит застроить около 3 тыс. гектаров земель в радиусе 5–7 км от Казанского Кремля, причём эти участки будут с развитой инфраструктурой и вполне престижными. Наземное метро на освободившихся железнодорожных путях решит проблемы городского транспорта на десятилетия вперёд и с минимальными капитальными затратами.

## ВАРИАНТ ДЛЯ КАМСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

В отличие от маршрута в казанской зоне, который заставил искать альтернативу, предложенный Центром стратегических разработок и поддержанный Минтрансом вариант прохождения ВСМ для Камской агломерации оказался «правильным»: реализован касательный обход агломерации. Вокзал предполагается разместить на трассе М-7 между Елабугой и ОЭЗ «Алабуга».

Вариант ВСМ-2 через Камскую агломерацию, как можно ожидать, окажет сильное влияние на формирование транспортно-логистической системы городов Елабуга, Н. Челны, Нижнекамск, кардинально изменит стратегию их территориально-пространственного развития.

Катализатором при этом станет реализация проекта «Иннокам». Инновационно-производственный центр создаётся в пределах Нижнекамской агломерации, в которую входят территории Елабужско-



Рис. 2. Схема прохождения ВСМ-2, предложенная Центром стратегических разработок.

го, Заинского, Менделеевского, Нижнекамского и Тукаевского муниципальных районов и городской округ Набережные Челны.

Составной частью проекта является последовательное развитие инфраструктуры. Предполагается реконструкция железнодорожной инфраструктуры и модернизация международного аэропорта Бегеишево. А города, территориально относящиеся к «Иннокаму», планируется соединить единой системой общественного транспорта, чтобы дать свободу передвижению рабочей силы.

Впрочем, несмотря на компактное расположение городов и промышленных предприятий кластера, река Кама усложняет коммуникационные каналы – например, при расстоянии между городами Елабуга и Нижнекамск по прямой в 20 км, транспортные маршруты составляют 65 км и более, причём соединяет эти точки единственный мост в Набережных Челнах – плотина Нижнекамской ГЭС.

Проектное предложение автора «Камский экспресс» [8] предусматривает строительство железной дороги Елабуга–Нижнекамск–Набережные Челны (северное полу-



Рис. 3. Схема транспорта Камской агломерации (разработка автора).



кольцо) протяжённостью 60 км. В перспективе можно замкнуть кольцо железной дороги, используя существующие линии (южное полукольцо) в черте городов Н. Челны и Нижнекамск.

Таким образом, будет организовано наземное метро агломерации, интегрированное с транспортным каркасом городов, входящих в агломерацию, а также авто- и железнодорожными магистралями, проходящими через неё.

Стоимость проекта «Камский экспресс» – 50 млрд руб. (в ценах 2016 года), включая строительство следующих объектов:

– железной дороги Нижнекамск–Елабуга–Набережные Челны (60 км • 0,5 млрд руб./км = 30,0 млрд руб.);

– вокзального комплекса на М-7 (ОЭЗ «Алабуга»), совмещённого с вокзалом ВСМ – 2,5 млрд руб.;

– вокзального комплекса на пересечении основной магистрали и междугородной электрички в районе Тихоново–Поспелово – 2,5 млрд руб.;

– двух мостов через Каму (между Нижнекамском и Елабугой и в районе Тихоново–Поспелово) – 10 млрд руб.;

– прочие затраты – 5 млрд руб.

Скоростной транспортный каркас Камской агломерации усилит связность городов, увеличит потоки трудовых, деловых и культурных корреспонденций, облегчит прямое взаимодействие городов агломерации, а в перспективе – стимулирует появление новых центров деловой активности и жилищного строительства между Нижнекамском, Елабугой и Набережными Челнами.

Дополняет транспортный каркас агломерации строительство автодороги от Мамадыша до М-7 в обход Набережных Челнов и Нижнекамска с мостовым переходом в районе села Соколка протяжённостью 85 км. Этот проект разгрузит автотрассу М-7 в пределах Нижнекамской агломерации, станет дублёром трассы через плотину Нижнекамской ГЭС, тем самым обеспечив и транспортную безопасность региона.

## ВЫВОДЫ

Строительство ВСМ-2 оказывает огромное влияние на развитие городов и агломераций вдоль трассы, особенно на модернизацию их транспортно-логистических систем. В то же время при проектировании следует учитывать особенности транспортного каркаса городов и агломераций, причём рассматривать их в динамике, взаимосвязи с общегородским развитием.

Оптимальные решения при трассировке линий ВСМ в пригородах мегаполисов и крупных агломераций достигаются путём комплексного анализа и моделирования транспортных потоков с учётом экономических, экологических, градостроительных аспектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: [http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT\\_ID=13008](http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008). Доступ 28.05.2017.

2. Блинкин М. Я. Современные тенденции развития транспортной инфраструктуры городских агломераций // Экономика железных дорог. – 2012. – № 4. – С. 49–55.

3. Давлетшин Т. Г. Строительство международных транспортных коридоров и модернизация транспортно-логистических систем мегаполисов // Вестник экономики, права и социологии. – 2016. – № 4. – С. 52–57.

4. Кашин В. А. «Дорогая» моя Москва всё растёт и дорожает. А кому это надо? [Электронный ресурс]: <http://me-forum.ru/media/news/2671/>. Доступ 28.05.2017.

5. Рожко О. Н., Хоменко В. В., Шихалев А. М., Якимов И. М. Развитие транспортно-логистической инфраструктуры Республики Татарстан. – Казань: ФЭН, АН РТ, 2016. – 98 с.

6. Рекомендации Совета при Президенте Российской Федерации по развитию гражданского общества и правам человека по итогам специального заседания на тему «Обеспечение прав на благоприятную окружающую среду и учёт мнения населения при формировании и реализации градостроительной политики», 21 марта 2016 г. [Электронный ресурс]: <http://president-sovet.ru/documents/read/467/>. Доступ 28.05.2017.

7. Давлетшин Т. Г. В обход Казани необходимо построить железную дорогу [Электронный ресурс]: <http://www.business-gazeta.ru/blog/200567>. Доступ 28.05.2017.

8. Давлетшин Т. Г. Камский экспресс [Электронный ресурс]: <https://www.business-gazeta.ru/article/342866>. Доступ 28.05.2017. ●

Координаты автора: **Давлетшин Т. Г.** – [shentmz@yandex.ru](mailto:shentmz@yandex.ru).

Статья поступила в редакцию 28.05.2017, принята к публикации 17.08.2017.

**От редакции:** статья отражает личное мнение автора и публикуется в порядке дискуссии.

## HSR-2 AND MODERNIZATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS OF MEGACITIES

*Davletshin, Takhir G., LLC «Management Company «Yuzhnaya», Kazan, Russia.*

### ABSTRACT

The topic of the article is the influence of HSR-2 Moscow–Kazan–Yekaterinburg on transport and logistics systems in megacities and large urban agglomerations along the route, on town-planning development concepts. The complex modernization of the transport frame of urban agglomerations in the construction of a high-speed highway can solve the transport problems that have accumulated over the centuries, positively affect the spatial and territorial

development of cities, increase the efficiency of investments, and give a reasonably expected synergistic effect. Moreover, they may require even less money than planned at the construction stage (although this is not an end in itself), and the economic effect in the operation of high-speed railways, urban and suburban transport, promises to be higher than planned, and this opens up new prospects for the spatial and territorial development of towns and agglomerations located near HSR.

*Keywords:* HSR-2, megacities, agglomerations, international transport corridors, transport and logistics systems, mutual influence, tracing, long-term effect

**Background.** Integration into the world transport space and realization of the country's transit potential are declared among the main goals of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period until 2030 [1].

The geographical position of the country between Europe and Asia predisposes to the development of the Eurasian corridors, which is promoted by China's rapid economic growth. The existing transport corridor «West–East» (including the Trans-Siberian Railway) is a skeleton transport structure of Russia, but in the age of high speeds and high traffic volumes the potential of the Siberian railway is limited. Therefore, this corridor needs to be modernized and supplemented by other transit lines.

Within the transport corridor «West–East» two major projects are being realized today: the highway Europe–Western China and the high-speed railway line Moscow–Kazan–Yekaterinburg (HSR-2) with the extension to Beijing. However, while two projects are developing at a slow pace, the leaders have not decided definitively even with the trajectory of the highway, each new circumstance provokes a change in the route, there are controversies about the route between the regions.

The slow pace of project implementation is due, on the one hand, to the difficult financial and economic situation in the country, on the other hand, Russia, which has not been engaged in large-scale transport projects for many years, forgot how to design and finance them, and we lack the legislative framework. Analysis of design decisions for HSR-2 shows that stereotypes of the second half of 20<sup>th</sup> century dominate, insufficient attention to mutual influence of transport corridors both on each other, and transport-logistical systems of megacities and urban agglomerations.

**Objective.** The objective of the author is to consider modernization and development of transport and logistics systems of cities located near the projected HSR-2 Moscow–Kazan–Yekaterinburg.

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

### Results.

#### Interrelation and interdependence of transport corridors

For the Russian economy, the priority in the transport sector is now the development of international transport corridors.

Only in 2010, in connection with the completion of the construction of the federal highway «Amur» Chita–Khabarovsk, the European part of the country

was connected through a paved asphalt road with the Far East. The projected road Europe–Western China will be the first high-level Russian highway on our eastern borders. The Russian part of the road St. Petersburg–Vologda–Kazan–Orenburg–Kazakhstan border, crossing Tatarstan, will have a strong influence on the entire transport and logistics system of the republic.

As for the railways, the network built 50–100 years ago is obsolete (not the railways themselves, they are being updated), straight highways, high speeds, modern control system are needed.

The project to build a high-speed rail Moscow–Kazan–Yekaterinburg can bring qualitatively new standards in passenger and freight traffic between Europe and Asia.

In 2015, there was a third project: the state concern Avtodor announced its intention to begin in 2018 the construction of a toll highway Moscow–Kazan, and in the same corridor as HSR-2. Holding Russian Railways and SC Avtodor work out a single project for the preparation of territories and the removal of communications, which significantly reduces construction costs. Obviously, the design of large transport programs should take into account the interconnection and mutual influence of the highways on each other, and their routes can be coordinately changed if they are optimized in advance for the places of their intersection, the dislocation of related objects and communications [2, 3].

For example, the project of building a highway Moscow–Kazan will significantly affect the route of the road Europe–Western China in Kazan zone. Earlier calculations of freight and passenger flows, and consequently, the location of transport and logistics centers, terminals and stations have a reason to change significantly with the advent of any new project, which will require additional costs and efforts, including research.

#### Transport-logistics systems in the area of the highway

HSR-2 will have the greatest impact on development of large cities and agglomerations along the route and a thorough revision of their master plans is necessary. Changes in the general plans of cities and their transport infrastructure will, in turn, predetermine the transformation (correction) of the routes and conditions of both the existing ITC and the projected ones [3].

Transport and logistics systems of large cities have been formed for centuries, with problems overlapping each other, and at first glance it may seem



that the implementation of new projects can exacerbate existing difficulties. The laying of highways along the historically established urban transport corridors may reduce their throughput (however, as well as existing ones), significantly worsen the quality of the urban environment. Demolition of buildings and structures, transfer of communications, additional transport interchanges at the intersection with the streets will require colossal funds. Solution? It is necessary to adhere to the requirements for the organization of ITC on the tangential bypass of megacities.

Following the beginning of the design of HSR-2 in January 2015, the project of HSR Moscow–Beijing was announced. And in the summer of 2017 JSC Russian Railways announced that a project of cargo-passenger HSR Eurasia is being developed, which will unite the largest high-speed transport systems in Europe and China. The total length of the route will be 9,5 thousand kilometers (distance Beijing–Moscow–Berlin), and its route will include the section Moscow–Kazan, passing in the middle part through the Urals and Siberia, as well as Kazakhstan and Mongolia. HSR is designed to handle both passenger and freight container trains, which will radically change the transport and logistics system along the route.

According to the latest version of the routing (not yet approved), HSR-2 is located at a distance from the cities of Vladimir and Cheboksary, through Nizhny Novgorod and a large urban agglomeration – Kamskaya, including the whole city of Kazan. Moscow and Yekaterinburg are considered to be the final points, where the HSR stations are planned to be located in the center of the cities.

The route of the transit branch of HSR in Nizhny Novgorod passes along its outskirts, 15 km from the center, and thus a tangential bypass of the city is realized de facto. Trains formed in Nizhny Novgorod arrive at Moscow railway station, while it is not possible to cancel the passage through the city, the branch line to Kirov crosses the whole city, and the northern bypass is not yet discussed.

Passage of HSR-2 through Kamskaya agglomeration inevitably affects the prospects of the transport system of the cities of Naberezhnye Chelny, Nizhnekamsk and Yelabuga, radically changing the development strategies of these large settlements. While their leadership is not aware of this factor, urban planning without taking into account the tracing of HSR-2 entails significant non-rational costs today, and even greater in the future.

By the way, Moscow and Yekaterinburg, now considered to be the final points of the HSR-2 route, are not such in the future: with the development of the HSR network in the country, the extension of the highway to the west, south and north will follow. Economist, expert of the IEF V. A. Kashin in general advocates extreme measures: proposes to remove all the stations from the city center – with all their infrastructure, and to close the «ends» of the railways going to Moscow to existing airports [4].

It seems more expedient to make another decision: HSR should approach one of the stations of Moscow Central Circle (MCC), as well as one or two of Moscow airports [3]. In Yekaterinburg, the route and station location also require unconventional solutions: in addition to the eastward movement, a branch to Chelyabinsk is supposed.

The unreasoned, scientifically unsupported tracing of HSR-2 can adversely affect the optimal organization of freight and passenger transportation, preservation

of nature and spatial development of cities and agglomerations, which can be demonstrated most clearly by the example of design of HSR in Kazan zone, because here the situation is particularly complex.

#### **Transport framework of Kazan agglomeration**

In the current strategy of social and economic development of the city of Kazan until 2030, the issues of transport infrastructure occupy an important place. However, the urban environment and transport infrastructure are still considered by the strategy developers in the narrow framework of urban amenities and transport services, isolated from the system of national and international transport corridors, three of which have the Eurasian status: North–South, West–East, Europe–Western China [5].

Despite the fact that in the Strategy of social and economic development of the Republic of Tatarstan-2030 the ITC is paid a lot of attention to, the same cannot be said about the network of transport and logistics centers. With this in mind, it is necessary to make adjustments to the plans for transformations of Kazan agglomeration, as well as the entire configuration of the regional transport framework.

With all the advantages of the bypass M-7, the highway and the railway became disconnected. At the same time, the bypass road and the city are also largely isolated from each other: the radial departures from the city proposed by the developers of the previous master plans have not been realized to this day – Kazan got in some kind of «cauldron».

The plans for construction of HSR-2 Moscow–Kazan–Yekaterinburg introduce additional problems that are not solved within the existing transport framework. The routing of the highway discussed by specialists with the arrival at the station Kazan-2 through the urban forest «Lebyazhye» worsens for the population the transport accessibility, the quality of the urban environment, and also leads to a rise in the cost of construction, and a decrease in the speed of the passage of the city by the trains.

Routing of HSR-2 from Nizhny Novgorod to Naberezhnye Chelny was carried out by JSC Tomgiprotrans, the designer of bridges and roads in Siberia. Analysis of approaches to design shows that a strictly sectoral approach was implemented, the station Kazan-2 was adopted as an axiom, the interconnection and mutual influence of existing and under construction highways in the Kazan zone, the prospects for development of the city's transport infrastructure and the city itself were not taken into account. The designers did not study the development of Kazan specialists, which would greatly simplify their work. Mathematical modeling of transport flows in Kazan agglomeration in three or four variants of tracing taking into account economic, ecological, town-planning aspects would make clear the choice of the optimal route.

On March 21, 2016 routing of the HSR in Kazan zone was the subject of discussion in the Human Rights Council under the President of the Russian Federation. The Council drew attention to violations of environmental legislation and recommended the Ministry of Transport of the Russian Federation, the Cabinet of Ministers of Tatarstan and Russian Railways to exclude from the project the option of passage of the HSR along the city forest «Lebyazhye» in the territory of Kazan as contradictory to Art. 105 of the Forest Code of the Russian Federation [6].

#### **Alternative projects of zonal tracing**

In addition to the route through the city, southern and northern bypasses are discussed. The statements





**Pic. 1. Bypass railway in Kazan (author's development).**

of individual experts on the southern bypass are not supported by any calculations and reasonable arguments, so this route is at the level of the idea. The project proposal «The Bypass Railway of Kazan» [7], which provides for construction of a railway bypassing Kazan, north of the M-7 highway from the village of Krasny Yar of Zelenodolsky district to Biryuli crossing point of Vysokogorsky district (Kalinino village), about 50 km long is of interest, as well as the new railway station of Kazan beyond the village of Sukhaya Reka and the subway line 6,5 km and the highway 6 km to it. On the existing railway lines in the length of more than 100 km will be organized ground metro, integrated with urban and suburban transport, the delivery of goods by rail to enterprises is expected at night.

The cost of the bypass railway project and the HSR-2 section in one corridor in Kazan zone is 150 billion rubles (in 2016 prices), including the construction of the following facilities:

- railway station village Krasny Yar – Biryuli crossing point (52 km • 0,5 billion rubles / km = 26 billion rubles);
- station complex on the M-7 behind Sukhaya Reka – 10 billion rubles;
- metro line with a length of 6,5 km with four stations – 50 billion rubles;
- highway with a length of 6 km with interchanges – 6 billion rubles;
- high-speed highway from the border with Mari El to the New station on M-7 (42 km • 1,26 billion rubles/km = 53 billion rubles);
- other costs – 5 billion rubles.

If the incomparably higher results are achieved, the final investment costs of the option are substantially lower than the estimated costs for the construction of the HSR-2 through the city: the 47 km long route from Mari El border to Kazan-2 was estimated by the HSR-2 initiators at 166 billion rubles in the prices of 2014,

and the cost of the exit from Kazan-2 in the east direction was not taken into account.

The implementation of the project allows to straighten the route of railways and HSR, to combine three ITC – automobile, railway and HSR in close proximity to Kazan, provides a tangential bypass of the city to HSR, removes unnecessary burdens on the city's infrastructure.

The construction of the station complex at M-7, where in addition to the railway station there will be a metro station, depot of the HSR, depot of the metro, bus station, intercepting car parks, hotels, etc., is also the emergence of a new microdistrict of the city with the likely creation of a central Volga management site, declared in the system of projects of the organization of the Eurasian transport corridors.

In the immediate vicinity of the city, two large logistic centers are formed: «Biryuli» and Sviyazhsky interregional multimodal logistics center (SIMLC), which will assume inter alia functions of Yudino marshalling yard. The significance of the crossing point «Biryuli» as a potential site for a large logistics center is further enhanced by the planned passage of the highway Europe–Western China.

Continuation of the highway from the station on M-7 to the intersection with the road Europe–Western China and further to the north contributes to the development of the districts of Zakazanie.

The bypass route is almost 7 km shorter than the existing one, this means a daily reduction in freight transportation by 5 million t•km, if we transform to money this is about 4 million rubles per day, 1,5 billion rubles per year. Taking into account passenger transportation, the savings will amount to 2 billion rubles per year.

And the highway is flat and straight, which gives economy in time.

The construction of a bypass railway and HSR over the city limits will make it possible to build about





**Pic. 2. Scheme of passage of HSR-2, proposed by the Center for Strategic Research.**

3 thousand hectares of land within a radius of 5–7 km from the Kremlin, and these sites with developed infrastructure and prestigious. For reference, 1 hectare of land in Kazan costs about 100 million rubles. The ground metro on the free railway tracks will solve the problems of urban transport for decades with minimal capital costs.

**HSR-2 and transport frame of Kamskaya agglomeration**

Unlike the route in Kazan zone, proposed by the Center for Strategic Research (CSR) and supported by the Ministry of Transport, the HSR route of Kamskaya agglomeration is correct: a tangential bypass of the agglomeration has been implemented. The station is supposed to be located on the M-7 highway between the city of Yelabuga and the SEZ «Alabuga».

The passage of HSR-2 through Kamskaya agglomeration will have a strong impact on the development of the transport and logistics system in the cities of Yelabuga, Naberezhnye Chelny, Nizhnekamsk, will require a rethinking of the entire transport and logistics agglomeration system, and will fundamentally change the strategy of territorial development of these cities.

The implementation of the «Innokam» project will contribute to the development of the transport and logistics system of the agglomeration. The innovation and production center is created within Nizhnekamsk agglomeration, which includes the territories of Yelabuzhsky, Zainsky, Mendeleevsky, Nizhnekamsky and Tukaevsky municipal districts and the city district of Naberezhnye Chelny.



**Pic. 3. Scheme of transport of Kamskaya agglomeration (development of the author).**

An important part of the project is the creation of a developed infrastructure in «Innokam». The reconstruction of the railway infrastructure and the modernization of the Begishevo International Airport are planned. And the cities that are territorially included in the Innokam are planned to be connected by a single system of public transport in order to give freedom of movement to the labor force.

However, despite the compact location of the cities and industrial enterprises of the cluster, the Kama River divides this region – for example, with a distance of 20 km between the cities of Yelabuga and Nizhnekamsk, transport distances are 65 km or more, and the only bridge connects these cities in Naberezhnye Chelny – dam of Nizhnekamsk hydroelectric power station.

The project proposal of the author «Kama Express» [8] provides for construction of a railway between the cities Yelabuga–Nizhnekamsk–Naberezhnye Chelny (the northern half-ring) with a length of 60 km, connecting the cities of Yelabuga, Nizhnekamsk and Naberezhnye Chelny.

In the future, it is supposed to close the railway ring, using existing roads (southern half-ring), located within the city limits of Naberezhnye Chelny and Nizhnekamsk, and railway tracks between them with a length of more than 50 km.

In this way, the ground metro of the agglomeration will be organized, integrated with the transport frame of the cities entering the metropolitan area, as well as by road and railways passing through the Kamskaya agglomeration.

The cost of the project «Kama Express» is 50 billion roubles (in prices of 2016), including the construction of the following objects:

- railway Nizhnekams–Yelabuga–Naberezhnye Chelny with a length of 60 km • 0,5 billion/km = 30,0 billion roubles;

- railway complex on M-7 (SEZ Alabuga), combined with HSR station – 2,5 billion roubles;

- station complex at the inresection with the ordinary railway and intercity train in the area Tikhonovo-Pospelovo – 2,5 billion roubles;

- 2 bridges across the Kama ((between Nizhnekamsk and Yelabuga and in the area Tikhonovo-Pospelovo) – 10 billion roubles;

- other costs – 5 billion roubles.

The high-speed transport frame of Kamskaya agglomeration will strengthen the coherence of cities, increase the flow of labor, business and cultural correspondence, facilitate the direct interaction of the cities of the agglomeration, in the future – create new centers for business activity and housing construction between Nizhnekamsk, Yelabuga and Naberezhnye Chelny,

The agglomeration transport frame is complemented by the construction of a highway from Mamadysh to M-7, bypassing Naberezhnye Chelny and Nizhnekamsk with a bridge crossing in the area of Sokolka village with a length of 85 km. This project will unload the M-7 highway within Nizhnekamsk agglomeration, will become an alternate route across the dam of Nizhnekamsk hydroelectric power station, thereby ensuring the transport security of the region.

**Conclusions.** The construction of HSR-2 has a huge impact on the development of cities and agglomerations along the route, especially the modernization of their transport and logistics systems. At the same time, in designing it is necessary to take into account the features of the transport framework of cities and agglomerations, and consider them in development, in conjunction with city development. Optimal solutions for the design of the HSR-2 route in the suburbs of megacities and large urban agglomerations are achieved through a comprehensive analysis and modeling of traffic flows taking into account economic, environmental, urban aspects.

## REFERENCES

1. Transport strategy of the Russian Federation for the period until 2030 [Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda]. [Electronic resource]: [http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT\\_ID=13008](http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13008). Last accessed 28.05.2017.

2. Blinkin, M. Ya. Modern trends in development of the transport infrastructure of urban agglomeration [Sovremennye tendencii razvitiya transportnoj infrastruktury gorodskih aglomeracij]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2012, Iss. 4, pp. 49–55.

3. Davletshin, T. G. Construction of international transport corridors and modernization of transport and logistics systems of megacities [Stroitel'stvo mezhdunarodnyh transportnyh koridorov i modernizacija transportno-logisticheskikh sistem megapolisov]. *Vestnik ekonomiki, prava i sociologii*, 2016, Iss. 4, Vol. 2, pp. 52–57.

4. Kashin, V. A. My «dear» Moscow is growing and becoming more expensive. And who needs it? [«Dorogaja» moja Moskva vse rastet i dorozhaet. A komu eto nado?]. [Electronic resource]: <http://me-forum.ru/media/news/2671/>. Last accessed 28.05.2017.

5. Rozhko, O. N., Khomenko, V. V., Shikhalev, A. M., Yakimov, I. M. Development of transport and logistics infrastructure of the Republic of Tatarstan [Razvitiye transportno-logisticheskoy infrastruktury respubliky Tatarstan]. Kazan, Izd-vo «FEN», AN RT, 2016, 98 p.

6. Recommendations of the Council under the President of the Russian Federation on the development of civil society and human rights based on the results of a special meeting on «Ensuring the rights to a favorable environment and taking into account the opinion of the population in the formation and implementation of urban policy», March 21, 2016 [Rekomendacii Soveta pri Prezidente Rossijskoj Federacii po razvitiyu grazhdanskogo obshchestva i pravam cheloveka po itogam special'nogo zasedaniya na temu «Obespechenie prav na blagoprijatnuju okruzhajushhuju sredu i uchjot mnenija naselenija pri formirovanii i realizacii gradostroitel'noj politiki», 21 marta 2016 g.]. [Electronic resource]: <http://president-sovet.ru/documents/read/467/>. Last accessed 28.05.2017.

7. Davletshin, T. G. It is necessary to build a railway bypassing Kazan [V obuhod Kazani neobhodimo postroit' zheleznuju dorogu]. [Electronic resource]: <http://www.business-gazeta.ru/blog/200567>. Last accessed 28.05.2017.

8. Davletshin, T. G. Kama Express [Kamskij Express]. [Electronic resource]: <https://www.business-gazeta.ru/article/342866>. Last accessed 28.05.2012. ●

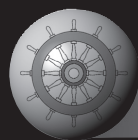
Information about the author:

**Davletshin, Takhir G.** – director of LLC «Management Company «Yuzhnaya», Kazan, Russia, shentmz@yandex.ru.

Article received 28.05.2017, accepted 17.08.2017.

**Editorial note:** the article presents author's opinion and is published as a discussion paper.





# Основы построения участковой системы текущего содержания пути



Николай КАРПУЩЕНКО  
Nikolai I. KARPUSHCHENKO

Антон БЫСТРОВ  
Anton V. BYSTROV



*Карпущенко Николай Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры пути и путевого хозяйства Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия.*

*Быстров Антон Викторович – преподаватель кафедры пути и путевого хозяйства Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Новосибирск, Россия.*

## Basics of Building a Sectional System of Track Current Maintenance

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 172)

**Текущее содержание пути по своей сущности противостоит процессу непрерывного накопления остаточных деформаций и требует мобильного контроля, профессиональной готовности. Поэтому численность рабочей силы, организация труда должны соответствовать заданным задачам и условиям.**

**Внедрение участковой системы ведения путевого хозяйства, новых технологий, автоматизированных комплексов путевых машин вынуждают к пересмотру нормативов технического обслуживания пути, лучшему использованию производственных ресурсов.**

*Ключевые слова:* железная дорога, текущее содержание пути, участковая система, организационная структура, численность монтажников пути.

**В** целях совершенствования организации текущего содержания пути, обеспечения безопасного движения поездов и ресурсосбережения с 1 января 2014 года введено в действие «Положение об участковой системе текущего содержания пути» [1], а накануне 2016 года утверждено «Положение о системе ведения путевого хозяйства ОАО «Российские железные дороги» [2].

Переход на участковую систему предусматривал повышение уровня планирования и рационального распределения ресурсов, улучшение надёжности работы обслуживающего персонала, разделение функций контроля и содержания пути, снижение эксплуатационных затрат.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ТРУДА И ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ

Основными показателями, характеризующими трудовые ресурсы, являются:

- среднесписочная численность работников;
- среднемесячная заработная плата;
- затраты на оплату труда, а также фонд оплаты труда списочного состава;
- производительность труда.

Численность работников определяется в зависимости от конструкции пути, приведённой грузонапряжённости линии, скоростей движения, эксплуатационных условий и применяемых путевых машин.

Штат дистанции пути делится на пять основных производственных групп:

- монтажники пути;
- бригады (освобождённые) по текущему содержанию и ремонту пути и искусственных сооружений;
- операторы дефектоскопных тележек;
- дежурные по переездам;
- прочие категории работников.

## РАСЧЁТ ЧИСЛЕННОСТИ МОНТЁРОВ ПУТИ

Такой расчёт осуществляется на основании приказа ОАО «РЖД» от 09.07.2009 года № 136 «О мерах по улучшению текущего содержания железнодорожного пути» [3] с учётом внесённых изменений.

Определение численности монтажников пути производится отдельно для главных, станционных путей и стрелочных переводов по нормам расхода рабочей силы каждого обслуживаемого участка и поправочным коэффициентам, с помощью которых устанавливается уровень затрат труда для конкретной конструкции и конкретных условий эксплуатации [3].

Численность монтажников пути  $Ч_{гл}$  по текущему содержанию главных путей определяется по формуле

$$Ч_{гл} = H \cdot L \cdot K_3, \quad (1)$$

где  $H$  – норма затрат труда;  $L$  – развёрнутая длина пути (главного или станционного);  $K_3$  – поправочный коэффициент, установленный в зависимости от конструкции пути, эксплуатационных условий и др.

По текущему содержанию стрелочных переводов численность определяется по формуле

$$Ч_{стр} = H \cdot N \cdot K_3, \quad (2)$$

где  $N$  – количество стрелочных переводов.

Расчётная численность монтажников пути:

$$Ч_{стр} = Ч_{гл} + Ч_{ст} + Ч_{стр}, \quad (3)$$

Величина средневзвешенного поправочного коэффициента на условия эксплуатации рассчитывается в соответствии с нормативами по формуле

$$K_3 = \frac{\sum L_i (K_i - 1,0)}{L_{общ}} + 1,0, \quad (4)$$

где  $\sum L_i$  – суммарная развёрнутая длина участка с индивидуальными эксплуатационными условиями, км (количество  $N$  стрелочных переводов, штук);

$K_i$  – величина поправочного коэффициента для участка с индивидуальными эксплуатационными условиями;

$L_{общ}$  – общая развёрнутая длина участка (общее количество стрелочных переводов).

При применении комплекса или отдельных путевых машин численность монтажников пути снижается.

Методический подход, принятый в существующих нормативных документах, при котором особенности конструкции пути и условий эксплуатации на конкретных километрах учитываются не умножением норм затрат труда на поправочные коэффициенты, а определяются умножением численности монтажников пути, рассчитанную по средним нормам, на средневзвешенный коэффициент, нельзя считать удовлетворительным.

При расчёте общего коэффициента на условия эксплуатации главных путей ( $K_{эп}$ ) по действующим нормативам необходимо учитывать то, что при невыполнении любого вида ремонта пути и всех последующих, нормы затрат труда увеличиваются на соответствующие коэффициенты. При этом предполагается, что выполнение всех промежуточных ремонтов по ходу жизненного цикла путевой конструкции обязательно. Однако промежуточные ремонты назначаются исходя из фактического состояния пути.

Такой подход некорректен с позиции математической логики и неприемлем при участковой системе ведения путевого хозяйства, поскольку не позволяет распределить контингент монтажников пути по длине участка в соответствии с фактической трудоёмкостью ремонтно-путевых работ.

Особенно большие возражения вызывают нормативы затрат труда на содержание приёмо-отправочных и станционных путей. Зависят они только от типа рельсов и рода шпал. Причём норматив на содержание приёмо-отправочных путей только на 3,5 % больше по сравнению со станционными и прочими путями.

Нормативы на содержание стрелочных переводов на главных путях зависят от грузонапряжённости, но не зависят от



пропущенного тоннажа. Для стрелочных переводов на приёмо-отправочных и прочих станционных путях установлен общий норматив, не имеющий отношения к классу и грузонапряжённости путей.

Между тем, в соответствии с «Методикой классификации и специализаций железнодорожных линий», утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2015 года, приёмо-отправочные пути, предназначенные для безостановочного пропуска поездов, относятся к 3 классу, а не предназначенные — к 4 классу. Остальные станционные, подъездные и прочие пути — к 5 классу [4].

Класс стрелочного перевода определяется по большему из классов соединяемых путей.

В связи с этим существующий методический подход к определению затрат труда и материалов на текущее содержание железнодорожного пути и формирование контингента монтажников пути необходимо было изменить.

Обоснование норм расхода материалов на текущее содержание железнодорожного пути, поправочных коэффициентов к нормам по предлагаемой методике ведётся в зависимости от класса, особенностей конструкции пути, наработанного тоннажа, плана и профиля пути и других эксплуатационных условий [5].

### ЭТАЛОННЫЕ КИЛОМЕТРЫ

Для определения затрат труда на текущее содержание пути в качестве типовых конструкций его верхнего строения принимаются имеющие достаточное распространение и не требующие усиления и дополнительных расходов. В связи с этим вводится понятие эталонного километра пути и стрелочного перевода.

Эталонный километр для бесстыкового пути: рельсы типа Р-65 неограниченной длины, шпалы железобетонные, крепления типа КБ, балласт щебёночный без разделительного слоя; участок пути, оборудованный автоблокировкой, расположенный на площадках и уклонах не круче 8 ‰, в прямых или кривых радиусом более 800 м; грузонапряжённость 26–50 млн т • км брутто/км в год; пропущенный тоннаж 201–400 млн т брутто; скорости движения поездов 101–120 км/ч — для пассажирских, 81–90 км/ч — для грузовых.

Эталонный километр для звеньевого пути: рельсы типа Р-65 длиной 25 м, шпалы деревянные, крепления типа ДО, балласт щебёночный без разделительного слоя; участок пути, оборудованный автоблокировкой, расположенный на площадках и уклонах не круче 8 ‰, в прямых или кривых радиусом более 800 м; грузонапряжённость 26–50 млн т • км брутто/км в год; пропущенный тоннаж 201–400 млн т брутто; скорости движения поездов 101–120 км/ч — для пассажирских, 81–90 км/ч — для грузовых.

Эталонный стрелочный перевод: обыкновенный, централизованный типа Р65, марки 1/11 или 1/9 со сборной крестовиной, лежащий на главном пути, железобетонных брусках, щебёночном балласте; грузонапряжённость пути 26–50 млн т • км брутто/км в год; скорости движения поездов 101–120 км/ч — для пассажирских, 81–90 км/ч — для грузовых.

### ПЕРЕЧЕНЬ, ОБЪЁМЫ РАБОТ И ЗАТРАТЫ ТРУДА

Базовый перечень работ по текущему содержанию бесстыкового, звеньевого пути и стрелочных переводов сделан на основе анализа нормативных документов и статистических данных с дистанций пути пяти дирекций инфраструктуры (Московской, Октябрьской, Куйбышевской, Приволжской, Западно-Сибирской) по фактически выполненным объёмам за 2014 год.

Для бесстыковой конструкции пути перечень работ содержит 88 наименований, для звеньевой — 90 и содержания стрелочного перевода — 76.

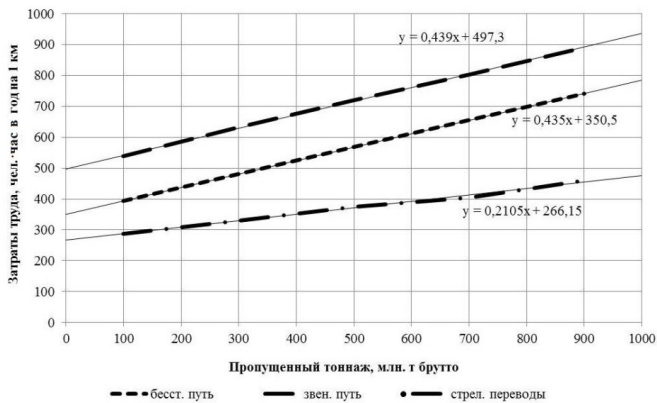
Объёмы работ, для которых в нормативных документах имеются указания о периодичности их выполнения, определялись умножением количества измерителей, имеющихся на 1 км пути, на периодичность выполнения. Объёмы остальных работ — статистической обработкой собранных данных.

Во всех случаях затраты труда — результат умножения объёма работ на норму времени с учётом размерности измерителей.

Все работы, выполняемые при текущем содержании бесстыкового пути, распределены следующим образом: по регулировке

**Соотношение затрат труда на текущее содержание эталонного километра различных конструкций пути и стрелочного перевода**

Наименование видов работ	Трудозатраты на 1 км в год при различных конструкциях верхнего строения пути и стрелочных переводов, чел. • час в год		
	Бесстыковая	Звеньевая	Стрелочные переводы на железобетонном основании
Регулировка геометрии рельсовой колеи	202	308	47
Замена элементов ВСП	98	199	80
Плановые работы	154	91	109
Работы, независимые от объёма перевозок	27	35	94
<b>Итого</b>	<b>481</b>	<b>633</b>	<b>330</b>



**Рис. 1. Графики зависимостей фактических затрат труда работников, занятых на текущем содержании 1 км пути и стрелочного перевода, от пропущенного тоннажа.**

геометрии рельсовой колеи — 9 наименований; по замене элементов верхнего строения пути — 24; плановые работы — 22, работы, независимые от объёма перевозок — 33 наименования. В последнем разделе — это операции, связанные с содержанием земляного полотна, переездов, малых водопропускных сооружений, сигнальных знаков.

Сводные данные о соотношении затрат труда на текущее содержание эталонных километров пути и стрелочных переводов приведены в таблице 1. Анализ данных этой таблицы показывает, что затраты труда на 1 км звеньевое пути в эталонных условиях в 1,32 раза больше бесстыкового, а содержание одного стрелочного перевода составляет 68,6 % от содержания 1 км бесстыкового пути. Наибольшие затраты труда приходятся на регулировку геометрии рельсовой колеи — 42–49 % суммарных затрат на содержание пути и 14 % — на содержание стрелочных переводов.

Затраты труда на выполнение работ, не зависящих от объёма перевозок, не превы-

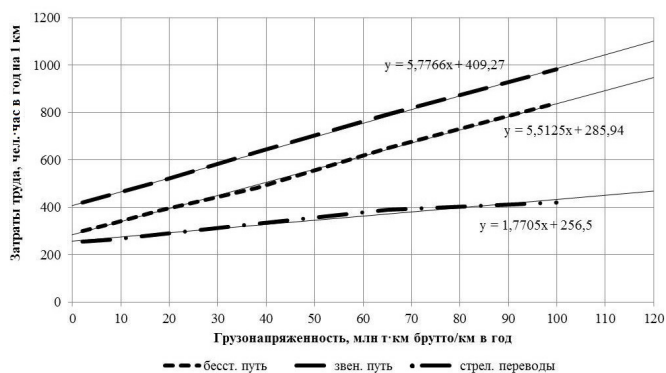
шают 6 % суммарных затрат на содержание линейных конструкций пути и 28 % на содержание стрелочных переводов. В последнем случае значительные затраты (23 %) приходятся на борьбу со снегом для обеспечения безотказности стрелочных переводов в зимнее время. На участках бесстыкового пути 32,4 % затрат труда падает на исправление просядков и перекосов пути подбивкой шпал электрошпалоподбоек и укладкой регулировочных прокладок. На участках звеньевое пути с деревянными шпалами 27 % затрат труда уходит на те же цели (подбивка шпал электрошпалоподбоек, маховыми подбоек и укладка карточек), а 20,5 % — на смену деревянных шпал.

Для условий эксплуатации, отличных от эталонных, затраты труда определялись с использованием тех же перечней работ, но при других интервалах грузонапряженности и пропущенного тоннажа.

Графики зависимости затрат труда от пропущенного тоннажа приведены на рис. 1. Из графиков следует, что темп нарастания затрат



**Рис. 2. Графики зависимостей фактических затрат труда работников, занятых на текущем содержании 1 км пути и стрелочного перевода, от грузонапряжённости.**



труда по мере наработки тоннажа при обеих конструкциях одинаковой, а величина затрат на бесстыковом пути в 1,32 раза меньше. Зависимость затрат труда от грузонапряжённости (рис. 2) носит такой же характер.

## НОРМЫ ЗАТРАТ ТРУДА РАБОТНИКОВ

Учитывая тот факт, что нормативная наработка монтеров пути в 2014 году составила 1970 часов, перейдём от затрат труда в чел. · час/год к нормам чел./год.

На основе полученных данных с помощью регрессионного анализа найдены уравнения зависимостей норм затрат труда (чел./год) для работников, занятых на текущем содержании пути, от грузонапряжённости и пропущенного тоннажа [5]:

$$а) \text{ бесстыкового пути} \\ N_6 = 0,055 + 2,7 \cdot 10^{-3} \Gamma + 2,2 \cdot 10^{-4} T, \quad (5)$$

$$б) \text{ звеньевое пути} \\ N_3 = 0,136 + 3,0 \cdot 10^{-3} \Gamma + 2,2 \cdot 10^{-4} T, \quad (6)$$

$$в) \text{ стрелочных переводов} \\ N_{cn} = 0,1 + 1,0 \cdot 10^{-3} \Gamma + 2,2 \cdot 10^{-4} T, \quad (7)$$

где  $\Gamma$  – грузонапряжённость участка пути, млн т · км брутто/км в год;  $T$  – наработанный тоннаж, млн т брутто.

Корректирующие коэффициенты установлены с учётом нормативных документов, фактических затрат труда и анкетного опроса экспертов – дорожных мастеров и заместителей начальников дистанций, а также влияния конструктивных особенностей бесстыкового, звеньевое пути и стрелочных переводов на нормы затрат труда. Для бесстыкового пути такие особенности – это прежде всего длина плетей, конструкция скреплений, наличие или отсутствие подбалластного разделительного слоя и автоблокировки. Для звеньевое пути – род

шпал и балласта. Для стрелочных переводов – тип рельсов, марка и конструкция крестовины, род брусьев и балласта, устройства защиты от снега, климатические условия региона. Влияние плана и профиля пути, скоростей движения поездов, специфика эксплуатационных условий, отличающихся от эталонных, тоже учитываются корректирующими коэффициентами.

Данные для расчёта численности монтеров пути вводятся в программу единой корпоративной автоматизированной системы управления трудовыми ресурсами (ЕК АСУТР) (в дистанции пути сведения берутся из статистической отчётности АГО-1, технического паспорта: форм отчётности ЦО-4, ЦО-5, ПО-1, ПО-8). Образец расчёта численности монтеров пути на ЭВМ приведён в таблице 2.

## СТРУКТУРА ДИСТАНЦИИ И ПРИВЕДЁННАЯ ДЛИНА ПУТИ

Организационная структура дистанции пути строится с учётом приведённой длины и приведённой грузонапряжённости обслуживаемых участков, уровня механизации путевых работ, применяемых технологических процессов и принятой организации труда. Согласно действующим нормам приведённая длина пути, обслуживаемого дистанцией, составляет на двухпутных и многопутных участках 200–300 км, на однопутных 150–200 км.

Приведённая длина железнодорожного пути исчисляется в соответствии с требованиями распоряжения ОАО «РЖД» от 09.05.2005 года № 312р. Её определяют по формуле:

$$L_{прив} = l'_{z1} + 0,75l''_{z1} + 0,4l'_{cm} + \frac{N_{cn}}{20}, \quad (8)$$

где  $l'_{z1}$  – длина первого пути, км;



**Расчёт нормативной численности монтеров пути,  
занятых на текущем содержании N дистанции пути (2016 г.)**

Подразделение / Раздел расчёта	Длина (км)	Количество (шт.)	Расчётная численность	Численность (Кф = 1,00)
Укрупненная бригада по ППР № 1 Iгр				
Главный путь	12,7		1,020	1,020
Станционные, подъездные и прочие пути	14,1		3,218	3,218
Приёмо-отправочные пути	6,9		1,368	1,368
Стрелочные переводы		114	13,365	13,365
Башмакосбрасыватели и сбрасывающие остряки		42	1,680	1,680
Содержание неохраняемых переездов (кол-во путей)		1	0,100	0,100
Итого по участку:			21	21
Линейный уч. по неотл. раб. № 10 ст.				
В т.ч. величина снижения контингента при применении путевых машин			-0,150	-0,150
Главный путь	17,2		2,500	2,500
Станционные, подъездные и прочие пути	11,8		2,169	2,169
Приёмо-отправочные пути	3,2		0,695	0,695
Стрелочные переводы		46	5,758	5,758
Содержание неохраняемых переездов (кол-во путей)		7	0,700	0,700
Итого по участку:			12	12
Итого по структурному подразделению:			202	202
В том числе:				
Главный путь	199,9		48,664	48,664
Станционные, подъездные и прочие пути	157,5		32,313	32,313
Приёмо-отправочные пути	64,8		12,018	12,018
Стрелочные переводы		645	101,871	101,871
Башмакосбрасыватели и сбрасывающие остряки		68	2,720	2,720
Глухие пересечения		1	0,100	0,100
Содержание неохраняемых переездов (кол-во путей)		37	3,700	3,700
В т.ч. величина снижения контингента при применении путевых машин			-2,862	-2,862

$l_{2л}''$  – длина второго (третьего и т.д.) главного пути, км;

$l_{ст}$  – длина станционного пути, км;

$N_{ст}$  – количество стрелочных переводов, комплектов.

Определение приведённой длины по формуле (8), на наш взгляд, является некорректным, не имеет научного обоснования, тем не менее рекомендуется нормативными документами [4] для практического применения.

В связи с этим используем авторский подход к определению приведённой длины пути, основанный на соотношении затрат труда на текущее содержание 1 км конструкции пути и пути эталонного километра.

Длина всех путей и стрелочных переводов при помощи корректирующих коэф-

фициентов приводится к 1 км эталонного километра бесстыкового пути на железобетонных шпалах по формуле

$$L_{пр} = \alpha_{гл} l_{гл} + \alpha_{по} l_{по} + \alpha_{ст} l_{ст} + \beta_{гл} n_{гл} + \beta_{по} n_{по} + \beta_{ст} n_{ст}, \quad (9)$$

где  $l_{гл}$ ,  $l_{по}$ ,  $l_{ст}$  – развёрнутая длина путей главных, приёмо-отправочных и станционных;  $n_{гл}$ ,  $n_{по}$ ,  $n_{ст}$  – число стрелочных переводов, уложенных на главных, приёмо-отправочных и станционных путях.

Значения корректирующих коэффициентов приведены в таблице 3.

## ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УЧАСТКОВ

Эксплуатационный участок под руководством старшего дорожного мастера или начальника участка пути (в составе 3–5 линейных участков (околотков)) без ли-



Коэффициенты приведения длины путей к 1 км эталонного километра

Наименование пути	Конструкция пути, стрелочного перевода	Норма затрат труда, чел. на км в год	Коэффициент приведения
Главный	Бесстыковая на железобетонных шпалах	0,298	$\alpha_{ст} = 1,0$
Главный	Звеньевая на деревянных шпалах	0,399	$\alpha'_{ст} = 1,34$
Приёмо-отправочный	Бесстыковая на железобетонных шпалах	0,141	$\alpha_{но} = 0,47$
Приёмо-отправочный	Звеньевая на железобетонных шпалах	0,150	$\alpha'_{но} = 0,50$
Приёмо-отправочный	Звеньевая на деревянных шпалах	0,225	$\alpha''_{но} = 0,75$
Станционный	Звеньевая на железобетонных шпалах	0,130	$\alpha'_{см} = 0,44$
Станционный	Звеньевая на деревянных шпалах	0,170	$\alpha''_{см} = 0,57$
Стрелочные переводы			
Главный	Железобетонные брусья	0,199	$\beta_{ст} = 0,67$
Главный	Деревянные брусья	0,211	$\beta'_{ст} = 0,71$
Приёмо-отправочный	Железобетонные брусья	0,141	$\beta_{но} = 0,47$
Приёмо-отправочный	Деревянные брусья	0,170	$\beta'_{но} = 0,57$
Станционный	Железобетонные брусья	0,130	$\beta_{см} = 0,44$
Станционный	Деревянные брусья	0,150	$\beta'_{см} = 0,50$

нейных отделений является основным подразделением дистанции пути.

Начальник участка осуществляет руководство подразделением, планирует совместно с дорожными мастерами плановые и неотложные работы, контролирует качество их выполнения.

Линейным участком (околотком) руководит дорожный мастер, основная задача которого поддерживать текущее содержание пути и сооружений на закреплённом отрезке линии в состоянии, обеспечивающем безопасность движения поездов с установленными скоростями.

На линейных участках создаются бригады по неотложным работам численностью 10–12 монтеров пути.

Работы по текущему содержанию пути выполняются под руководством бригадиров (освобождённых) и дорожных мастеров в соответствии п. 2.3 инструкции по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ, утверждённой распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2012 года № 2790р.

Для выполнения плановых работ, в том числе с применением механизированных комплексов, на участке действует укруп-

нённая бригада в составе 15–25 монтеров пути во главе с дорожным мастером и двумя бригадирами. При этом в любых бригадах количество монтеров пути, прошедших обучение и сдавших экзамены на сигнальщиков, должно быть не менее 30 % от фактической численности кадров.

Для осуществления периодического осмотра и проверки пути, рельсового хозяйства, стрелочных переводов, искусственных сооружений, земляного полотна, путевых устройств и рельсовых цепей на линейном участке вводится должность контролёра за состоянием железнодорожной линии из числа бригадиров пути.

Для обеспечения ведения отчётной и учётной документации, электронного документооборота, выполнения маркировки путевых устройств на эксплуатационном участке в соответствии с типовым штатным расписанием дистанций пути введены должности техников.

Численность бригадиров определяется нормами управляемости руководителей среднего звена, бригадиров в хозяйстве пути и сооружений, утверждёнными ОАО «РЖД» 07.06.2016 года [6], и типовым штатным рас-

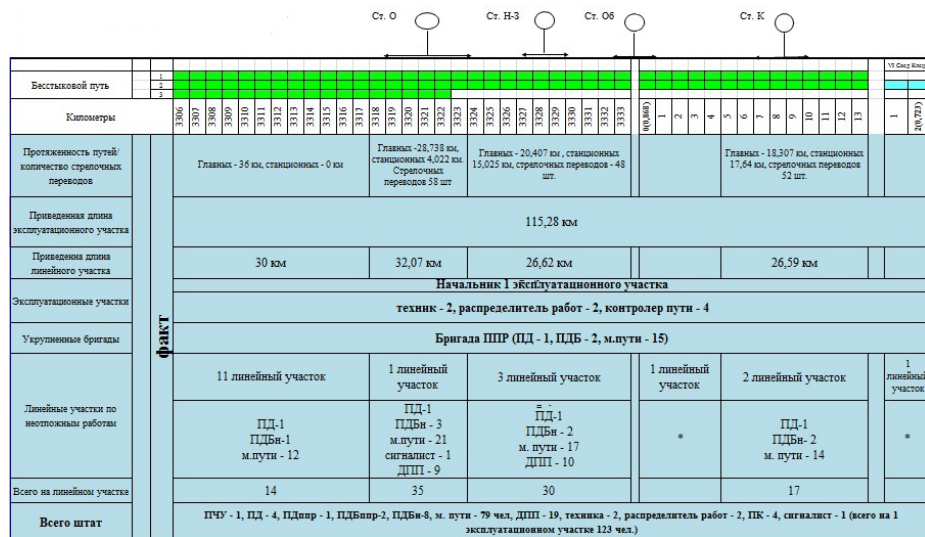


Рис. 3. Линейная схема административного деления N дистанции пути.

писанием дистанций пути (распоряжение ОАО «РЖД» от 09.07.2009 года № 1452р).

Используя обновлённую методику и алгоритм определения приведённой длины путей и численности структурных подразделений дистанции пути, разработаны образцы административной структуры базовой дистанции пути в графической форме (рис. 1).

В настоящее время планы и сводная отчётность по работам, выполняемым по текущему содержанию пути и сооружений, формируются в единой корпоративной автоматизированной системе управления инфраструктурой (ЕК АСУИ). Причём одним из важнейших учитываемых показателей в отчётности фигурирует эффективность использования трудовых ресурсов и в первую очередь производительность труда.

В дистанции пути (на эксплуатационных участках) производительность труда ( $P_{тр}$ ) определяется объёмом работы в тонно-километрах брутто ( $Pl_{бр}$ ), приходящейся на одного работника на перевозочных видах деятельности, по формуле

$$P_{тр} = \sum \frac{Pl_{бр}}{Ч_{сп}}, \quad (10)$$

где  $Ч_{сп}$  – среднесписочная численность работников.

Тонно-километровая работа слабо зависит от деятельности дистанции пути, в то же время численность работников обосновывается нормативами, которые напрямую зависят от параметров эксплуатационной работы: грузонапряжённости, скоростей движения, пропущенного по участку тоннажа. Поэтому рассматриваемые нормы затрат труда на текущее содержание пути, приведённые в статье методики позволяют, на наш взгляд, более рационально использовать трудовые и финансовые ресурсы для обеспечения надёжности пути и безопасности движения поездов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Положение об участковой системе текущего содержания пути. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 13.12.2013 г. № 2758 р.
2. Положение о системе ведения путевого хозяйства ОАО «Российские железные дороги». Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» 31.12.2015 г. № 3212 р.
3. Приказ ОАО «РЖД» от 09.07.2009 г. № 136 «О мерах по улучшению текущего содержания железнодорожного пути».
4. Методика классификации и специализации железнодорожных линий. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2015 г. № 3048.
5. Карпушенко Н. И., Быстров А. В., Труханов П. С. Затраты труда и расчёт численности монтажников пути при участковой системе // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 2–8.
6. Распоряжение ОАО «РЖД» от 07.06.2016 г. № 1080р. «Об утверждении норм управляемости для руководителей производства работ в хозяйстве пути и сооружений».

Координаты авторов: Карпушенко Н. И. – +7 (383) 328–04–18, Быстров А. В. – bystrovanton@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 22.03.2017, принята к публикации 05.06.2017.



## BASICS OF BUILDING A SECTIONAL SYSTEM OF TRACK CURRENT MAINTENANCE

*Karpushchenko, Nikolai I., Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia.  
Bystrov, Anton V., Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia.*

### ABSTRACT

The current maintenance of a track in its essence is a struggle against the process of continuous accumulation of residual deformations and requires mobile control, professional readiness. Therefore, the work force capacity,

organization of labor must meet the set tasks and conditions. The introduction of a sectional system of track maintenance, new technologies, automated complexes of track machines compels to revise the standards of track maintenance, the better use of production resources.

*Keywords:* railway, track current maintenance, sectional system, organizational structure, number of track servicemen.

**Background.** With the purpose of improving the organization of track current maintenance, ensuring safe movement of trains and resource saving, the Regulation on a sectional system of track current maintenance was put in place on January 1, 2014 [1], and on the eve of 2016 the Regulation on management of track facilities of JSC Russian railways was approved [2].

The transition to the sectional system provided for an increase in the level of planning and rational allocation of resources, improving the reliability of work of the operating staff, separation of control and track maintenance functions, and reducing operating costs.

**Objective.** The objective of the authors is to consider basics of building a sectional system of track current maintenance.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, mathematical apparatus, evaluation approach.

### Results.

#### Labor and salary planning

The main indicators that characterize labor resources are:

- average number of employees;
- average monthly salary;
- costs for labor payment, as well as payroll fund of average number of employees;
- labor productivity.

The number of employees is determined depending on a track design, reduced freight intensity of a line, speed of movement, operating conditions and used track machines.

The staff of a track maintenance department is divided into five main production groups:

- track servicemen;
- foremen (released) for current maintenance and repair of track and artificial structures;
- operators of fault detecting trolleys;
- station on duty officers;
- other categories of workers.

#### Increase in the number of track servicemen

Such a process is carried out on the basis of the order of JSC Russian Railways dated 09.07.2009 No. 136 «On measures to improve current maintenance of a railway track» [3] taking into account the changes introduced.

Determination of the number of track servicemen is made separately for main, station tracks and switches according to the labor flow rate of each serviced section and correction coefficients, with the help of which the level of labor costs for a particular structure and specific operating conditions is established [3].

The number of track servicemen  $N_m$  for current maintenance of main tracks is determined by the formula

$$N_m = H \cdot L \cdot K_o \quad (1)$$

where  $H$  – rate of labor costs;  $L$  – expanded length of the track (main or station one);  $K_o$  – correction coefficient, established depending on the design of a track, operating conditions etc.

According to the current maintenance of switches, the number is determined by the formula

$$N_{sw} = H \cdot N \cdot K_o \quad (2)$$

where  $N$  – number of switches.

The estimated number of track servicemen is determined by the formula

$$N_{sw} = N_m + N_{st} + N_{sw} \quad (3)$$

The value of the weighted average correction coefficient for the operating conditions is calculated in accordance with the regulations by the formula

$$K_o = \frac{\sum L_i (K_i - 1,0)}{L_{tot}} + 1,0 \quad (4)$$

where  $\sum L_i$  – total extended length of the section with individual operating conditions, km (the number  $N$  of switches, pcs);

$K_i$  – value of the correction coefficient for a section with individual operating conditions;

$L_{tot}$  – total extended length of the section (total number of switches).

When using a complex or individual track machines, the number of track servicemen is reduced.

The methodical approach adopted in the existing normative documents, in which the features of the design of the track and operating conditions on specific kilometers are taken into account not by multiplying the labor cost norms by the correction coefficients, but are determined by multiplying the number of track servicemen calculated according to average norms by the weighted average coefficient, cannot be considered satisfactory.

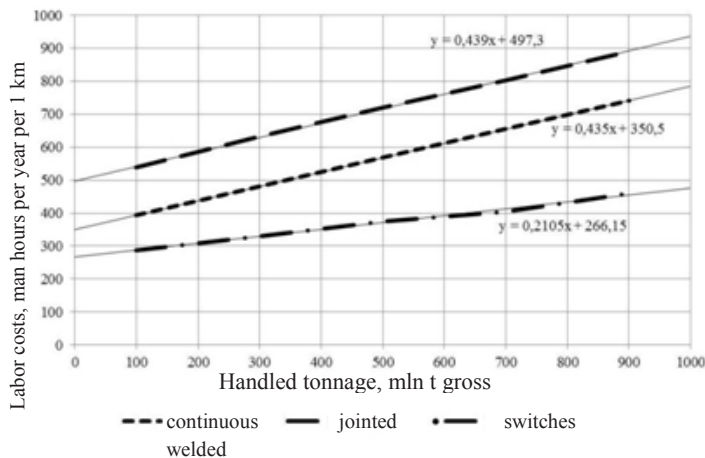
When calculating the general coefficient for operating conditions of the main tracks ( $K_{om}$ ), according to the current regulations, it is necessary to take into account the fact that if any type of track repair and all the subsequent is not performed, labor cost norms increase by the corresponding coefficients. It is assumed that the performance of all intermediate repairs during the life cycle of the track structure is mandatory. However, interim repairs are assigned based on the actual state of the track.

Such an approach is not correct from the point of view of mathematical logic and is not acceptable in the case of a sectional system of management of track facilities, since it does not allow to distribute the

Table 1

**The ratio of labor costs for current maintenance of the reference kilometer  
of various designs of track and switches**

Types of works	Labor costs per 1 km a year for various designs of the upper structure of the track and switches, man hour per year		
	Continuous welded	Jointed	Switches on a reinforced concrete base
Adjustment of the geometry of the rail track	202	308	47
Replacement of the track upper structure elements	98	199	80
Planned works	154	91	109
Works independent on the volume of transportation	27	35	94
Total	481	633	330



**Fig. 1. Graphs of dependencies of the actual labor costs of workers involved in current maintenance of 1 km of the track and the switch on the handled tonnage.**

contingent of track servicemen along the length of the section in accordance with the actual labor intensity of the track-repair work.

Particularly large objections are caused by labor costs standards for the maintenance of receiving and departing and station tracks. They depend only on the type of rails and the kind of sleepers. Moreover, the standard for maintenance of receiving and departing tracks is only 3,5 % larger than in station and other tracks.

The standards for maintenance of switches on the main tracks depend on the freight traffic, but do not depend on the handled tonnage. For switches on receiving and departure and other station tracks, a general standard has been established, which is not related to the class and freight intensity of tracks.

Meanwhile, in accordance with the «Methodology of Classification and Specializations of Railway Lines» approved by the decree of JSC Russian Railways of December 23, 2015, the receiving and departure tracks intended for non-stop handling of trains belong to Class 3, and not intended ones to Class 4. The remaining station, access and other tracks – to class 5 [4].

The class of the switch is determined by the larger of the classes of connected tracks.

In this regard, the existing methodological approach to determining the costs of labor and materials for current maintenance of the railway track and formation of a contingent of track servicemen needed to be changed.

Substantiation of the norms for consumption of materials for current maintenance of the railway track, correction coefficients to the norms according to the proposed methodology is carried out depending on the class, the design features of the track, the total tonnage, the plan and profile of the track and other operating conditions [5].

#### Reference kilometers

To determine labor costs for current maintenance of a track, as typical designs of its upper structure, those that are sufficiently widespread and do not require reinforcement and additional labor costs are adopted. In connection with this, the concept of a reference kilometer of a track and a switch is introduced.

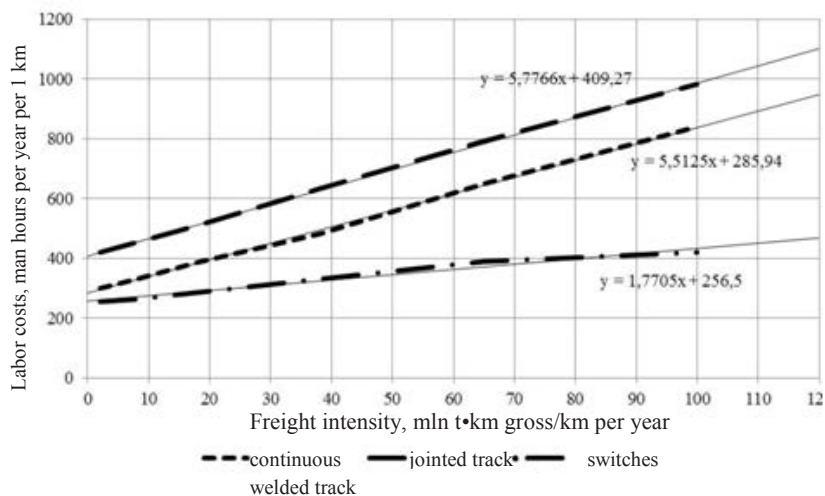
Reference kilometer for a continuous welded rail: R-65 rails of unlimited length, reinforced concrete sleepers, KB type fasteners, crushed stone ballast without a separation layer; a track section equipped with automatic blocking, located on platforms and inclines not steeper than 8 ‰, in straight or curved with a radii of more than 800 m; freight traffic is 26–50 mln t·km gross/km per year; handled tonnage is 201–400 mln t gross; train speed of 101–120 km/h – for passenger, 81–90 km/h – for freight trains.

Reference kilometer for a jointed track: rails of type R-65 with a length of 25 m, wooden sleepers, fasteners of type DO, ballast crushed stone without a separation layer; a track section equipped with automatic blocking, located on platforms and inclines



**Calculation of the normative number of track servicemen involved in current maintenance of H track maintenance section (2016)**

Department/Section of calculation	Length (km)	Quantity (pcs)	Estimated number	Number (Kf = 1.00)
Enlarged brigade for PPR No. 1 Igr				
Main track	12,7		1,020	1,020
Station, access and other tracks	14,1		3,218	3,218
Receiving-departure tracks	6,9		1,368	1,368
Switches		114	13,365	13,365
Derailing tongues		42	1,680	1,680
Maintenance of unguarded crossings (number of tracks)		1	0,100	0,100
Total for the section:			21	21
Linear section for urgent works No. 10 st.				
Including the magnitude of the contingent when track machines are applied			-0,150	-0,150
Main track	17,2		2,500	2,500
Station, access and other tracks	11,8		2,169	2,169
Receiving-departure tracks	3,2		0,695	0,695
Switches		46	5,758	5,758
Maintenance of unguarded crossings (number of tracks)		7	0,700	0,700
Total for the section			12	12
Total for the structural unit:			202	202
Including:				
Main track	199,9		48,664	48,664
Station, access and other tracks	157,5		32,313	32,313
Receiving-departure tracks	64,8		12,018	12,018
Switches		645	101,871	101,871
Derailing tongues		68	2,720	2,720
Dead crossings		1	0,100	0,100
Maintenance of unguarded crossings (number of tracks)		37	3,700	3,700
Including the magnitude of the contingent when track machines are applied			-2,862	-2,862



**Pic. 2. Graphs of dependencies of the actual labor costs of workers involved in current maintenance of 1 km of track and switch point, on the freight intensity.**

not steeper than 8 ‰, in straight or curved with a radii of more than 800 m; freight traffic is 26–50 mln t·km gross/km per year; handled tonnage is 201–400 mln t gross; train speed of 101–120 km/h – for passenger, 81–90 km/h – for freight trains.

Reference switch: ordinary, centralized type R65, grades 1/11 or 1/9 with a bolted frog, lying on the main track, reinforced concrete beams, crushed ballast; freight traffic of the track is 26–50 million t·km gross/km per year; train speed of 101–120 km/h – for passenger, 81–90 km/h – for freight trains.

#### List, scope of work and labor input

The basic list of works on current maintenance of a continuous welded jointed track and switches is made on the basis of an analysis of regulatory documents and statistical data from the track maintenance sections of five infrastructure directorates (Moscow, October, Kuibyshev, Volga, West Siberian) according to the actual volumes for 2014.

For a continuous welded design of a track, the list of works contains 88 items, for jointed design – 90 and maintenance of a switch – 76.

Volumes of work for which there are indications in the regulatory documents of the periodicity of their implementation were determined by multiplying the number of meters available per kilometer of the track by the frequency of execution. The volumes of the remaining work were determined by the statistical processing of the collected data.

In all cases, labor costs are the result of multiplying the amount of work by the time norm, taking into account the dimension of the meters.

All the work performed during current maintenance of a continuous welded track is distributed as follows: for adjustment of the rail track geometry – 9 items; to replace the elements of the upper structure of the track – 24; planned works – 22, works, independent of the volume of transportation – 33 items. In the last section there are operations related to maintenance of the roadbed, crossings, small culverts, signal signs.

Summary data on the ratio of labor costs for current maintenance of reference kilometers of track and switches are given in Table 1. Analysis of the data in this table shows that labor costs per 1 km of the jointed track in the reference conditions are 1,32 times larger than for a continuous welded track, and maintenance of one switch makes up 68,6 % of the maintenance of 1 km of a continuous welded track. The greatest labor costs are attributed to adjustment of the geometry of the track gauge – 42–49 % of the total costs for maintenance of the track and 14 % – for maintenance of switches.

The labor costs for performing work that does not depend on the volume of transportation do not exceed 6 % of the total costs for maintaining linear track structures and 28 % for maintenance of switches. In the latter case, a significant cost (23 %) falls on the struggle with snow to ensure trouble-free operation of switches in the winter. On sections of a continuous welded rail, 32,4 % of labor costs fall on correcting the drawdowns and misalignments of the track by tapering the sleepers with electric tamping rods and laying the adjusting pads. On sections of a jointed track with wooden sleepers, 27 % of labor costs go to the same purposes (tapering of sleepers with electric tamping rods, flapping tamping rods and folding cards), and 20,5 % – to replace wooden sleepers.

For operating conditions other than the reference, labor costs were determined using the same lists of work, but with other intervals of traffic intensity and handled tonnage.

The graphs of the dependence of labor costs on the handled tonnage are shown in Pic. 1. It follows from the graphs that the rate of increase in labor input as the tonnage is developed for both designs is the same, and the labor costs for a continuous welded track is 1,32 times smaller. Dependence of labor costs on freight intensity (Pic. 2) is of the same nature.

#### Labor cost norms of workers

Considering the fact that the normative operating time of track servicemen in 2014 was 1970 hours, we will switch from labor costs in man hour/year to the norms of person/year.

On the basis of the obtained data, using the regression analysis, the equations of dependences of the labor cost norms (people per year) for workers involved in current maintenance of a track, on freight intensity and the handled tonnage were found [5]:

a) continuous welded track

$$H_{\text{cwt}} = 0,055 + 2,7 \cdot 10^{-3}FI + 2,2 \cdot 10^{-4}T; \quad (5)$$

b) jointed track

$$H_{\text{jt}} = 0,136 + 3,0 \cdot 10^{-3}FI + 2,2 \cdot 10^{-4}T; \quad (6)$$

c) switches

$$H_{\text{sw}} = 0,1 + 1,0 \cdot 10^{-3}FI + 2,2 \cdot 10^{-4}T, \quad (7)$$

where FI – freight intensity of a track section, mln t·km gross/km per year; T – total tonnage, mln t gross.

Correction coefficients are established taking into account normative documents, actual labor costs and questionnaire survey of experts – road masters and deputy chiefs of track maintenance sections, as well as the influence of structural features of the continuous welded, jointed tracks and switches on labor costs. For a continuous welded track, such features are primarily the length of strings, construction of fastenings, presence or absence of a sub-ballast separation layer and auto-locking. For a jointed track – a kind of sleepers and ballast. For switches – type of rails, brand and construction of a bolted frog, types of beams and ballast, snow protection devices, climatic conditions of the region. The effect of the plan and profile of the track, the speed of train traffic, the specificity of operating conditions that differ from the reference ones, are also taken into account by the correction factors.

The data for calculating the number of track servicemen are entered into the program of the unified corporate automated labor resource management system (EK ASUTR) (in the track maintenance section the data are taken from the statistical reports of AGO-1, the technical passport: reporting forms TsO-4, TsO-5, PO-1, PO-8. A sample calculation of the number of track servicemen on a computer is given in Table 2.

#### Structure of track maintenance section and reduced track length

Track maintenance sections are structural subdivisions of the infrastructure directorate. The track maintenance section is entrusted with supervision and control over the condition of the track and structures, implementation of urgent, priority and planned work on the current maintenance of the track.

The organizational structure of the track maintenance section is constructed taking into account the reduced length and reduced freight intensity of the serviced sections, the level of mechanization of track operations, the applied technological processes and the accepted organization of labor. According to the current regulations, the reduced length of the track served by the track maintenance section is 200–300 km on double-track and multi-track sections, and 150–200 km on single-track sections.



**Coefficients of reduction of track length to 1 km of reference kilometer**

Name of a track	Design of a track, a switch	Labor costs norm, person per km per year	Coefficient of reduction
Main	Continuous welded on reinforced concrete sleepers	0,298	$\alpha_m = 1,0$
Main	Jointed on wooden sleepers	0,399	$\alpha_m' = 1,34$
Receiving and departure	Continuous welded on reinforced concrete sleepers	0,141	$\alpha_{rd} = 0,47$
Receiving and departure	Jointed on reinforced concrete sleepers	0,150	$\alpha_{rd}' = 0,50$
Receiving and departure	Jointed on wooden sleepers	0,225	$\alpha_{rd}'' = 0,75$
Station	Jointed on reinforced concrete sleepers	0,130	$\alpha_{st}' = 0,44$
Station	Jointed on wooden sleepers	0,170	$\alpha_{st}'' = 0,57$
<b>Switches</b>			
Main	Reinforced concrete beams	0,199	$\beta_m = 0,67$
Main	Wooden beams	0,211	$\beta_m' = 0,71$
Receiving and departure	Reinforced concrete beams	0,141	$\beta_{rd} = 0,47$
Receiving and departure	Wooden beams	0,170	$\beta_{rd}' = 0,57$
Station	Reinforced concrete beams	0,130	$\beta_{st} = 0,44$
Station	Wooden beams	0,150	$\beta_{st}' = 0,50$

The reduced length of the railway track is calculated in accordance with the requirements of the order of JSC Russian Railways of 09.05.2005 No. 322r. It is determined by the formula:

$$L_{red} = l_m' + 0,75l_m'' + 0,4l_{st} + \frac{N_{sw}}{20}, \quad (8)$$

where  $l_m'$  – length of the first track, km;

$l_m''$  – length of the second (third etc.) main track, km;

$l_{cm}$  – length of the station track, km;

$N_{sw}$  – number of switches, sets.

The definition of the reduced length by formula (8), in our opinion, is incorrect, has no scientific justification, is nevertheless recommended by normative documents [4] for practical application.

In this regard, we use the author's approach to determining the reduced track length, based on the ratio of labor costs to current maintenance of 1 km of the construction of the track and the track of the reference kilometer.

The length of all tracks and switches is reduced with the correction coefficients to 1 km of the reference kilometer of the continuous welded track on reinforced concrete sleepers by formula

$$L_{red} = \alpha_m l_m + \alpha_{rd} l_{rd} + \alpha_{st} l_{st} + \beta_m n_m + \beta_{rd} n_{rd} + \beta_{st} n_{st} \quad (9)$$

where  $l_m, l_{rd}, l_{st}$  – expanded length of tracks of main, receiving-departure and station;  $n_m, n_{rd}, n_{st}$  – number of switches, laid on main, receiving-departure and station tracks.

The values of the correction coefficients are given in Table 3.

**Organizational structure of operational sections**

The operational section, under the direction of the senior road master or the head of the section of the track

(consisting of 3–5 linear sections (subdivisions)) without linear departments is the main subdivision of the track maintenance section.

The head of the site manages the unit, plans scheduled and urgent work together with the road masters, monitors the quality of their implementation.

A road master supervises the linear section (subdivision), his main task of which is to perform current maintenance of the track and structures on the fixed line segment in a condition ensuring the safety of train traffic with established speeds.

On the linear sections, brigades are created for urgent works with a number of 10–12 track servicemen.

Work on the current maintenance of the track is carried out under the guidance of foremen (released) and road masters in accordance with paragraph 2.3 of the instructions for ensuring the safety of train traffic during track works approved by the decree of Russian Railways No. 2790r dated 29.12.2012.

For implementation of planned work, including with the use of machined complexes, an enlarged brigade of 15–25 track servicemen, headed by a road master and two foremen, operates on the section. At the same time, in any brigades, the number of track servicemen who completed training and passed the exams for signallers should be at least 30 % of the actual number of personnel.

For the periodic inspection and inspection of the track, railway facilities, switches, artificial structures, roadbeds, track structures and rail chains, the line supervisor of the state of the railway line from among the foremen of the track is introduced on the linear section.

To ensure the maintenance of reporting and accounting records, electronic document management, marking of track facilities on the operational section in accordance with the standard staffing of track maintenance sections, positions of technicians are introduced.



		St. O													St. H-3													St. 06													St. K																																																																																								
Continuous welded track		[Green bar]													[Green bar]													[Green bar]													[Green bar]																																																																																								
Kilometers		1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Length of tracks, number of switches		Main-36 km, station-0 km													Main-28,783 km, station-4,022 km, switches- 55,													Main-20,407 km, station-15,025 km, switches- 48													Main-18,307 km, station-17,64 km, switches- 52																																																																																								
Reduced length of an operational section		115,28 km																																																																																																																															
Reduced length of a linear section		30 km															32, 07 km															26, 62 km															26, 59 km																																																																																		
Operational sections		*Head of Operational section																																																																																																																															
Enlarged brigades		technician-2, distributor o works-2, track controller-4 Brigade PPR (PD-1, PDB-2, track servicemen-15)																																																																																																																															
Linear sections for urgent works		11 linear section															1 linear section															3 linear section															1 linear section															2 linear section																																																																			
Total on a linear section		14															35															30															17																																																																																		
Total staff		PChU-1, PD-4,PDpr-2,PDB-8, track servicemen-79,DPP-19,technicians-2,distributors of works-2,PK-4,signaler-1 (total 123)																																																																																																																															

**Pic. 3. Linear scheme of administrative division of H track maintenance section.**

The number of foremen is determined by the standards of controllability of middle managers, foremen in the track facilities and structure management approved by Russian Railways on June 7, 2016 [6], and the standard staffing table for track maintenance sections (Russian Railways decree No. 1452r dated July 9, 2009).

Using the updated methodology and algorithm for determining the reduced length of tracks and the number of structural subdivisions of the track maintenance sections, samples of the administrative structure of the basic track maintenance section have been developed in a graphic form (Pic. 1).

Currently, plans and summary reporting on the work carried out on the current maintenance of the track and structures are formed in a single corporate automated infrastructure management system (EKASUI). And one of the most important indicators being accounted in the reporting is the efficiency of the use of labor resources and, first of all, labor productivity.

In the track maintenance section (on operational sections), the productivity of labor (P) is determined by the amount of work in tonne-kilometers gross (Pl<sub>gr</sub>) per worker in the transportation activities, according to the formula

$$P_i = \sum \frac{Pl_{gr}}{N_{av}} \quad (10)$$

where N<sub>av</sub> – average number of employees.

**Conclusion.** Tonne-kilometer work depends little on the activity of the track maintenance section, at the same time, the number of employees is justified by the regulations, which directly depend on the parameters of the operational work: freight intensity, speed of traffic, tonnage handled on the section. Therefore, the considered norms of labor costs for current maintenance of the track, the methods given in the article, allow us, in our opinion, to use labor and financial resources more

rationally to ensure the reliability of the track and safety of train traffic.

## REFERENCES

1. Regulations on the sectional system of current maintenance of the track. Approved by the decree of Russian Railways of 12.12.2013 No. 2758r [Polozhenie ob uchastkovej sisteme tekushhego sodержanija puti. Uverzhdeno rasporyazheniem OAO «RZhD» ot 13.12.2013g. No. 2758r].
2. Regulations on the system of track maintenance of JSC Russian Railways. Approved by the decree of JSC Russian Railways of 31.12.2015 No. 3212r [Polozhenie o sisteme vedenija putevogo hozjajstva OAO «Rossijskie zheleznye dorogi». Uverzhdeno rasporyazheniem OAO «RZhD» 31.12.2015 g. No. 3212r].
3. The order of JSC Russian Railways dated 9.07.2009 No. 136 «On measures to improve the current maintenance of the railway track» [Prikaz OAO «RZhD» ot 9.07.2009 g. No. 136 «O merah po uluchsheniju tekushhego sodержanija zheleznodorozhnogo puti»].
4. Methodology of classification and specialization of railway lines. Approved by the decree of Russian Railways of 23.12.2015 No. 3048 [Metodika klassifikacii i specializacii zheleznodorozhnyh linij. Uverzhdena rasporyazheniem OAO «RZhD» ot 23.12.2015 g. No. 3048].
5. Karpushchenko, N. I., Bystrov, A. V., Trukhanov, P. S. Labor costs and calculation of the number of track servicemen at the sectional system [Zatraty truda i raschet chislennosti monterov puti pri uchastkovej sisteme]. Put i putevoe hozjajstvo, 2013, Iss. 1, pp. 2–8.
6. The order of JSC Russian Railways from 07.06.2016 No. 1080r «On the approval of the standards of controllability for managers of work in the economy of the track and structures» [Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 7.06.2016g. No. 1080r «Ob utverzhdenii norm upravljajemosti dlja rukovoditelej proizvodstva rabot v hozjajstve puti i sooruzhenij»].

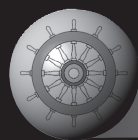
Information about the authors

**Karpushchenko, Nikolai I.** – D.Sc. (Eng), professor at the department of Track and track facilities of Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, +7 (383) 328–04–18.

**Bystrov, Anton V.** – lecturer at the department of Track and track facilities of Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia, bystrovanon@ya.ru.

Article received 22.03.2017, accepted 05.06.2017.





# Организация вагонопотоков в рыночных условиях



Дмитрий ЛЕВИН

Dmitry Yu. LEVIN

## Organization of Car Flows in Market Conditions

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 187)

**В связи с потерей при наличии рынка актуальности одного из основных критериев системы организации вагонопотоков – сокращения времени оборота вагонов необходимо изменить оценку вариантов плана формирования поездов по затратам приведённых вагоно-часов. Поэтому в качестве замены ему предложено выполнение сроков доставки грузов. При этом в условиях приватизированного вагонного парка понадобилась комбинация критериев соблюдения срока доставки грузов и минимизации переработки вагонопотоков на технических станциях. В процессе расчёта плана формирования одногруппных поездов последовательно рассматриваются все струи вагонопотоков, начиная с самых дальних. При неудовлетворении принятых условий выполняется процедура объединения дальних с более короткими струями с их переработкой на одной, двух, трёх и т.д. станциях – пока не будет достигнут должный уровень организации.**

*Ключевые слова:* железная дорога, план формирования поездов, расчётные нормативы, комбинаторика, сроки доставки грузов, организация вагонопотоков.

*Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры управления эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

**Т**еория организации вагонопотоков возникла в начале XX века. И уже вскоре выяснилось, что наука имеет дело со сложным и многообразным разделом эксплуатации железных дорог, в совершенствовании которого нет предела. Задачи, которые сформулированы в инструктивных указаниях по организации вагонопотоков, выпущенных отраслевыми ведомствами в 1967, 1984 и 2007 годах [1–3], ещё многим поколениям исследователей будут служить маяками. А сколько возникает всё новых задач?!

Ещё не были решены многие проблемы для инвентарного парка вагонов, а уже совершенно новые задачи возникли при использовании собственных вагонов. В первую очередь – это принципиально иные критерии, которые требуют других расчётных нормативов и совершенно новых методик расчёта плана формирования поездов [4]. В частности, прежний критерий оценки затрат в «приведённых вагоно-часах» потерял актуальность, и даже использование вагоно-часов в денежном выражении не меняет положения.

## I.

Интересно вспомнить как целью не только организации вагонопотоков, но и всей эксплуатационной науки стала эко-

номия вагоно-часов. Причём ускорение оборота вагона регулярно устанавливалось через каждые три-четыре года приказом министра путей сообщения под одним и тем же номером (№ 1Ц). Достигаться ускорение оборота должно было любой ценой, в том числе за счёт задержки локомотивов, чрезмерного расширения погрузочно-разгрузочных фронтов у клиентуры для обработки целых маршрутов и т.д. Объяснялось это и недостаточным количеством вагонов, и неэффективным их использованием. Решение было одно — выжать из существующего парка вагонов наибольшую производительность. Это нашло отражение, в том числе и в теории плана формирования. Использование вагоно-часов в качестве критерия в тот период считали непреложной истиной, а если порой и подвергали сомнению, то ничего другого не предлагали. Действительно, оборот вагона в СССР достиг шести суток, в то время как на железных дорогах США — 20 суток [5]. В условиях непрерывного роста грузонапряжённости и ускорения оборота вагонов альтернативных решений попросту не требовалось.

С переходом в 1980-х годах на хозрасчёт дороги должны были лучше использовать не только вагоны, но и локомотивы, экономно расходовать трудовые ресурсы. При стратегии оптимальной эксплуатации железных дорог (экономии труда при максимуме транспортной продукции и лимитированных затратах) теория плана формирования столкнулась с необходимостью комплексного решения всех задач, т.е. учитывать расходы на тягу, полнее отражать особенности работы железнодорожных направлений, в том числе задержки поездов на станциях и участках, нехватку станционных путей, пропускной способности линий и т.д. За рейс вагон проходил в среднем 11 технических станций, из них четыре сортировочных. Среднесуточная переработка вагонов на станциях достигла неоправданно больших размеров (в среднем через 130 км на технических станциях, через 400 км — на сортировочных). Но тогда теория плана формирования так и не претерпела изменений.

В настоящее время организация вагонопотоков влияет на затраты железно-

рожного транспорта из-за несоблюдения срока доставки грузов и переработки вагонов на технических станциях. Поэтому в качестве критериев оценки организации вагонопотоков предлагается использовать как раз эти факторы.

Выполнение сроков доставки грузов — одна из основных задач ОАО «РЖД». Выполнение нормативных сроков доставки грузов — один из важнейших показателей качества продукции железнодорожного транспорта, и именно он характеризует организацию перевозочного процесса.

За невыполнение сроков доставки грузов ОАО «РЖД» в соответствии с Уставом железнодорожного транспорта РФ несёт материальную ответственность перед грузополучателями и теряет существенную часть доходов из-за потери погрузочных ресурсов. Современный порядок исчисления сроков доставки грузов утверждён приказом МПС России от 18.06.2003 г. № 27 и зарегистрирован в Минюсте России 23.06.2003 г. под № 4816 [6].

За год ОАО «РЖД» предъявляют более 20 000 претензий, связанных с невыполнением сроков доставки грузов, выплачивается штраф за просрочку доставки в размере сотен млн рублей [4].

В то же время в показателях эксплуатационной работы и нормативно-технологических документах оценка выполнения сроков доставки грузов отсутствует.

Среди основных критериев оценки современной системы организации вагонопотоков выполнение сроков доставки грузов также игнорируется. При просрочке доставки грузов потери связаны с несоответствием потребностей в перевозках и возможностей железных дорог, межоперационными простоями вагонов на технических станциях из-за неэффективного распределения сортировочной работы между станциями, перенасыщения участков поездами и нехватки действенных рычагов оперативного изменения неблагоприятной ситуации.

## II.

В ходе реформирования железнодорожного транспорта на рубеже XX и XXI веков начал сокращаться инвентарный парк вагонов и в 2011 году его не стало, вагоны стали частными. Вместе с этим потерял



**Минимальная мощность назначений формируемых поездов  
(минимальное число поездов в сутки)**

$\Sigma t_{\text{ож}} + \Sigma t_{\text{тех}}, \text{ ч}$	$n_{\text{мин}}, \text{ поездов/сут, при } L_{\text{мин}}, \text{ км}$				
	100	200	320–1000	1700–3000	3900–7000
<b>Сортировочная станция</b>					
2	2,34	1,81	1,06	0,64	0,52
4	2,74	2,06	1,13	0,66	0,53
6	4,40	2,40	1,22	0,68	0,54
8	4,74	2,94	1,34	0,70	0,55
10	10,21	4,00	1,48	0,73	0,56
12	–	7,49	1,69	0,76	0,58
<b>Участковая станция</b>					
4	2,72	2,05	1,13	0,65	0,53
6	3,28	2,36	1,22	0,68	0,54
8	4,29	2,82	1,32	0,70	0,55
10	7,01	3,62	1,46	0,73	0,56
12	–	5,60	1,64	0,76	0,58
14	–	–	1,90	0,79	0,59
<b>Пограничная железнодорожная станция</b>					
6	3,24	2,34	1,21	0,68	0,54
8	4,06	2,74	1,31	0,70	0,55
10	5,83	3,40	1,44	0,72	0,56
12	16,11	4,74	1,60	0,75	0,57
14	–	10,21	1,83	0,80	0,59
16	–	–	2,17	0,83	0,61

актуальность и один из основных критериев системы организации вагонопотоков – сокращение времени оборота вагонов. Соответственно не могут быть критерием для оценки плана формирования поездов затраты на организацию вагонопотоков, выраженные в приведённых вагоно-часах.

Норма времени на перевозку груза от станции отправления до станции назначения исчисляется в сутках. Срок доставки складывается из норм времени на операции, связанные с отправлением и прибытием груза, перемещением его по участкам, и норм времени на дополнительные операции (передача и приём груза при перевозке через водные пути сообщения, перевозимого в прямом смешанном сообщении, перегрузка груза в вагоны с колёсными парами другой ширины колеи, проведение различных видов государственного контроля и т.д.).

Нормы суточного пробега для исчисления срока доставки грузов, перевозимых в пределах Российской Федерации, зависят от дальности перевозки груза, режима скорости перевозки и категории отправки. Нормативы для определения

срока доставки, порядок исчисления срока доставки утверждаются ОАО «РЖД».

Для оценки выполнения сроков доставки грузов ежегодно в феврале и сентябре в рамках интегрированной обработки дорожных ведомостей проводятся обработка и анализ первичных данных о продолжительности следования грузов путём механической выборки около 10 % отправок. Данные группируются по режиму скорости (грузовая, большая), видам сообщения (местное, прямое), категориям отправок (маршрутные, повагонные, мелкие без контейнеров, грузы в контейнерах), роду груза и расстоянию перевозки. Средние показатели продолжительности и скорости доставки исчисляются на одну отправку и одну тонну груза с учётом и без учёта времени нахождения его на станции назначения. При этом средняя скорость доставки определяется только фактическая, а средняя продолжительность доставки груза, кроме того, и нормативная.

А. Ф. Бородин [7], рассматривая надёжность технологии перевозочного процесса, предложил использовать методологию

### Норма суточного пробега вагона

Расстояние перевозки, км	Норма суточного пробега по видам отправок, км		
	повагонные	крупнотоннажные рефрижераторные контейнеры	Универсальные контейнеры и мелкие отправки
До 199	140	110	90
От 200 до 599	210	160	120
От 600 до 999	310	250	180
От 1000 до 1999	400	320	250
От 2000 до 2999	430	340	270
От 3000 до 4999	480	380	300
От 5000 до 6999	500	420	340
От 7000 и выше	520	450	360

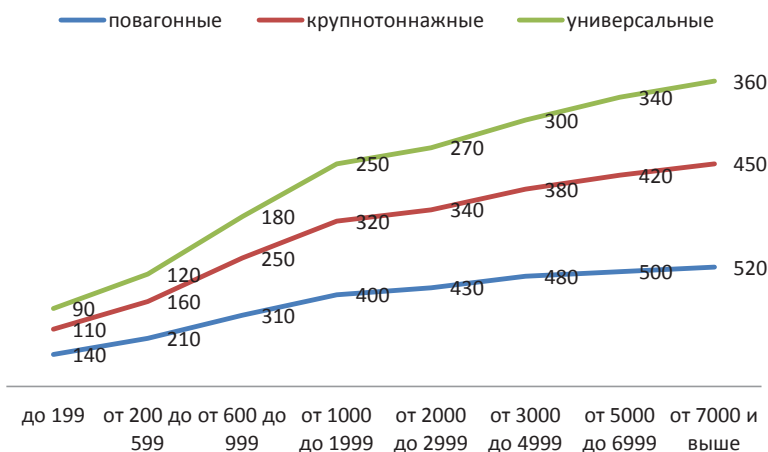


Рис. 1. Нормы суточного пробега грузовых отправок.

контроля и управления временем доставки грузов, существующую в системе ДИСПАРК [8]: юридическое, технологическое, контрольное и оперативное.

Юридическое время доставки рассчитывается в соответствии с «Правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом» [6] или устанавливается договором-контрактом на перевозку в системе фирменного транспортного обслуживания.

Технологическое время доставки рассчитывается в соответствии с действующей нормативной организацией грузового движения (порядок направления вагонопотоков, план формирования и график движения поездов).

Контрольное время доставки устанавливается для отслеживания выполнения срока перевозки в автоматизированных системах.

Оперативное время доставки — динамическая характеристика времени (в отличие от «статических», указанных выше).

Это деление подчеркивает существующие противоречия возможного исчисления сроков доставки, но так как ответственность железная дорога несёт за соблюдение нормативного срока доставки, то в расчётах плана формирования поездов целесообразно использовать именно его.

В работе А. Ф. Бородина, А. П. Батурина, В. В. Панина [9] введён норматив минимальной допустимой мощности поездных назначений, исходя из нормативных сроков доставки грузов. В зависимости от дальности назначения  $L_{\text{назн}}$ , суммарной длительности простоя транзитных вагонов с переработкой (исключая простой под накоплением)  $\Sigma t_{\text{ож}} + \Sigma t_{\text{тех}}$  и типа станции (сортировочная, участковая, пограничная) они предложили определять минимальную мощность назначений формируемых поездов  $n_{\text{min}}$  (таблица 1).

Таблица 1 показывает возможность учёта при организации вагонопотоков срока доставки грузов, но это ещё сделано



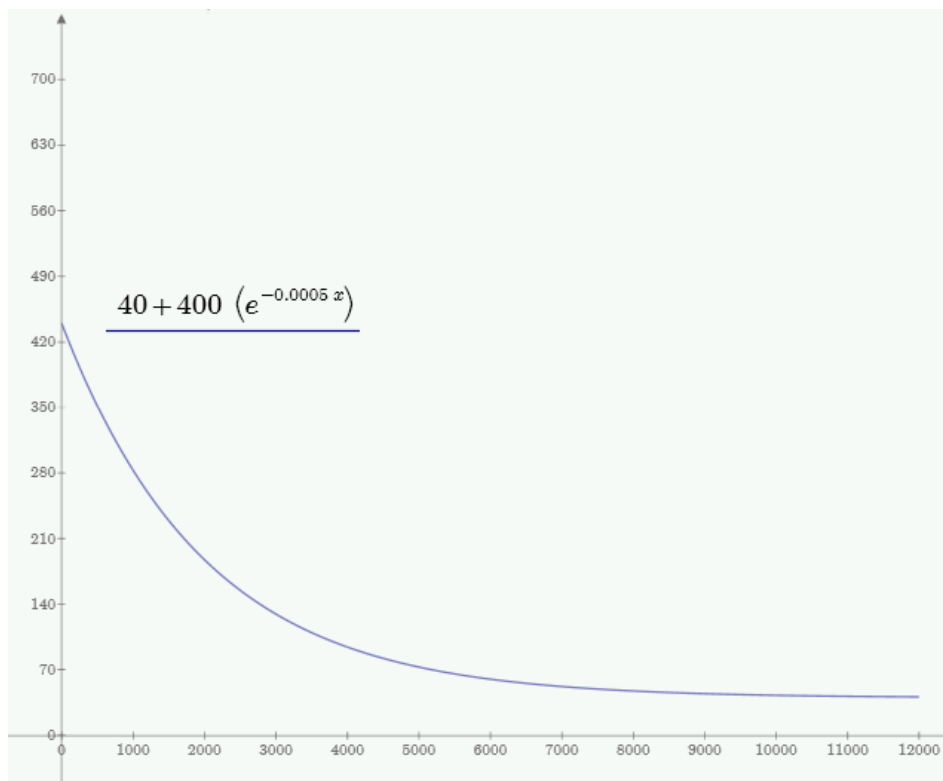


Рис. 2. Изменение разницы нормы суточного пробега маршрутных и немаршрутных отправок в зависимости от расстояния перевозки.

для инвентарного парка вагонов, т. е. с учётом затрат и экономии вагоно-часов.

Для частного парка вагонов целесообразно использовать правила перевозок грузов [6], где норма суточного пробега грузовой скоростью установлена в зависимости от расстояния перевозки и видов отправки (таблица 2, рис. 1).

Абсолютное большинство отправок, перерабатываемых на сортировочных станциях, являются повагонными. Поэтому в расчётах целесообразно ориентироваться на них. В правилах перевозок грузов ещё приведены сроки доставки большой скоростью, но такие отправки, как правило, не перерабатываются на сортировочных станциях и в расчётах плана формирования поездов не участвуют. Сроки доставки грузов маршрутными отправлениями рассматриваются отдельно.

Необходимо учесть увеличение сроков доставки грузов, предусмотренные правилами перевозок [6]:

- на сутки – на операции, связанные с передачей и приёмом грузов, при перевозке грузов с переправой через водные пути сообщения (моря, реки, проливы, озёра) на судах и паромов;

- на сутки – при передаче на другой вид транспорта, приёме с другого вида транспорта грузов, перевозимых в прямом смешанном сообщении;

- на двое суток – при перегрузке грузов в вагоны с колёсными парами другой ширины колеи;

- на сутки – при перестановке вагонов на колёсные пары другой ширины колеи;

- на сутки – при отправлении грузов с железнодорожных станций Московского и Санкт-Петербургского узлов, или прибытии грузов на железнодорожные станции этих узлов, или при следовании грузов транзитом через них;

- на сутки – в случае осуществления на пограничных пунктах пропуска Российской Федерации пограничного, таможенного, санитарно-эпидемиологического, ветеринарного, фитосанитарного и других видов государственного контроля.

Струи вагонопотоков, выделенные в самостоятельные назначения поездов, по срокам доставки можно приравнять к маршрутным отправлениям. В соответствии с правилами перевозок грузов срок доставки маршрутных отправок исчисляется из

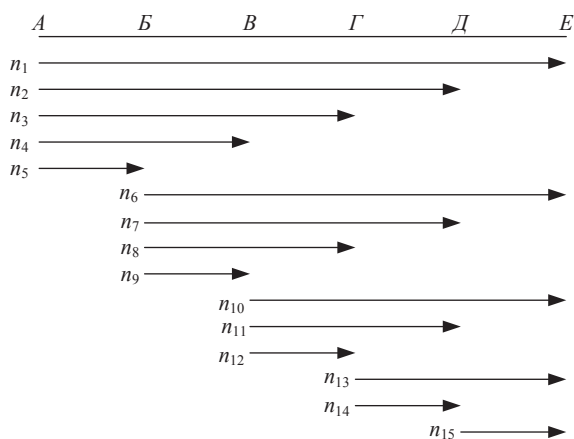


Рис. 3. Схема направлений и струй вагонопотоков.

расчёта нормативного срока – 550 км в сутки. Тогда затраты на накопление составов, которые рассматриваются для выделения в самостоятельные назначения, будут допустимы при соблюдении нормативных сроков доставки грузов, если выполняется условие

$$ct \leq 24 \cdot L \cdot N \left( \frac{1}{V_{\text{пв}}} - \frac{1}{V_{\text{марш}}} \right); \quad (1)$$

$$T_{\text{нак}} \leq 24 \cdot L \left( \frac{1}{V_{\text{пв}}} - \frac{1}{V_{\text{марш}}} \right), \quad (2)$$

где  $L$  – расстояние (дополнительного) следования выделяемого назначения поездов, км;  $V_{\text{пв}}$ ,  $V_{\text{марш}}$  – нормы суточного пробега вагонов соответственно без выделения (повагонные отправки) и с выделением вагонопотока (маршрутная отправка) в самостоятельное назначение поездов км/сут.

В формулах (1) и (2) выражение в скобках характеризует возможное ускорение следования вагонопотока при выделении в самостоятельное назначение с размерностью сут/км. Графическое изменение правой части неравенств (1) и (2) приведено в удобный вид для проведения расчётов и представлено на рис. 2. Тогда формулы соответственно будут иметь вид:

$$ct \leq 40 + 400(e^{-0,0005L}); \quad (3)$$

$$T_{\text{нак}} \leq 40 + 400(e^{-0,0005L}). \quad (4)$$

Кроме обоснования целесообразности выделения струй вагонопотоков в самостоятельные назначения формула (2) может использоваться и для установления технических заданий дежурно-диспетчерскому аппарату, исследования влияния различных факторов на выполнение скорости

доставки грузов, изыскания путей ускорения транспортного процесса.

### III.

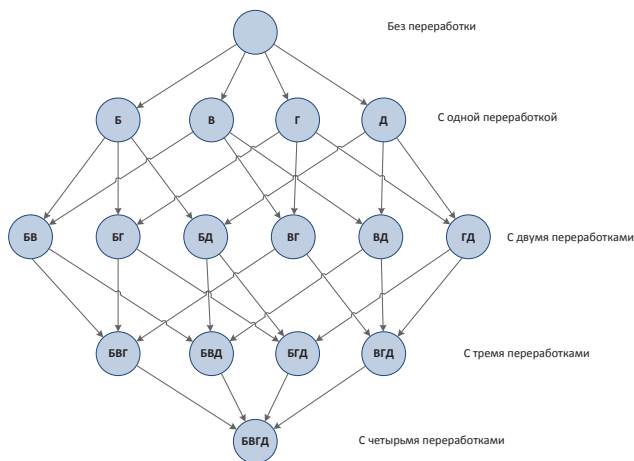
При расчёте плана формирования одnogруппных поездов уже неоднократно предпринимались попытки использовать линейное программирование для построения оптимизационных моделей. К этому имеются серьёзные основания, поскольку этот метод экономически наиболее эффективный, повышает качество комплексного планирования, увеличивает аналитические возможности и удобен для математической формализации задачи и использования вычислительных программ.

К сожалению, использование линейного программирования ограничивалось формализацией и математической постановкой задачи, а для её решения предлагались приближенные методы (последовательного улучшения плана [10], пошагового распределения вагонопотоков [9] и др.), которые к тому же связаны с ручной корректировкой полученных результатов.

Рассмотрим расчёт плана формирования одnogруппных поездов на сети железных дорог как комбинирование струй вагонопотоков и конфигураций поездопотоков, т.е. распределение формирования и расформирования составов на выделенных станциях. Впервые появляется возможность в процессе выполнения расчётов плана формирования управлять транзитностью вагонопотоков и загрузкой технических станций. Это достигается решением комбинаторной задачи путём объединения



**Рис. 4. Схема последовательности рассмотрения вариантов объединения вагонопотоков с учётом переработки на попутных станциях при расчёте плана формирования одногруппных поездов на направлении с шестью станциями, представленном на рис. 3.**



струй вагонопотоков по выбранным оптимальным параметрам.

Прямой перебор всех возможных вариантов объединения струй вагонопотоков на технических станциях сети железных дорог приводит к астрономическому их числу. Это вызвало появление методов расчёта плана формирования одногруппных поездов на полигонах с ограниченным числом станций. Использование критерия минимальной переработки вагонов позволяет упорядочить перебор вариантов, значительно их сократить и выполнять задачу на ЭВМ без ограничения участия в расчётах станций.

Для всех струй вагонопотоков ( $n_1, n_2, n_3, n_4, n_6, n_7, n_8, n_{10}, n_{11}, n_{13}$ ), в том числе и между начальной и конечной станциями ( $n_1$ ), кроме участков ( $n_5, n_9, n_{12}, n_{14}, n_{15}$ ) (рис. 3), проверяется выполнение достаточного условия (1).

При его выполнении струя вагонопотока выделяется в самостоятельное назначение и включается в оптимальный вариант плана формирования.

При невыполнении струёй вагонопотока ( $n_1$ ) достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения со всеми более короткими струями вагонопотоков, начинающиеся на начальной станции или заканчивающиеся на конечной, т.е. все варианты объединения дальней струи вагонопотока ( $n_1$ ) с переработкой только на одной попутной станции. Это объединение относится к более коротким струям, которые берут начало на начальной станции и следуют до одной из попутных станций ( $n_2, n_3, n_4, n_5$ ) или берут начало на соответ-

ствующей попутной станции и следуют до конечной ( $n_6, n_{10}, n_{13}, n_{15}$ ).

В комбинаторике такое объединение струй вагонопотоков в определённом порядке называется перестановкой из  $n$  элементов.

Нахождение оптимального варианта объединения дальней струи вагонопотока ( $n_1$ ) с переработкой на одной из попутных станций рассматривается в следующей очередности:

$$\begin{aligned} &\{(n_1 + n_2) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_3) + (n_1 + n_{13})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_{10})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_6)\}. \end{aligned}$$

При невыполнении струёй вагонопотока ( $n_1$ ) после объединения и переработки на одной из попутных станций достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения и переработки на двух попутных станциях в следующей очередности:

$$\begin{aligned} &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{10})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_7) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{10})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_{11}) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_8) + (n_1 + n_{13})\}. \end{aligned}$$

При невыполнении струёй вагонопотока ( $n_1$ ) после объединения и переработки на двух попутных станциях достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения и переработки на трёх попутных станциях в следующей очередности:

$$\begin{aligned} &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{13})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_6) + (n_1 + n_{11}) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_8) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}; \\ &\{(n_1 + n_4) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}. \end{aligned}$$



Таблица 3

## Комбинаторный метод расчёта плана формирования одногруппных поездов

Очередность	Число переработок струи вагонопотока	Число участков проследования струи вагонопотока без переработки	Варианты переработки струи вагонопотока	Варианты объединения струи вагонопотока ( $n_i$ )
1	1	5	1	$n_1$
2	2	4+1	12	$n_2 + n_{15}$
3	2	1+4	21	$n_2 + n_6$
4	2	3+2	12	$n_2 + n_{13}$
5	2	2+3	21	$n_2 + n_{10}$
6	3	1+1+3	123	$n_5 + n_9 + n_{10}$
7	3	1+3+1	132	$n_5 + n_7 + n_{15}$
8	3	3+1+1	312	$n_3 + n_{14} + n_{15}$
9	3	2+2+1	123	$n_4 + n_{11} + n_{15}$
10	3	2+1+2	132	$n_4 + n_{12} + n_{13}$
11	3	1+2+2	312	$n_5 + n_8 + n_{13}$
12	4	1+1+1+2	1234	$n_5 + n_9 + n_{10} + n_{15}$
13	4	1+1+2+1	1243	$n_5 + n_6 + n_{11} + n_{15}$
14	4	1+2+1+1	1423	$n_5 + n_8 + n_{14} + n_{15}$
15	4	2+1+1+1	4123	$n_4 + n_{12} + n_{14} + n_{15}$
16	5	1+1+1+1+1	12345	$n_5 + n_9 + n_{12} + n_{14} + n_{15}$

При невыполнении струёй вагонопотока ( $n_i$ ) после объединения и переработки на трёх попутных станциях достаточного условия (1) рассматриваются варианты её объединения и переработки на четырёх попутных станциях:

$$\{(n_1 + n_5) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}.$$

Графическое изображение описанной процедуры представлено на рис. 4.

Таким образом, в процессе расчёта плана формирования одногруппных поездов

последовательно рассматриваются все струи вагонопотоков, начиная с самых дальних. При несоответствии заданному условию выполняется процедура объединения их с более короткими струями вагонопотоков с переработкой на одной, двух, трёх, ... станциях – пока не будет удовлетворено достаточное условие или когда объединение приведет к участковому назначению.

Очередность рассмотрения сочетаний (объединений) самой дальней струи вагоно-

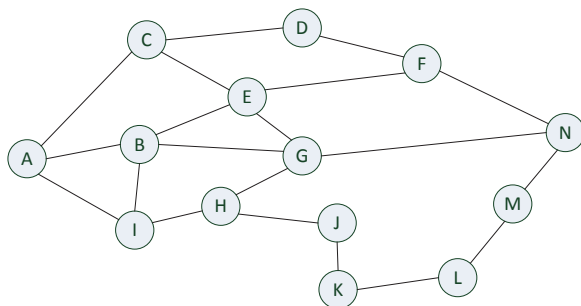
Таблица 4

## Комбинаторный метод расчёта плана формирования одногруппных поездов для 25 станций

Очередность	Число переработок струи вагонопотока	Число участков проследования струи вагонопотока без переработки	Варианты переработки струи вагонопотока	Варианты объединения струи вагонопотока ( $n_i$ )
1	1	5	1	$n_1$
2	2	24+1	12	...
3	2	1+24	21	...
4	2	23+2	12	...
5	2	2+23	21	...
...	...	...	...	...
...	3	22+1+1	123	...
...	3	1+22+1	213	...
...	3	1+1+22	231	...
...	...	2+1+2	...	...
...	4	21+1+1+1	...	...
...	4	1+21+1+1	...	...
...	...	...	...	...



Рис. 5. Граф полигона железных дорог.



потока ( $n_i$ ) по числу переработок в пути следования представлена в таблице 3. Например, если в расчётах плана формирования одnogруппных поездов участвует 25 станций, то таблица 3 преобразуется в таблицу 4.

Предлагаемый метод позволяет рассчитывать план формирования одnogруппных поездов для неограниченного числа станций на разветвлённом полигоне. Для этого полигон железных дорог представляется в виде графа (рис. 5). Вершинами обозначаем станции, участвующие в расчёте плана. С помощью альбома кратчайших расстояний между станциями определяем маршруты следования (попутные станции) и расстояния. На маршрутах следования струй вагонопотоков находим наиболее дальние станции, с которых и начинаем процесс по описанному ранее линейному алгоритму.

По мере выделения струй вагонопотоков в самостоятельные назначения по каждой станции суммируется объём переработки вагонов и при выполнении нескольких вариантами условия (3) предпочтение отдаётся варианту с переработкой вагонопотока на наименее загруженных станциях.

## ВЫВОДЫ

1. В связи с потерей актуальности одного из основных критериев системы организации вагонопотоков — сокращения времени оборота вагонов требует изменения оценка вариантов плана формирования поездов по затратам приведённых вагоночасов. Поэтому взамен этих критериев предложены выполнение сроков доставки грузов и минимизация переработки вагонопотоков на технических станциях.

2. Для разработки плана формирования одnogруппных поездов в условиях прива-

тизированного вагонного парка предложен комбинаторный метод на основе критериев соблюдения срока доставки грузов и минимизации переработки вагонопотоков на технических станциях. В процессе расчёта плана формирования одnogруппных поездов последовательно рассматриваются все струи вагонопотоков, начиная с самых дальних. При неудовлетворении достаточному условию выполняется процедура объединения их с более короткими струями вагонопотоков с переработкой на одной, двух, трёх и т.д. станциях, пока не будет достигнута соответствующая выдвинутым критериям организация процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР/МПС. — М.: Транспорт, 1967. — 190 с.
2. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. — М.: Транспорт, 1984. — 256 с.
3. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». — М.: Техинформ, 2007. — 527 с.
4. Левин Д. Ю. Организация вагонопотоков на железных дорогах. — М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2017. — 443 с.
5. Белов И. В., Персианов В. А. Экономическая теория транспорта в СССР. — М.: Транспорт, 1993. — 415 с.
6. Правила перевозок грузов железнодорожным транспортом: Сборник. — Кн. 1. — М.: Юртранс, 2003. — 712 с.
7. Бородин А. Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений // Труды ВНИИАС. — 2008. — Вып. 6. — 317 с.
8. Тишкин Е. М. Автоматизация управления вагонным парком. — М.: Интекст, 2000. — 224 с.
9. Бородин А. Ф., Батулин А. П., Панин В. В. Организация вагонопотоков: Учеб. пособие. — М.: МИИТ, 2008. — 192 с.
10. Дувалян С. В. Методы и алгоритмы решения задач планирования и учёта на железнодорожном транспорте // Труды ЦНИИ МПС. — 1969. — Вып. 401. — 256 с.

Координаты автора: **Левин Д. Ю.** — levindu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 16.07.2017, принята к публикации 14.08.2017.

## ORGANIZATION OF CAR FLOWS IN MARKET CONDITIONS

Levin, Dmitry Yu., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

In market conditions one of the former main criteria of the system of organizing car flows, which was reduction in the turnover time of cars, has lost its relevance. Now it is necessary to abandon the evaluation of the variants of the train formation plan using costs calculated in reduced car-hours. Therefore, as a replacement, it is offered to fulfill the delivery deadlines. At the same time, in conditions of the privatized car fleet, a combination of criteria for

meeting the deadline for the delivery of goods and minimizing the processing of car flows at technical stations was required. In the process of calculating the plan for the formation of one-group trains, all streams of car flows, from the furthest ones, are consistently considered. If the accepted conditions are not met, the procedure of combining distant ones with shorter streams with their processing at one, two, three, etc. stations is performed – until the proper level of organization is achieved.

**Keywords:** railway, train formation plan, design norms, combinatorics, terms of cargo delivery, organization of car flows.

**Background.** At the beginning of 20<sup>th</sup> century the theory of organization of car flows arose. And it soon became clear that science deals with a complex and diverse section of exploitation of railways, in improvement of which there is no limit. The tasks formulated in the guidelines for organization of car flows, issued by industry departments in 1967, 1984 and 2007 [1–3], will still serve as beacons for many generations of researchers. And how many new tasks arise?

Many problems have not yet been solved for the inventory of cars, and completely new problems have arisen when using own cars. First of all, these are fundamentally different criteria that require other design norms and completely new methods for calculating the plan for formation of trains [4]. In particular, the previous criterion for estimating costs in «reduced car-hours» has lost relevance, and even the use of car-hours in monetary terms does not change the situation.

**Objective.** The objective of the author is to consider different issues related to organization of car flows in market conditions.

**Methods.** The author uses general scientific and engineering methods, modeling, graph construction, mathematical methods, comparative analysis.

### Results.

#### I.

It is interesting to recall that the goal of not only the organization of flows, but also of the whole operational science was the saving of car-hours. And acceleration of car turnover was regularly established every three to four years by the order of the Minister of Railways under the same number (No. 1C). Acceleration of turnover should be achieved at any cost, including by delaying locomotives, excessive expansion of loading and unloading fronts from the clientele to handle entire routes, etc. This was explained by the inadequate number of cars, and their inefficient use. The solution was one – to squeeze the most out of the existing fleet of cars. This is reflected, including in the theory of the formation plan. The use of car-hours as a criterion at that time was considered an indisputable truth, and if at times they were disputed, they did not offer anything else. Indeed, the car turnover in the USSR has reached six days, while on the US railways – 20 days [5]. In the conditions of continuous growth of freight intensity and acceleration of turnover of cars, alternative solutions were simply not required.

With the switch to a for-profit model in the 1980s the roads had to use better not only cars, but also locomotives, economically spend labor resources. With

the strategy of optimal operation of railways (labor saving with a maximum of transport products and limited costs), the theory of the formation plan was faced with the need for a comprehensive solution of all problems, i.e. to take into account the costs of traction, to more fully reflect the specifics of the work of railway lines, including delays in trains at stations and sections, the shortage of station tracks, the capacity of lines, etc. For the voyage, an average of 11 technical stations were passed, of which four were marshalling yards. The average daily processing of cars at stations reached unjustifiably large sizes (on average 130 km at technical stations, 400 km – on marshalling yards). But then the theory of the plan of formation did not change.

At present, the organization of car flows affects the costs of rail transport because of the failure to meet the deadline for delivery of cargoes and the processing of cars at technical stations. Therefore, it is suggested that these factors should be used as criteria for assessing the organization of car flows.

Fulfillment of delivery deadlines is one of the main tasks of JSC Russian Railways. The fulfillment of regulatory deadlines for delivery of cargoes is one of the most important indicators of the quality of rail transport products, and it is it which characterizes the organization of the transportation process.

In accordance with the Charter of the Russian Railways, JSC Russian Railways bears material responsibility to the consignees for failure to meet the delivery deadlines and loses a significant part of the revenue due to loss of loading resources. The current procedure for calculating the delivery time is approved by the Russian Ministry of Railways Order No. 27 dated June 18, 2003 and registered with the Ministry of Justice of Russia on June 23, 2003 under No. 4816 [6].

For the year, more than 20 000 claims are filed against JSC Russian Railways related to non-fulfillment of delivery deadlines, a penalty for delay in delivery of hundreds of millions of rubles is paid [4].

At the same time, in terms of operational performance and regulatory documents, there is no assessment of the delivery of cargoes.

Among the main criteria for assessing the current system of organizing car flows, the delivery of cargo is also not fulfilled. In case of delay in the delivery of cargoes, losses are related to inadequate transportation needs and the possibilities of railways, interoperational idle times of cars at technical stations due to ineffective distribution of sorting work between stations, oversaturation of sections by trains and lack of effective levers for operative change of an unfavorable situation.



The minimum power of assignments of trains being formed  
(the minimum number of trains per day)

$\Sigma t_{exp} + \Sigma t_{tech}$ , h	$n_{min}$ , trains/day, for $L_{dest}$ , km				
	100	200	320–1000	1700–3000	3900–7000
Marshalling yard					
2	2,34	1,81	1,06	0,64	0,52
4	2,74	2,06	1,13	0,66	0,53
6	4,40	2,40	1,22	0,68	0,54
8	4,74	2,94	1,34	0,70	0,55
10	10,21	4,00	1,48	0,73	0,56
12	–	7,49	1,69	0,76	0,58
Section station					
4	2,72	2,05	1,13	0,65	0,53
6	3,28	2,36	1,22	0,68	0,54
8	4,29	2,82	1,32	0,70	0,55
10	7,01	3,62	1,46	0,73	0,56
12	–	5,60	1,64	0,76	0,58
14	–	–	1,90	0,79	0,59
Border railway station					
6	3,24	2,34	1,21	0,68	0,54
8	4,06	2,74	1,31	0,70	0,55
10	5,83	3,40	1,44	0,72	0,56
12	16,11	4,74	1,60	0,75	0,57
14	–	10,21	1,83	0,80	0,59
16	–	–	2,17	0,83	0,61

## II.

In the course of reforming the railway transport at the turn of 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> centuries, the inventory fleet of cars began to decline and in 2011 it disappeared, the cars became private. At the same time, one of the main criteria of the system of organizing car flows – reduction in the turnover time of cars – has lost its relevance. Accordingly, the costs for the organization of car flows, expressed in the reduced car-hours, cannot be a criterion for evaluating the train formation plan.

The time norm for transportation of cargoes from the departure station to the destination station is calculated in days. The delivery time consists of the time norms for the operations related to departure and arrival of cargo, its movement through the sections, and the time norms for additional operations (transfer and reception of cargo during transportation through the waterways of the traffic transported in a direct mixed traffic, reloading the cargoes into cars with wheel sets of a different track width, carrying out various types of state control, etc.).

Norms of daily run for calculating the time of delivery of cargoes transported within the Russian Federation depend on the range of cargo transportation, the mode of transportation speed and the category of shipment. The standards for determining the delivery time, the procedure for calculating the delivery time are approved by JSC Russian Railways.

In order to assess the delivery of goods, in February and September, in the integrated processing of road lists, primary data on the duration of the cargo are processed and analyzed by mechanical sampling of about 10 % of shipments. The data are grouped according to the speed regime (freight, large), the types of traffic (local, direct), the categories of shipments (route, car, small without containers, cargo in containers), the type of cargo and the distance of transportation. The average duration and speed of delivery are calculated per shipment and one ton of cargo, taking into account

and without regard to the time of its location at the destination station. At the same time, the average speed of delivery is determined only by the actual, and the average duration of the delivery of the goods, in addition, and regulatory.

A. F. Borodin [7], considering the reliability of the technology of the transportation process, suggested using the methodology for controlling and managing the time of delivery of goods, existing in the DISPARC system [8]: legal, technological, control and operational.

Legal delivery time is calculated in accordance with the «Rules for Carriage of Goods by Rail» [6] or is established by the contract for transportation in the system of corporate transport services.

Technological delivery time is calculated in accordance with the current regulatory organization of freight traffic (the order of the direction of car flows, the plan for the formation and the schedule of train traffic).

Control delivery time is set to track the implementation of the delivery term in automated systems.

Operational delivery time is a dynamic characteristic of time (in contrast to the «static», indicated above).

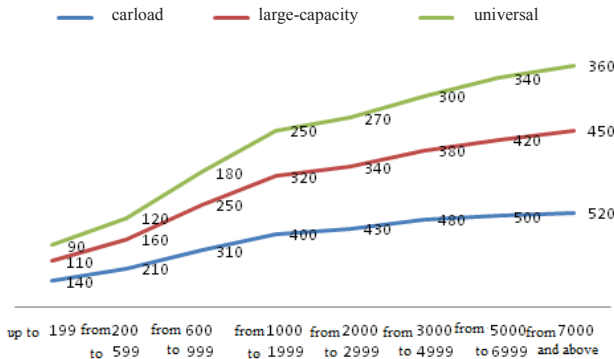
This division emphasizes the existing contradictions of the possible calculation of the delivery time, but since the railway is responsible for compliance with the standard delivery time, it is reasonable to use it in the calculations of the train formation plan.

In the work of A. F. Borodin, A. P. Baturin, V. V. Panin [9] a minimum permissible power standard for train assignments is introduced, based on the standard terms of cargo delivery. Depending on the distance of the destination  $L_{dest}$  total duration of idle time of cars with processing (excluding idle time while being accumulated)  $\Sigma t_{exp} + \Sigma t_{tech}$  and station type (sorting, section, border) they proposed to determine the minimum power of the assignments for the trains to be formed  $n_{min}$  (Table 1).

Table 2

Norm of daily run of a car

Transportation distance, km	Norms of daily run by types of shipments, km		
	Car	Large-capacity refrigerated containers	Universal containers and small dispatches
Up to 199	140	110	90
From 200 to 599	210	160	120
From 600 to 999	310	250	180
From 1000 to 1999	400	320	250
From 2000 to 2999	430	340	270
From 3000 to 4999	480	380	300
From 5000 to 6999	500	420	340
From 7000 and above	520	450	360



Pic. 1. Norms of daily run of cargo shipments.

Table 1 shows the possibility of accounting for the delivery of cargoes during the organization of car flows, but this is still done for the inventory fleet of cars, i.e. taking into account the costs and saving of car-hours.

For a private fleet of cars, it is advisable to use the rules for the carriage of cargoes [6], where the norm of the daily run is determined by the freight speed depending on the distance of transportation and the types of shipment (Table 2, Pic. 1).

The absolute majority of shipments processed at marshalling yards are carload. Therefore, in the calculations it is expedient to focus on them. The rules for the carriage of goods still show the delivery time at high speed, but such shipments, as a rule, are not processed at marshalling yards and do not participate in calculations of the train formation plan. The terms of delivery of cargo by route shipments are considered separately.

It is necessary to take into account the increase in terms of delivery of cargoes provided for by the rules of transportation [6]:

- for a day – for operations related to transfer and receipt of goods, in case of carriage of goods with the crossing of waterways (sea, river, strait, lake) on ships and ferries;
- for a day – when transferring to another mode of transport, receiving from another mode of transport of goods carried in a direct mixed traffic;
- for two days – when cargo is loaded into cars with wheel sets of different track widths;
- for a day – when the cars are displaced to wheel sets of a different track width;
- for a day – when sending cargoes from the railway stations of the Moscow and St. Petersburg hubs, or the arrival of cars to the railway stations of these hubs, or in case of movement of goods in transit through them;
- for a day – in the case of border, customs, sanitary epidemiological, veterinary, phytosanitary and other

types of state control exercised at border checkpoints of the Russian Federation.

The streams of car flows, allocated for independent assignments of trains, can be equated to route dispatch by delivery time. In accordance with the rules for carriage of goods, the delivery time for route shipments is calculated from the calculation of the standard period – 550 km per day. Then the expenses for accumulation of trains, which are considered for separation into independent assignments, will be permissible under the observance of the standard terms for the delivery of goods, if the condition is met

$$st \leq 24 \cdot L \cdot N \left( \frac{1}{V_{cl}} - \frac{1}{V_{route}} \right); \tag{1}$$

$$T_{acc} \leq 24 \cdot L \left( \frac{1}{V_{cl}} - \frac{1}{V_{route}} \right), \tag{2}$$

where  $L$  – distance of (additional) movement of the allocated destination of trains, km;  $V_{cl}$ ,  $V_{route}$  – norms of daily run of cars, respectively, without allocation (carload) and with allocation of car flows (route shipment) to independent assignment of trains km / day.

In the formulas (1) and (2), the expression in parentheses characterizes the possible acceleration of the car flow following the assignment to an independent destination with the dimension of day/km. Graphical change of the right-hand side of inequalities (1) and (2) is presented in a convenient form for calculations and is shown in Pic. 2. Then the formulas will accordingly have the form:

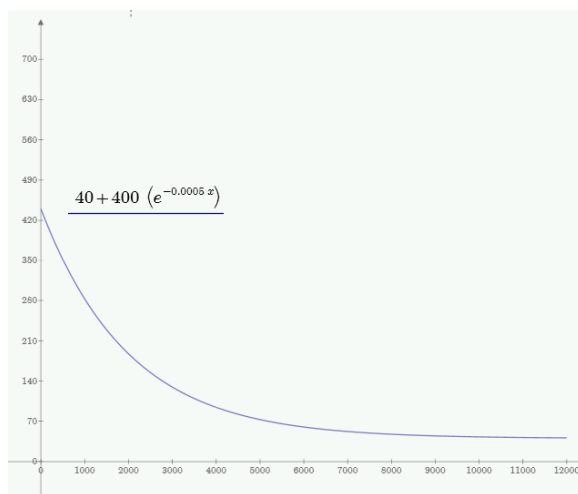
$$st \leq 40 + 400(e^{-0,0005L}); \tag{3}$$

$$T_{acc} \leq 40 + 400(e^{-0,0005L}). \tag{4}$$

In addition to justifying the expediency of allocating streams of car flows to independent destinations, the formula (2) can also be used to establish technical assignments for the duty dispatching apparatus, to study the influence of various factors on speed of cargo



**Pic. 2. Change in the difference in daily run of route and non-route shipments depending on the distance of transportation.**



delivery, and to find ways to accelerate the transport process.

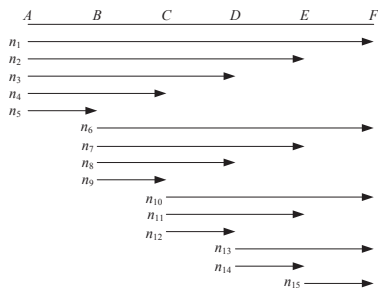
**III.**

When calculating the plan for formation of one-group trains, attempts have been made several times to use linear programming to construct optimization models. There are serious reasons for this, since this method is the most economically effective, raises the quality of integrated planning, increases analytical capabilities and is convenient for mathematical formalization of the task and the use of computer programs.

Unfortunately, the use of linear programming was limited to formalization and mathematical formulation of the problem, and to solve it, approximate methods were offered (successive improvement of the plan [10], stepwise distribution of car flows [9], etc.), which are also related to manual correction of the results obtained.

Let's consider the calculation of the plan for formation of one-group trains on the railway network as a combination of streams of car flows and car flows patterns, i.e. distribution of formation and breaking up of trains at selected stations. For the first time, it becomes possible, in the process of calculating the formation plan, to control the transit of car flows and the loading of technical stations. This is achieved by solving a combinatorial problem by combining streams of car flows with the chosen optimal parameters.

A direct search of all possible variants of combining streams of car flows at technical stations of the railway network leads to an astronomical number of them. This led to the emergence of methods for calculating the



**Pic. 3. Scheme of directions and streams of car flows.**

plan for the formation of one-group trains in operating domains with a limited number of stations. Using the criterion of minimum processing of cars allows to streamline the search for options, significantly reduce them and perform the task on a computer without limiting participation in station calculations.

For all streams of car flows ( $n_{11}, n_{21}, n_{31}, n_{41}, n_{61}, n_{71}, n_{81}, n_{101}, n_{111}, n_{131}$ ), including between the initial and final stations ( $n_{11}$ ), except the section ones ( $n_{51}, n_{61}, n_{121}, n_{141}, n_{151}$ ) (Pic. 3), we verify that the sufficient condition (1) is satisfied.

When it is executed, the stream of the car flow allocated to an independent assignment and is included in the optimal variant of the formation plan.

If the stream of the car flow ( $n_{11}$ ) does not fulfill the sufficient condition (1), the variants of its combination with all shorter streams of car flows starting at the initial station or ending at the final one, i.e., all variants of combining a long stream of car flow ( $n_{11}$ ) with processing at only one passing station are considered. This combination refers to shorter streams that originate at the initial station and follow up to one of the passing stations ( $n_{21}, n_{31}, n_{41}, n_{51}$ ) or start at the corresponding passing station and follow the final one ( $n_{61}, n_{101}, n_{131}, n_{151}$ ).

In the section of mathematics – combinatorics, such a combination of streams of car flows in a certain order is called a rearrangement of  $n$  elements.

Finding the optimal variant of combining the long stream of the car flow ( $n_{11}$ ) with processing at one of the passing stations is considered in the following order:

- $\{(n_{11} + n_{21}) + (n_{11} + n_{151})\};$
- $\{(n_{11} + n_{31}) + (n_{11} + n_{131})\};$
- $\{(n_{11} + n_{41}) + (n_{11} + n_{101})\};$
- $\{(n_{11} + n_{51}) + (n_{11} + n_{61})\}.$

If the stream of the car flow ( $n_{11}$ ) after combination and processing at one of the passing stations did not fulfill the sufficient condition (1), the options for its integration and processing at two passing stations are considered in the following order:

- $\{(n_{11} + n_{51}) + (n_{11} + n_{61}) + (n_{11} + n_{101})\};$
- $\{(n_{11} + n_{51}) + (n_{11} + n_{71}) + (n_{11} + n_{151})\};$
- $\{(n_{11} + n_{41}) + (n_{11} + n_{61}) + (n_{11} + n_{101})\};$
- $\{(n_{11} + n_{41}) + (n_{11} + n_{111}) + (n_{11} + n_{151})\};$
- $\{(n_{11} + n_{51}) + (n_{11} + n_{61}) + (n_{11} + n_{131})\}.$

If the stream of the car flow ( $n_{11}$ ) after combination and processing at two passing stations did not fulfill the sufficient condition (1), the options for its integration and processing at three passing stations are considered in the following order:

Table 3

## Combinatorial method for calculating the plan for the formation of one-group trains

Priority	Number of processing of streams of car flow	Number of sections of movement of the stream of the car flow without processing	Options of processing of the stream of the car flow	Variants of combination of the stream of the car flow ( $n_i$ )
1	1	5	1	$n_1$
2	2	4+1	12	$n_2 + n_{15}$
3	2	1+4	21	$n_2 + n_6$
4	2	3+2	12	$n_2 + n_{13}$
5	2	2+3	21	$n_2 + n_{10}$
6	3	1+1+3	123	$n_5 + n_9 + n_{10}$
7	3	1+3+1	132	$n_5 + n_7 + n_{15}$
8	3	3+1+1	312	$n_3 + n_{14} + n_{15}$
9	3	2+2+1	123	$n_4 + n_{11} + n_{15}$
10	3	2+1+2	132	$n_4 + n_{12} + n_{13}$
11	3	1+2+2	312	$n_5 + n_8 + n_{13}$
12	4	1+1+1+2	1234	$n_5 + n_9 + n_{10} + n_{15}$
13	4	1+1+2+1	1243	$n_5 + n_6 + n_{11} + n_{15}$
14	4	1+2+1+1	1423	$n_5 + n_8 + n_{14} + n_{15}$
15	4	2+1+1+1	4123	$n_4 + n_{12} + n_{14} + n_{15}$
16	5	1+1+1+1+1	12345	$n_5 + n_9 + n_{10} + n_{14} + n_{15}$

Table 4

## Combinatorial method for calculating the plan for the formation of one-group trains for 25 stations

Priority	Number of processing of streams of car flow	Number of sections of movement of the stream of the car flow without processing	Options of processing of the stream of the car flow	Variants of combination of the stream of the car flow ( $n_i$ )
1	1	5	1	$n_1$
2	2	24+1	12	...
3	2	1+24	21	...
4	2	23+2	12	...
5	2	2+23	21	...
...	...	...	...	...
...	3	22+1+1	123	...
...	3	1+22+1	213	...
...	3	1+1+22	231	...
...	...	2+1+2	...	...
...	4	21+1+1+1	...	...
...	4	1+21+1+1	...	...
...	...	...	...	...

$$\{(n_1 + n_2) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{13})\};$$

$$\{(n_1 + n_2) + (n_1 + n_6) + (n_1 + n_{11}) + (n_1 + n_{15})\};$$

$$\{(n_1 + n_2) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\};$$

$$\{(n_1 + n_2) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}.$$

If the stream of the car flow ( $n_i$ ) after combination and processing at three passing stations did not fulfill the sufficient condition (1) the options for its integration and processing at four passing stations are considered:

$$\{(n_1 + n_2) + (n_1 + n_9) + (n_1 + n_{12}) + (n_1 + n_{14}) + (n_1 + n_{15})\}.$$

A graphic representation of the described procedure is shown in Pic. 4.

Thus, in the process of calculating the plan for formation of one-group trains, all streams of car flows, starting from the most distant ones, are consistently considered. If the condition is not met, the procedure of combining them with shorter streams of car-flows with processing at one, two, three, ... stations is performed, until a sufficient condition is met or when the combination leads to a section assignment.

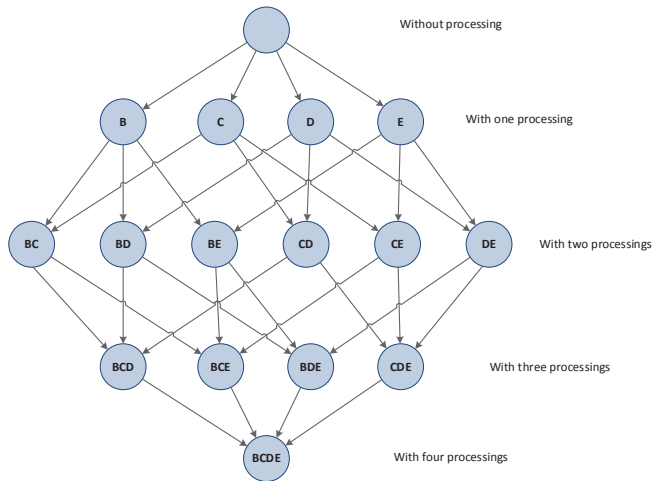
The order of consideration of combinations of the longest stream of the car flow ( $n_i$ ) according to the number of processing along the route is presented in Table 3. For example, if 25 stations participate in the calculation of the plan for forming one-group trains, Table 3 is converted to Table 4.

The proposed method allows to calculate the plan for formation of one-group trains for an unlimited number of stations on a branched operating domain. For this purpose the operating domain of railways is represented in the form of a graph (Pic. 5). The vertices denote the stations involved in calculating the plan. With the help of the album of the shortest distances between stations, we determine the routes of travel (passing stations) and distances. On the routes of streams of car flows we find the most distant stations, from which we begin the process according to the previously described linear algorithm.

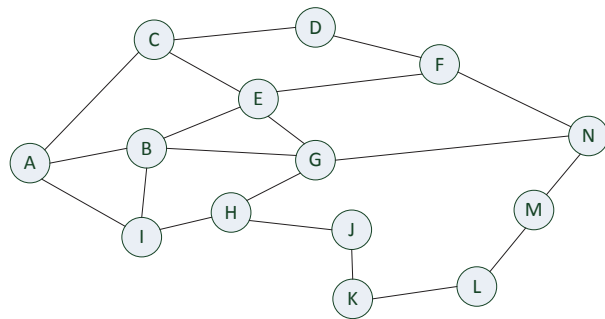
As the streams of car flows are allocated into separate assignments for each station, the volume of



**Pic. 4. Scheme of the sequence of consideration of variants of combining car flows with account of processing at passing stations when calculating the plan for the formation of one-group trains on the direction with six stations, shown in Pic. 3.**



**Pic. 5. Graph of the operating domain of railways.**



processing of cars is summed up, and if several options satisfy the condition (3), preference is given to the variant with processing of the car flow at the least loaded stations.

**Conclusions.**

1. Instead of the criterion of turnover time of rail cars it is suggested to fulfill the delivery deadlines and minimize the processing of car flows at technical stations.

2. To develop a plan for formation of one-group trains in a privatized car fleet, a combinatorial method is proposed based on the criteria for meeting the delivery deadline and minimizing the processing of car flows at technical stations. In the process of calculating the plan for formation of one-group trains, all streams of car flows, from the most distant ones, are consistently considered. If the sufficient condition is not satisfied, the procedure of combining them with shorter streams of car flows with processing on one, two, three, etc. stations is performed, until the corresponding organization of the process is achieved.

**REFERENCES**

1. Instructions on organization of car flows on the railways of the USSR [*Instruktivnye ukazaniya po organizatsii vagonopotokov na zheleznnyh dorogah SSSR*] / MPS. Moscow, Transport publ., 1967, 190 p.  
 2. Instructions on organization of car flows on the railways of the USSR [*Instruktivnye ukazaniya po organizatsii*

*vagonopotokov na zheleznnyh dorogah SSSR*]. Moscow, Transport publ., 1984, 256 p.

3. Instructions on organization of car flows on the railways of JSC Russian Railways [*Instruktivnye ukazaniya po organizatsii vagonopotokov na zheleznnyh dorogah OAO «RZhD»*]. Moscow, Tehinform publ., 2007, 527 p.

4. Levin, D. Yu. Organization of car flows on railways [*Organizatsiya vagonopotokov na zheleznnyh dorogah*]. Moscow, TMC for education on railway. transport, 2017, 443 p.

5. Belov, I. V., Persianov, V. A. Economic theory of transport in the USSR [*Ekonomicheskaja teorija transporta v SSSR*]. Moscow, Transport publ., 1993, 415 p.

6. Rules for the transportation of cargoes by rail: Collection. Book. 1 [*Pravila perevozok gruzov zheleznodorozhnyim transportom: Sbornik. – Kn. 1*]. Moscow, Jurtrans publ., 2003, 712 p.

7. Borodin, A. F. Operational work of railway directions [*Ekspluatatsionnaja rabota zheleznodorozhnyh napravlenij*]. *Trudy VNIIS*, 2008, Iss. 6, 317 p.

8. Tishkin, E. M. Automation of fleet management [*Avtomatizatsiya upravlenija vagonnym parkom*]. Moscow, Intekst publ., 2000, 224 p.

9. Borodin, A. F., Baturin, A. P., Panin, V. V. Organization of car flows: educational guide [*Organizatsiya vagonopotokov: Ucheb. posobie*]. Moscow, MIIT publ., 2008, 192 p.

10. Duvalyan, S. V. Methods and algorithms for solving planning and accounting problems in railway transport [*Metody i algoritmy reshenija zadach planirovaniya i ucheta na zheleznodorozhnom transporte*]. *Trudy CNII MPS*, 1969, Iss. 401, 256 p.

Information about the author:

**Levin, Dmitry Yu.** – D.Sc. (Eng), professor at the department of Management of operational work and safety on transport of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, levindu@yandex.ru.

Article received 16.07.2017, accepted 14.08.2017.



# T

## **СПАСАТЕЛЬНАЯ СЛУЖБА 194**

*Формулы оптимального места.*

## **АВАРИЙНОСТЬ 202**

*ДТП – зависимости в Иркутске.*



## **ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ 214**

*Взгляд из космоса.*

## **ВИБРОЗАЩИТА 228**

*Терраэфективность зоны метро.*

## **RESCUE SERVICE 194**

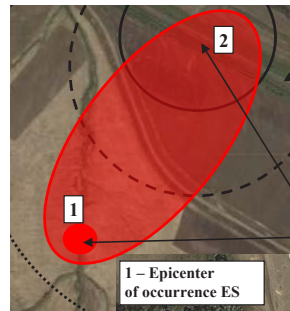
*Formulae of optimal location.*

## **ACCIDENTS 202**

*Some dependencies of road accidents in Irkutsk.*

## **EMERGENCY SITUATIONS 214**

*View from the space.*



## **PROTECTION AGAINST VIBRATION 228**

*Efficient protection of metro underground areas.*



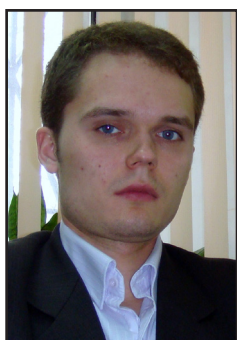


# Оптимальное расположение спасательной службы



Анатолий ГУСЕВ  
Anatoly I. GUSEV

Сергей ГУСЕВ  
Sergey A. GUSEV



*Гусев Анатолий Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Гусев Сергей Анатольевич – управляющий финансового отдела ООО «Стройторги», Москва, Россия.*

## Optimal Location of Rescue Service

(текст статьи на англ. яз. –  
English text of the article – p. 199)

**В работах (1–4) исследуются задачи об оптимальном расположении магистрали, оптимальном распределении средств между программами по безопасности движения на транспорте.**

**В публикуемой статье предложена модель расположения вагонного парка (автомобильного) в его динамике и исследована задача об оптимальном нахождении спасательной службы на магистрали при наличии на ней нескольких транспортных узлов. Модельные расчёты могут быть использованы как в практических целях, так и дальнейших теоретических исследованиях.**

*Ключевые слова:* безопасность, транспорт, нормальный закон распределения, функция Лапласа, транспортный узел, оптимальное расположение, спасательная служба.

**В** момент аварии транспортных средств необходима срочная помощь спасательных служб. При большой протяжённости железнодорожных, автомобильных магистралей невозможно их расположить достаточно часто. Возникает задача об оптимальном распределении таких служб на магистрали. При обслуживании некоторого дорожного участка спасатели передвигаются к месту аварии на разные расстояния и к тому же на одни участки чаще, на другие реже, поэтому возникает потребность расположить спасательную службу так, чтобы среднее время прибытия было минимальным. В данной статье разработана экономико-математическая модель оптимального размещения спасательной службы при обслуживании нескольких узлов транспорта на магистрали.

## НОРМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ТРАНСПОРТА

Пусть мы имеем транспортный узел  $T(a)$  (станция, сортировочная база и т.д.) на некоторой определённой магистрали, причём одни составы идут по выделенной магистрали, а другие с неё уходят в каких-

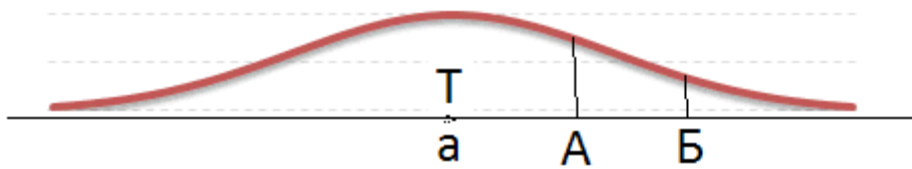


Рис. 1. Нормальное расположение транспорта возле транспортных узлов.

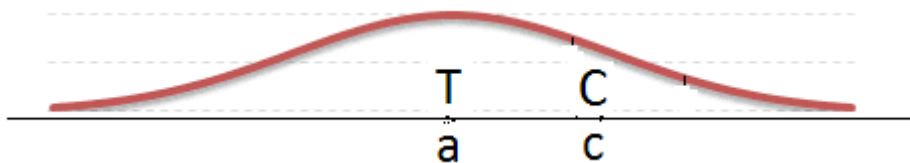


Рис. 2. Расположение спасательной службы на магистрали.

то местах. Обозначим через  $I$  число вагонов, которые проследовали через узел за месяц (если некий вагон проследует несколько раз, столько раз его и зачтём, причём эти вагоны приписаны к данному транспортному узлу, приписанные к иному узлу в расчёт не берутся).

Отметим, что выбранный период времени не влияет на результат. Будем предполагать, что число вагонов на магистрали за месяц распределено по нормальному закону (5) с математическим ожиданием  $a$ , средним квадратичным отклонением  $\sigma$  и интенсивностью  $I$  (см. рис. 1), т.е. число вагонов, побывавших за месяц на участке  $AB$  магистрали, составляет:

$$N = \frac{I}{\sqrt{2\pi}} \int_a^B e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Число вагонов, требующих обслуживания спасательной службы на участке  $AB$ , пропорционально количеству вагонов  $N$ . Наша задача разместить спасательную службу так, чтобы общие её затраты на прибытие для обслуживания были минимальны.

Пусть мы спасательную службу  $C$  поместили в точку  $c$  (рис. 2). Тогда общие затраты службы на прибытие к месту аварии будут пропорциональны:

$$A = \frac{I}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^c (c-x)e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx + \frac{I}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_c^{\infty} (x-c)e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Итак, нам надо найти  $c$ , при котором  $A$  минимальны. В данном случае, при одном транспортном узле, ответ очевиден:  $c = a$ , однако мы проведём исследование на оптимальность поставленной задачи, чтобы воспользоваться полученными исследованиями при рассмотрении задач при наличии нескольких транспортных узлов.

### ОПТИМУМ ПРИ НАЛИЧИИ ОДНОГО УЗЛА

Сделаем замену переменной  $x - a = y$  (поскольку результат не зависит от  $I$ , положим  $I = 1$ ), получим:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{c-a} (c-a-y)e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy + \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{c-a}^{\infty} (y-(c-a))e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy = \\ &= \frac{2}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{c-a}^{\infty} (y-(c-a))e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy + \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{\infty} (c-a-y)e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy = \\ &= c-a - 2(c-a) \left[ \Phi\left(\frac{\infty}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{c-a}{\sigma}\right) \right] = \\ &= \frac{2\sigma^2}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{c-a}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} d\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) = \end{aligned}$$



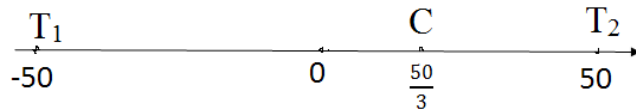


Рис. 3. Оптимальное расположение спасательной службы для двух транспортных узлов.

**Таблица 1**  
Нахождение координаты спасательной службы с шагом 10 (км)

c	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$3\Phi_1 + \Phi_2$
-50	0	-0,47725	-0,47725
-40	0,039828	-0,46407	-0,34459
-30	0,07926	-0,4452	-0,20742
-20	0,117911	-0,41924	-0,06551
-10	0,155422	-0,38493	0,081335
0	0,191462	-0,34134	0,233043
10	0,225747	-0,28814	0,389096
20	0,258036	-0,22575	0,548362
30	0,288145	-0,15542	0,709012
40	0,31594	-0,07926	0,86856
50	0,341345	0	1,024034

**Таблица 2**  
Нахождение координаты спасательной службы с точностью 1 (км)

c	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$3\Phi_1 + \Phi_2$
-20	0,117911	-0,41924	-0,06551
-19	0,12172	-0,41621	-0,05105
-18	0,125516	-0,41309	-0,03654
-17	0,1293	-0,40988	-0,02198
-16	0,133072	-0,40658	-0,00737
-15	0,136831	-0,4032	0,007292
-14	0,140576	-0,39973	0,022002
-13	0,144309	-0,39617	0,036761
-12	0,148027	-0,39251	0,05157
-11	0,151732	-0,38877	0,066428
-10	0,155422	-0,38493	0,081335

$$= c - a - 2(c - a) \left( \frac{1}{2} - \Phi \left( \frac{c - a}{\sigma} \right) \right) -$$

$$\frac{2\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \Big|_{c-a}^{\infty} =$$

$$= 2(c - a) \Phi \left( \frac{c - a}{\sigma} \right) + \frac{2\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy$  – функция Лапласа.

$$\frac{dA}{dc} = 2\Phi \left( \frac{c - a}{\sigma} \right) + \frac{2(c - a)}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(c-a)^2}{2\sigma^2}}$$

$$- \frac{2(c - a)}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(c-a)^2}{2\sigma^2}} = 2\Phi \left( \frac{c - a}{\sigma} \right).$$

При  $c = a$  имеем  $\frac{dA}{dc} = 0$ : при  $c > a$  про-

изводная больше 0, при  $c < a$  производная меньше 0. Отсюда следует, что точка  $a$  – точка минимума, что и требовалось доказать.

### ОПТИМУМ ПРИ ДВУХ УЗЛАХ

Пусть на участке обслуживания находятся два транспортных узла  $T_1(a_1)$  и  $T_2(a_2)$  с соответствующими нормальными законами распределения вагонов с параметрами  $(a_1, \sigma_1)$  и  $(a_2, \sigma_2)$ . Интенсивности узлов равны  $I_1, I_2$ . Надо найти для них оптимальное расположение спасательной службы  $C(c)$ . Произведя аналогичные выкладки, как в предыдущем разделе, получим:

$$A = 2I_1(c - a_1)\Phi \left( \frac{c - a_1}{\sigma_1} \right) +$$

$$\frac{2I_1\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + 2I_2(c - a_2)\Phi +$$

$$\frac{2I_2\sigma_2}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c-a_2)^2}{2\sigma_2^2}}.$$

$$\frac{dA}{dc} = 2I_1\Phi \left( \frac{c - a_1}{\sigma_1} \right) + 2I_2\Phi \left( \frac{c - a_2}{\sigma_2} \right).$$

$$\frac{d^2A}{dc^2} = \frac{2I_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{(c-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{2I_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{(c-a_2)^2}{2\sigma_2^2}} > 0.$$

Поэтому функция  $\frac{dA}{dc}$  возрастает. Пусть для определённости  $a_1 < a_2$ , тогда при  $c = a_1$  имеем  $\frac{dA}{dc} = 2I_2\Phi \left( \frac{a_1 - a_2}{\sigma_2} \right) < 0$ , а при  $c = a_2$  получаем  $\frac{dA}{dc} = 2I_1\Phi \left( \frac{a_2 - a_1}{\sigma_1} \right) > 0$ , и значит

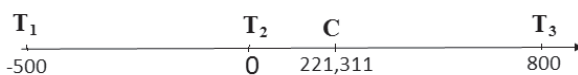


Рис. 4. Оптимальное расположение спасательной службы для трёх транспортных узлов.

уравнение  $\frac{dA}{dc} = 0$  имеет единственное решение на интервале  $(a_1, a_2)$ , причём в этой точке достигается минимум. В общем случае пример решения уравнения  $\frac{dA}{dc} = 0$  с

указанной точностью на Excel рассмотрим позже, а сейчас разберём частный случай, когда интенсивности транспортных узлов равны, т.е.  $I_1 = I_2$ . Тогда уравнение  $\frac{dA}{dc} = 0$

$$\Phi\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) = \Phi\left(\frac{a_2-c}{\sigma_2}\right).$$

Отсюда  $\frac{c-a_1}{\sigma_1} = \frac{a_2-c}{\sigma_2}$  и получаем формулу для оптимального расположения службы спасения:

$$c = \frac{a_1\sigma_2 + a_2\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2}.$$

В частности, если  $\sigma_2 = \sigma_1$ , тогда  $c = \frac{a_1 + a_2}{2}$ .

**Пример 1.** Рассмотрим задачу в конкретных числах. Пусть интенсивности транспортных узлов  $T_1$  (-50 км),  $T_2$  (50 км) одинаковы;  $\sigma_1 = 100$  км;  $\sigma_2 = 50$  км. Здесь координата оптимального расположения спасательной службы

$$c = \frac{50(100-50)}{150} = \frac{50}{3} \text{ (км)}.$$

На рис. 3 показано схематическое расположение транспортных узлов и спасательной службы.

Теперь возьмём пример, когда интенсивности транспортных узлов не равны.

**Пример 2.** Интенсивность транспортного узла  $T_1$  в три раза больше, чем  $T_2$ , т.е.  $I_1 = 3I_2$ . Требуется найти оптимальные координаты спасательной службы с точностью до 1 метра.

Решение. Оптимальные координаты находятся из уравнения:

$$\frac{dA}{dc} = 2I_1\Phi\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + 2I_2\Phi\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) = 0.$$

Или

$$3\Phi\left(\frac{c+50}{100}\right) + \Phi\left(\frac{c-50}{50}\right) = 0.$$

Аналитически это уравнение решить невозможно, однако найти оптимальную координату с любой точностью можно. Причём разными способами (с помощью инструментов Excel).

Сделаем это в несколько шагов. (-50; 50) разбиваем с шагом 10 (км), в точках разбиения вычисляем

$$\Phi_1 = \Phi\left(\frac{c+50}{100}\right), \quad \Phi_2 = \Phi\left(\frac{c-50}{50}\right),$$

$3\Phi_1 + \Phi_2$ . Результаты вычислений даны в таблице 1.

Из таблицы видно, что оптимальная координата лежит между -20 (км) и -10 (км). Теперь отрезок (-20, -10) разбиваем с шагом 1 (км), в точках разбиения вычисляем

$$\Phi_1 = \Phi\left(\frac{c+50}{100}\right), \quad \Phi_2 = \Phi\left(\frac{c-50}{50}\right), \quad 3\Phi_1 + \Phi_2.$$

Результаты даны в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что оптимальная координата лежит между -16 (км) и -15 (км). Продолжая аналогично ещё три раза, найдём оптимальную координату спасательной службы с точностью до 1 метра. Получим  $c = -15497$  метров.

## ОПТИМУМ ДЛЯ БОЛЕЕ ЧЕМ ДВУХ УЗЛОВ

Пусть на участке обслуживания находятся несколько транспортных узлов  $T_1(a_1), T_2(a_2), \dots, T_k$  с соответствующими нормальными законами распределения вагонов с параметрами  $(a_1, \sigma_1), (a_2, \sigma_2), \dots, (a_k, \sigma_k)$ . Интенсивности узлов равны  $I_1, I_2, \dots, I_k$ . Надо найти оптимальное расположение спасательной службы  $C(c)$ .

Используя предыдущие вычисления, получим, что общие затраты спасательной службы  $C$  будут пропорциональны:

$$A = 2I_1(c-a_1)\Phi\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + \frac{2I_1\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + 2I_2(c-a_2)\Phi\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) +$$



$$\begin{aligned}
 & + \frac{2I_2\sigma_2}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c-a_2)^2}{2\sigma_2^2}} + \dots + 2I_k(c-a_k)\Phi\left(\frac{c-a_k}{\sigma_k}\right) + \\
 & \frac{2I_k\sigma_k}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c-a_k)^2}{2\sigma_k^2}}; \\
 \frac{dA}{dc} & = 2I_1\Phi\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + \\
 & 2I_2\Phi\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) + \dots \\
 & + 2I_k\Phi\left(\frac{c-a_k}{\sigma_k}\right); \\
 \frac{d^2A}{dc^2} & = \frac{2I_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\frac{(c-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \\
 & \frac{2I_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} e^{-\frac{(c-a_2)^2}{2\sigma_2^2}} + \dots \\
 & + \frac{2I_k}{\sqrt{2\pi}\sigma_k} e^{-\frac{(c-a_k)^2}{2\sigma_k^2}} > 0.
 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что функция  $\frac{dA}{dc}$  возрастает. Пусть для определённости  $a_1 < a_2 < \dots < a_k$ , тогда при  $c = a_1$  имеем  $\frac{dA}{dc} < 0$ , а при  $c = a_k$  получаем  $\frac{dA}{dc} > 0$ . Поэтому для уравнения  $\frac{dA}{dc} = 0$  возможно единственное решение на интервале  $(a_1, a_k)$ , причём в этой точке достигается минимум. И именно тут рационально поместить спасательную службу. Разберём подтверждающий пример.

**Пример 3.** Пусть имеются три транспортных узла  $T_1(-500 \text{ км})$ ,  $T_2(0)$ ,  $T_3(800 \text{ км})$ , соответственно  $\sigma_1 = 800 \text{ км}$ ,  $\sigma_2 = 400 \text{ км}$ ,  $\sigma_3 = 300 \text{ км}$ . Интенсивности всех одинаковы. Найти надо оптимальные координаты спасательной службы с точностью до 1 метра.

Решение связано с уравнением

$$\Phi\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) + \Phi\left(\frac{c-a_3}{\sigma_3}\right) = 0.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$\Phi\left(\frac{c+500}{800}\right) + \Phi\left(\frac{c}{400}\right) + \Phi\left(\frac{c-800}{300}\right) = 0.$$

Далее действуем аналогично примеру 2. В результате находим, что  $c = 183297$  метров.

**Пример 4.** Рассмотрим предыдущий пример, в котором интенсивности транспортных узлов относятся как 1:3:2.

Решение сводится к уравнению

$$\Phi\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + 3\Phi\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) + 2\Phi\left(\frac{c-a_3}{\sigma_3}\right) = 0.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$\Phi\left(\frac{c+500}{800}\right) + 3\Phi\left(\frac{c}{400}\right) + 2\Phi\left(\frac{c-800}{300}\right) = 0.$$

Действуем аналогично примеру 2. Результат:  $c = 221311$  метров. На рис. 4 показано схематическое расположение транспортных узлов и спасательной службы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика оптимального размещения спасательной службы при обслуживании нескольких транспортных узлов, распределённых по нормальному закону. Найдены уравнения для нахождения координаты спасательной службы. Приведены примеры и соответствующие численные вычисления с помощью инструментов Excel.

Приведённые способы выбора вариантов могут быть использованы при расчётах места нахождения спасательной службы на железнодорожной магистрали, определения оптимального расположения остановок автотранспорта, других важных объектов, а также в дальнейших теоретических исследованиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А. И. Почему все дороги ведут в Москву // Мир транспорта. – 2005. – № 4. – С. 22–25.
2. Гусев С. А. Теоремы распределения ресурсов // Мир транспорта. – 2010. – № 3. – С. 30–35.
3. Гусев С. А. Функции дохода и профилактика рисков // Мир транспорта. – 2011. – № 3. – С. 88–91.
4. Гусев С. А. Линейные и дискретные функции безопасности // Мир транспорта. – 2012. – № 2. – С. 182–185.
5. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1988. – 400 с. ●

Координаты авторов: **Гусев А. И.** – aigus7@gmail.com, **Гусев С. А.** – 7781011@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 21.02.2017, принята к публикации 20.05.2017.

# OPTIMAL LOCATION OF RESCUE SERVICE

Gusev, Anatoly I., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.  
 Gusev, Sergey A., LLC Stroytorgi, Moscow, Russia.

## ABSTRACT

In papers (1–4), the problems of optimal location of a highway, optimal distribution of means between programs for traffic safety in transport are investigated. The article suggests a model for location of the car fleet (automobile fleet) in its

dynamics and investigated the problem of optimal location of the rescue service on the highway in the best possible way if there are several transport nodes thereon. Model calculations can be used both for practical purposes and for further theoretical studies.

**Keywords:** safety, transport, normal distribution law, Laplace function, transport node, optimal location, rescue service.

**Background.** At the time of the accident vehicles rescue services are urgently needed. With a long extension of railways, highways, they cannot be located quite often. The problem arises of the optimal distribution of such services on the highway. When servicing a certain road section, rescuers move to the site of the accident at different distances and, in addition, to one area more often, to others less frequently, so it becomes necessary to locate the rescue service so that the average arrival time is minimal. In this article, an economic-mathematical model of the optimal location of the rescue service is developed for servicing several transport nodes on the highway.

**Objective.** The objective of the authors is to consider optimal location of rescue service.

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

### Results.

#### Normal location of transport

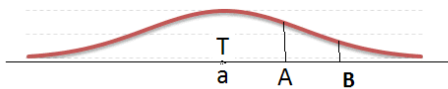
Let us have a transport node  $T(a)$  (station, marshalling base, etc.) on some specific main line, with some trains running along a dedicated main line, while others leave it in some places. Let us denote by  $l$  the number of cars that have passed through the node in a month (if a certain car passes several times, it is counted so many times, and these cars are assigned to this transport node, they are not assigned to another node in calculation).

Note that the selected time period does not affect the result. We will assume that the number of cars on the main line for the month is distributed according to the normal law (5) with the mathematical expectation  $a$ , the average quadratic deviation of  $\sigma$  and the intensity  $l$  (see Pic. 1), i.e. the number of cars that were on the section AB of the main line over a month is equal to

$$N = \frac{l}{\sqrt{2\pi}} \int_A^B e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx.$$

The number of cars requiring maintenance of the rescue service on the AB section is proportional to the number of cars  $N$ . We are to place the rescue service so that its total costs for arriving for maintenance are minimal.

Let us save the rescue service  $C$  to the point  $c$  (Pic. 2).



Pic. 1. Normal location of transport near transport nodes.

Then the total costs of the service on arrival to the accident site will be proportional to:

$$A = \frac{l}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^c (c-x)e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx + \frac{l}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_c^{\infty} (x-c)e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx.$$

So, we need to find  $c$ , for which  $A$  is minimal. In this case, with one transport node, the answer is obvious:  $c = a$ , but we will carry out a study on the optimality of the task in order to take advantage of the studies obtained when considering the problems in the presence of several transport nodes.

#### Optimum in the presence of one node

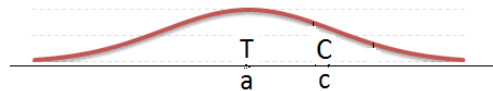
We make the change of variable  $x - a = y$ , (since the result does not depend on  $l$ , we set  $l = 1$ ), we get:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{c-a} (c-a-y)e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy + \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{c-a}^{\infty} (y-(c-a))e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy = \\ &= \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{c-a}^{\infty} (y-(c-a))e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy + \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} (c-a-y)e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy = \\ &= c-a - 2(c-a) \left( F\left(\frac{\infty}{\sigma}\right) - F\left(\frac{c-a}{\sigma}\right) \right) - \\ &= \frac{2\sigma^2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{c-a}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} d\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) = \\ &= c-a - 2(c-a) \left( \frac{1}{2} - F\left(\frac{c-a}{\sigma}\right) \right) - \frac{2\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \Big|_{c-a}^{\infty} = \\ &= 2(c-a)F\left(\frac{c-a}{\sigma}\right) + \frac{2\sigma}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c-a)^2}{2\sigma^2}}, \end{aligned}$$

where  $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} dy$  – Laplace function.

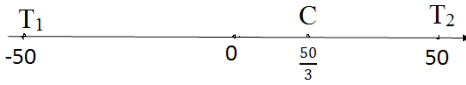
$$\frac{dA}{dc} = 2F\left(\frac{c-a}{\sigma}\right) + \frac{2(c-a)}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(c-a)^2}{2\sigma^2}} -$$

$$\frac{2(c-a)}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(c-a)^2}{2\sigma^2}} = 2F\left(\frac{c-a}{\sigma}\right).$$

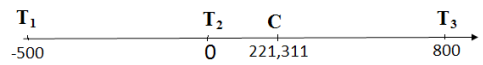


Pic. 2. Location of the rescue service on the main line.





Pic. 3. Optimal location of the rescue service for two transport nodes.



Pic. 4. Optimal location of the rescue service for three transport nodes.

**Table 1**  
Finding the coordinates of the rescue service in increments of 10 (km)

c	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	3F <sub>1</sub> + F <sub>2</sub>
-50	0	-0,47725	-0,47725
-40	0,039828	-0,46407	-0,34459
-30	0,07926	-0,4452	-0,20742
-20	0,117911	-0,41924	-0,06551
-10	0,155422	-0,38493	0,081335
0	0,191462	-0,34134	0,233043
10	0,225747	-0,28814	0,389096
20	0,258036	-0,22575	0,548362
30	0,288145	-0,15542	0,709012
40	0,31594	-0,07926	0,86856
50	0,341345	0	1,024034

**Table 2**  
Finding the coordinates of the rescue service with an accuracy of 1 (km)

c	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	3F <sub>1</sub> + F <sub>2</sub>
-20	0,117911	-0,41924	-0,06551
-19	0,12172	-0,41621	-0,05105
-18	0,125516	-0,41309	-0,03654
-17	0,1293	-0,40988	-0,02198
-16	0,133072	-0,40658	-0,00737
-15	0,136831	-0,4032	0,007292
-14	0,140576	-0,39973	0,022002
-13	0,144309	-0,39617	0,036761
-12	0,148027	-0,39251	0,05157
-11	0,151732	-0,38877	0,066428
-10	0,155422	-0,38493	0,081335

For  $c = a$  we have  $\frac{dA}{dc} = 0$ : at  $c > a$  the derivative  $> 0$ , at  $c < a$  the derivative  $< 0$ . Hence it follows that the point  $a$  – minimum point, which was to be proved.

**Optimum at two nodes**

Suppose that there are two transport nodes  $T_1(a_1)$  and  $T_2(a_2)$  in the service section with the corresponding normal distribution laws for cars with parameters  $(a_1, \sigma_1)$  and  $(a_2, \sigma_2)$ . The nodes' intensities are equal to  $I_1, I_2$ . It is necessary to find for them the optimal location of the rescue service  $C(c)$ . Making similar calculations, as in the previous section, we get:

$$A = 2I_1(c - a_1)F\left(\frac{c - a_1}{\sigma_1}\right) + \frac{2I_1\sigma_1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(c - a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + 2I_2(c - a_2)F\left(\frac{c - a_2}{\sigma_2}\right) + \frac{2I_2\sigma_2}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(c - a_2)^2}{2\sigma_2^2}}$$

$$\frac{dA}{dc} = 2I_1F\left(\frac{c - a_1}{\sigma_1}\right) + 2I_2F\left(\frac{c - a_2}{\sigma_2}\right)$$

$$\frac{d^2A}{dc^2} = \frac{2I_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1}e^{-\frac{(c - a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{2I_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2}e^{-\frac{(c - a_2)^2}{2\sigma_2^2}} > 0.$$

Therefore the function  $\frac{dA}{dc}$  increases. Suppose for definiteness that  $a_1 < a_2$ , then at  $c = a_1$  we have  $\frac{dA}{dc} = 2I_2F\left(\frac{a_1 - a_2}{\sigma_2}\right) < 0$ , and at  $c = a_2$  we get  $\frac{dA}{dc} = 2I_1F\left(\frac{a_2 - a_1}{\sigma_1}\right) > 0$ , and therefore the equation  $\frac{dA}{dc} = 0$  has a unique solution on the interval  $(a_1, a_2)$ , and at this point a minimum is reached. In a general case, an example of a solution of the equation  $\frac{dA}{dc} = 0$  with the indicated accuracy for Excel will be considered later, but now we will analyze a special case when the

intensities of transport nodes are equal, i.e.  $I_1 = I_2$ . Then the equation  $\frac{dA}{dc} = 0$  is equivalent to the equation

$$F\left(\frac{c - a_1}{\sigma_1}\right) = F\left(\frac{a_2 - c}{\sigma_2}\right).$$

Hence  $\frac{c - a_1}{\sigma_1} = \frac{a_2 - c}{\sigma_2}$  and get a formula for the

optimal location of the rescue service:

$$c = \frac{a_1\sigma_2 + a_2\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2}.$$

In particular, if  $\sigma_2 = \sigma_1$ , then  $c = \frac{a_1 + a_2}{2}$ .

**Example 1.** Let's consider the problem in specific numbers. Let the intensities of the transport nodes  $T_1(-50 \text{ km})$ ,  $T_2(50 \text{ km})$  are the same;  $\sigma_1 = 100 \text{ km}$ ;  $\sigma_2 = 50 \text{ km}$ . Here is the coordinate of the optimal location of the rescue service  $c = \frac{50(100 - 50)}{150} = \frac{50}{3} \text{ (km)}$ .

Pic. 3 shows the schematic arrangement of transport nodes and rescue service.

Now let's take an example where the intensities of transport nodes are not equal.

**Example 2.** The intensity of the transport node  $T_1$  is three times larger than  $T_2$ , i.e.  $I_1 = 3I_2$ . It is required to find the optimal coordinates of the rescue service with an accuracy of 1 meter.

**Decision.** The optimal coordinates are found from the equation:

$$\frac{dA}{dc} = 2I_1F\left(\frac{c - a_1}{\sigma_1}\right) + 2I_2F\left(\frac{c - a_2}{\sigma_2}\right) = 0.$$

or

$$3F\left(\frac{c + 50}{100}\right) + F\left(\frac{c - 50}{50}\right) = 0.$$

This equation cannot be solved analytically, but it is possible to find the optimal coordinate with any accuracy. And in many ways (using tools Excel).

We will do this in several steps.



$(-50; 50)$  is divided in increments of 10 (km), at the points of the partition we calculate  $F_1 = F\left(\frac{c+50}{100}\right)$ ,

$F_2 = F\left(\frac{c-50}{50}\right)$ ,  $3F_1 + F_2$ . The results of the calculations

are given in Table 1.

It can be seen from the table that the optimal coordinate lies between -20 (km) and -10 (km). Now we divide the interval  $(-20, -10)$  in increments of 1 (km), at the points of the partition we calculate

$F_1 = F\left(\frac{c+50}{100}\right)$ ,  $F_2 = F\left(\frac{c-50}{50}\right)$ ,  $3F_1 + F_2$ . The results

of the calculations are given in Table 2.

The table shows that the optimal coordinate lies between -16 (km) and -15 (km). Continuing the same way three more times, we will find the optimal coordinate of the rescue service with an accuracy of 1 meter. We get  $c = -15497$  meters.

#### Optimum for more than two nodes

Let there be several transport nodes  $T_1(a_1)$ ,  $T_2(a_2), \dots, T_k(a_k)$  with the corresponding normal distribution laws of cars with parameters  $(a_1, \sigma_1), (a_2, \sigma_2), \dots, (a_k, \sigma_k)$ . The intensities of nodes are equal to  $I_1, I_2, \dots, I_k$ . It is necessary to find the optimal location of the rescue service  $C(c)$  for each of them. Using the previous calculations, we get that the total costs of the rescue service  $C$  will be proportional:

$$A = 2I_1(c-a_1)F\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + \frac{2I_1\sigma_1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(c-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} +$$

$$+ 2I_2(c-a_2)F\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) +$$

$$+ \frac{2I_2\sigma_2}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(c-a_2)^2}{2\sigma_2^2}} + \dots + 2I_k(c-a_k)F\left(\frac{c-a_k}{\sigma_k}\right) +$$

$$+ \frac{2I_k\sigma_k}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(c-a_k)^2}{2\sigma_k^2}}.$$

$$\frac{dA}{dc} = 2I_1F\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + 2I_2F\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) + \dots + 2I_kF\left(\frac{c-a_k}{\sigma_k}\right).$$

$$\frac{d^2A}{dc^2} = -\frac{2I_1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1}e^{-\frac{(c-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{2I_2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2}e^{-\frac{(c-a_2)^2}{2\sigma_2^2}} + \dots$$

$$+ \frac{2I_k}{\sqrt{2\pi}\sigma_k}e^{-\frac{(c-a_k)^2}{2\sigma_k^2}} > 0.$$

Hence it follows that the function  $\frac{dA}{dc}$  increases.

Suppose for definiteness that  $a_1 < a_2 < \dots < a_k$ , then at  $c = a_1$  we have  $\frac{dA}{dc} < 0$ , and at  $c = a_k$  we get  $\frac{dA}{dc} > 0$ .

Therefore, for the equation  $\frac{dA}{dc} = 0$  a unique solution on the interval  $(a_1, a_k)$  is possible, and at this point a

minimum is reached. And it is here that it is rational to place a rescue service. Let's examine the supporting example.

**Example 3.** Let there be three transport nodes  $T_1(-500 \text{ km})$ ,  $T_2(0)$ ,  $T_3(800 \text{ km})$ , respectively  $\sigma_1 = 800 \text{ km}$ ,  $\sigma_2 = 400 \text{ km}$ ,  $\sigma_3 = 300 \text{ km}$ . The intensities of all are the same. It is necessary to find the optimal coordinates of the rescue service with an accuracy of 1 meter.

The solution is related to the equation

$$F\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + F\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) + F\left(\frac{c-a_3}{\sigma_3}\right) = 0.$$

Substituting the numerical data, we get:

$$F\left(\frac{c+500}{800}\right) + F\left(\frac{c}{400}\right) + F\left(\frac{c-800}{300}\right) = 0.$$

Further, we proceed as in example 2. As a result, we find that  $c = 183297$  meters.

**Example 4.** Let's consider the previous example, in which the intensities of the transport nodes are 1:3:2.

The solution reduces to the equation

$$F\left(\frac{c-a_1}{\sigma_1}\right) + 3F\left(\frac{c-a_2}{\sigma_2}\right) + 2F\left(\frac{c-a_3}{\sigma_3}\right) = 0.$$

Substituting the numerical data, we get:

$$F\left(\frac{c+500}{800}\right) + 3F\left(\frac{c}{400}\right) + 2F\left(\frac{c-800}{300}\right) = 0.$$

We proceed similarly to example 2. Result:  $c = 221311$  meters. Pic. 4 shows the schematic arrangement of transport nodes and rescue service.

**Conclusion.** A technique has been developed for the optimal placement of the rescue service when servicing several transport nodes distributed according to the normal law. Equations are found for finding the coordinates of the rescue service. Examples and corresponding numerical computations are given with the help of Excel tools.

The above methods of selecting options can be used in calculating the location of the rescue service on the railway main line, determining the optimal location of motor vehicle stops, other important objects, and also in further theoretical studies.

## REFERENCES

- Gusev, A. I. Why do all the Roads Lead to Moscow. *World of Transport and Transportation*, Vol. 3, 2005, Iss. 4, pp. 22–25.
- Gusev, S. A. Theorems of Resource Allocation. *World of Transport and Transportation*, Vol. 8, 2010, Iss. 3, pp. 30–35.
- Gusev, S. A. Income Functions and Risk Prevention. *World of Transport and Transportation*, Vol. 9, 2011, Iss. 3, pp. 88–91.
- Gusev, S. A. Linear and Discrete Functions of the Safety. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 2, pp. 182–185.
- Gnedenko, B. V. Course of the theory of probability [Kurs teorii veroyatnostei]. Ed. 6<sup>th</sup>, rev. and enl. Moscow, Nauka publ., 1988, 400 p. ●

Information about the authors:

**Gusev, Anatoly I.** – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, aigus7@gmail.com.

**Gusev, Sergey A.** – manager of the financial department of LLC Stroytorgi, Moscow, Russia, 7781011@gmail.com.

Article received 21.02.2017, accepted 20.05.2017.





# Аварийность и жертвы дорожного движения в крупном городе



Ирина ВОЛЧАТОВА

Irina V. VOLCHATOVA

## Accident Rate and Victims of Road Traffic in a Big City

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 209)

**На основе статистики дорожно-транспортных происшествий проведён анализ аварийности и травматизма на автомобильных дорогах Иркутска. Показано, что в большинстве своём причинами ДТП являются несоблюдение правил дорожного движения водителями и пешеходами, неудовлетворительные дорожные условия. Выявлено, что наибольшее число аварий происходит в летне-осенний период. Чаще всего регистрируются столкновения транспортных средств и наезды на пешеходов. Около 40 % ДТП с пострадавшими совершается в очагах аварийности, распределение которых напрямую зависит от плотности заселения территории и функциональной специфики административных единиц города.**

*Ключевые слова:* автомобильный транспорт, дорожно-транспортное происшествие, аварийность на дорогах, очаги аварийности, тяжесть последствий ДТП, безопасность дорожного движения.

*Волчатова Ирина Владимировна – кандидат биологических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Иркутского национального исследовательского технического университета (ИрНИТУ), Иркутск, Россия.*

**В** России проблема аварийности, связанной с автомобильным транспортом, в последние годы приобрела особую остроту. Согласно официальной статистике, ежегодно на автодорогах страны происходит около 200 тыс. дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Действительное же их количество существенно больше, так как действующие правила учёта предполагают включение в государственную статистическую отчётность сведений только о ДТП, в которых погибли или были ранены люди [1]. При этом «раненым» считается лицо, получившее телесные повреждения, обусловившие его госпитализацию на срок не менее одних суток либо необходимость амбулаторного лечения [2]. В реальности это пострадавшие с травмами, как минимум, средней тяжести. За рамками отчётности остаются также ДТП, возникшие вследствие нарушения правил техники безопасности и эксплуатации транспортных средств, в том числе во время проведения мероприятий по автомобильному или мототоклетному спорту.

1.

Иркутск – крупный индустриальный город площадью 277 кв. км и численностью

Сводка дорожно-транспортных происшествий в Иркутске

Показатели	2014 г.	2015 г.
Всего ДТП	26160	17786
Количество ДТП с пострадавшими	1157	1240
Погибло, чел. (летальный исход – ЛИ)	71	48
Ранено, чел.	1454	1478
Количество ДТП с участием детей в возрасте до 16 лет	116	146
Погибло детей	3	3
Ранено детей	122	148
Повреждено транспортных средств	1756	1869

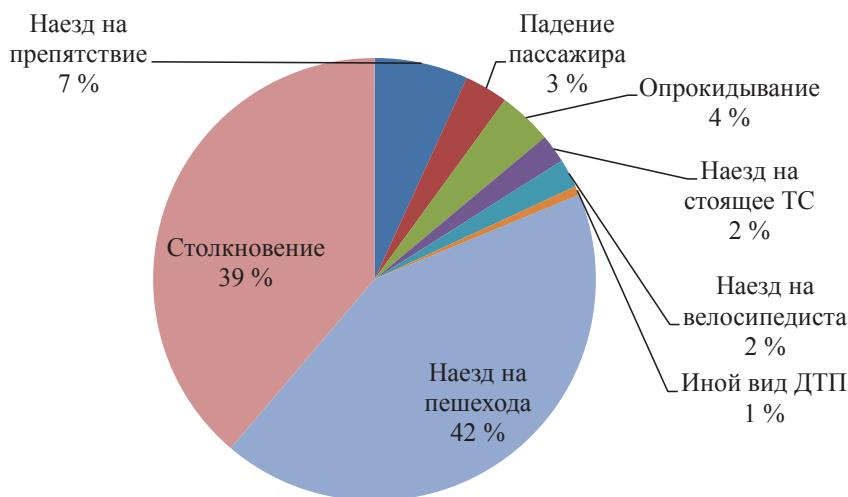


Рис. 1. Структура ДТП в Иркутске.

населения свыше 620 тыс. человек. Из 16 446 км автомобильных дорог общего пользования местного значения, зарегистрированных в Иркутской области, на долю Иркутска приходится всего 5 %, или 796,5 км [3]. Тем не менее около трети ДТП с пострадавшими происходит в областном центре.

Согласно данным отдела ГИБДД МУ МВД России «Иркутское», ежегодно в городе регистрируется немалое число ДТП, в которых получают ранения различной степени тяжести около полутора тысяч человек (таблица 1).

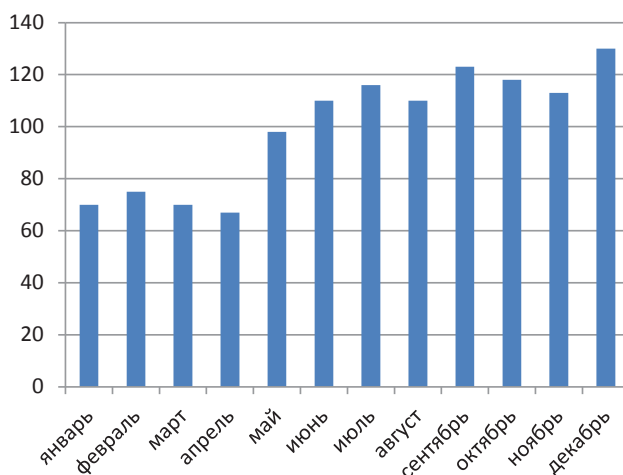
Несмотря на значительную часть приходящихся на Иркутск ДТП и раненых (34–37 %), доля погибших от общего количества в области не превышала 10–14 %. Индивидуальный риск гибели, определяемый отношением числа погибших в ДТП к числу жителей, для иркутян в 2014–2015 годах в среднем был существенно меньше общеобластных значений и соответствовал величине сложив-

шегося в международной практике приемлемого (допустимого) риска в  $10^{-6}$  ЛИ/(чел./год) – для жителей области в целом он в последние годы составлял  $2,0-2,2 \cdot 10^{-4}$  ЛИ/(чел./год). Относительные показатели (число погибших в 100 ДТП и на 100 тыс. жителей) также были значительно (в 2–3 раза) меньше. Видимо, решающее значение здесь имеет доступность и скорость оказания первой помощи. Известно, что несвоевременное прибытие скорой помощи – одна из основных причин смертности при автодорожном происшествии [4].

Большинство ДТП, произошедших в Иркутске, было связано с наездом на пешехода и столкновением (рис. 1). В этом статистика по городу практически не отличалась от областных данных [5]. На долю остальных видов аварий приходилось около 19 % от общего числа. Распределение по дням недели варьировалось в отдельные годы, неизменным оставалось снижение числа ДТП в воскресенье, что вполне объ-



Рис. 2. График аварийности в Иркутске.



яснимо — в выходные дни, когда на улицах меньше машин, аварии менее вероятны. Наибольшее число аварий произошло в летне-осенний период (рис. 2), в эти месяцы на дорогах резко увеличивается интенсивность движения личных автомобилей.

Доля ДТП, произошедших по вине пьяных водителей, невелика и составляла около 2 %. Хотя, скорее всего, цифра занижена, так как некоторые водители отказываются пройти освидетельствование. В 2015 году это произошло, например, в 75 ДТП. Большая часть происшествий с участием нетрезвых водителей пришлось на выходные дни. Суточная динамика таких ДТП не имела чёткой зависимости, хотя имелась тенденция к их увеличению в вечернее время.

Львиная доля ДТП, в которых пострадали несовершеннолетние, была связана с наездом на пешехода (рис. 3). Из общего числа происшествий с участием детей в возрасте до 16 лет по их вине в 2015 году произошло 43 ДТП, т.е. около 30 %. Из них четыре — по вине детей, управлявших велосипедом, 39 — по вине детей, находящихся на проезжей части в нарушение правил дорожного движения (ПДД). Этих происшествий можно было бы избежать, ведь зачастую они происходят из-за халатности и недосмотра взрослых. Справедливости ради следует отметить, что в Иркутске обучение детей ПДД ведётся во многих образовательных организациях, ежегодно проходит областной конкурс-фестиваль юных инспекторов движения «Безопасное колесо», приоритетная задача которого —

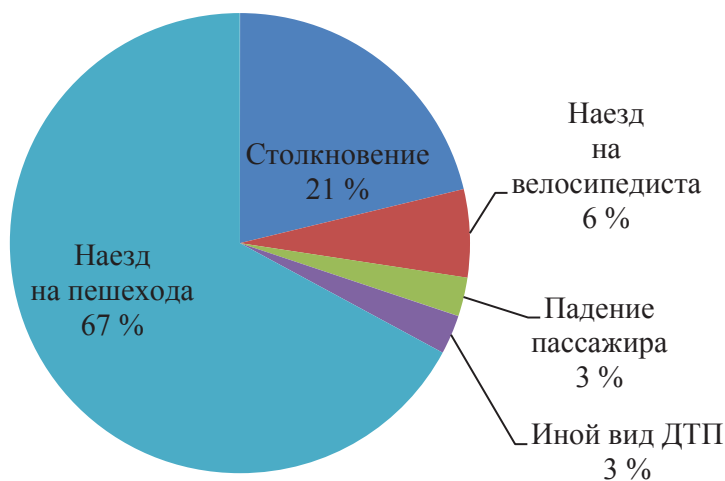


Рис. 3. Структура ДТП с участием детей в возрасте до 16 лет в 2015 году.

предупреждение детского дорожно-транспортного травматизма, привлечение несовершеннолетних к пропаганде правил безопасного поведения на улицах и дорогах.

Одной из основных причин ДТП ежегодно становится низкая дисциплина водителей и пешеходов, выражающаяся в несоблюдении ПДД. Существенное влияние на уровень аварийности оказывают также неудовлетворительные дорожные условия, в частности, половина ДТП с пострадавшими в 2014–2015 годах произошла именно по этой причине.

## 2.

Территориально Иркутск разделен на пять районов: Кировский, Куйбышевский, Октябрьский, Свердловский и Ленинский, хотя административное деление предполагает наличие четырёх округов с объединением Кировского и Куйбышевского районов в Правобережный округ (рис. 4). Примерно одинаковыми и самыми крупными по площади являются Ленинский и Правобережный округа, занимающие 75 % территории города, самыми густонаселёнными – Свердловский и Октябрьский.

Несмотря на различие по площади и численности населения, количество ДТП с пострадавшими распределено по округам примерно равномерно. Перерасчёт аварийности на единицу площади выводит на первое место Октябрьский округ – в относительных единицах количество ДТП здесь в 1,8 раза больше, чем в Свердловском, и в 3,5–3,7 раза больше, чем в Правобережном и Ленинском округах.

Распределение количества ДТП с пострадавшими по времени суток в округах города неоднородно. Если не брать во внимание снижение числа ДТП в ночные часы, существуют заметные различия между районами, слагающими Правобережный округ. В связи с чем анализ аварийности в данном случае целесообразно проводить по районам. Для примера рассмотрим данные 2015 года (рис. 5).

На гистограммах для Кировского района имеется явный пик с 14 до 16 часов. Наиболее аварийное время суток – с 14 до 20 часов: за шестичасовой интервал произошло 47 % всех ДТП. В Куйбышевском районе, за исключением ночного периода,



Рис. 4. Административно-территориальное деление г. Иркутска: округа – Правобережный (1), Октябрьский (2), Свердловский (3), Ленинский (4).

возникновение аварий практически не зависело от времени суток, а периодические подъёмы и спады можно объяснить погрешностями при регистрации ДТП. Свердловский район характеризовался возрастанием аварийности в течение всего дня, снижение которой наблюдалось только после 22 часов. Близкий к этому вид распределения с явной модой, происходящей на вечерние часы, наблюдался для Октябрьского района. Отчётливый утренний пик аварийности отмечен только для Ленинского района – наиболее удалённого от центра города и совмещающего в себе черты спального и промышленного района.

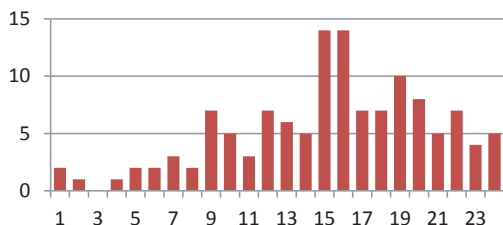
## 3.

Около 40 % ДТП с пострадавшими в Иркутске совершается в так называемых очагах аварийности – участках автомобильных дорог города длиной до 200 метров или перекрёстках, на которых в течение года произошло три и более учётных ДТП одного вида, либо пять и более разных видов (рис. 6).

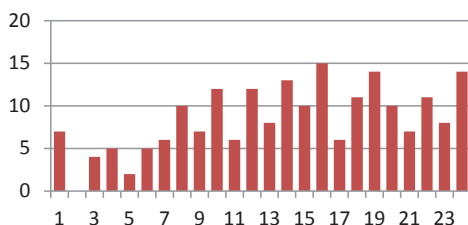
Очагами аварийности становятся, как правило, чуть более ста участков в год. Максимум очагов пришёлся на 2006–2008 годы (150–160 участков), в этот же период зарегистрировано максимальное число ДТП и пострадавших (рис. 6). В дальнейшем отмечалась тенденция к снижению аварийности по всем показателям, хотя



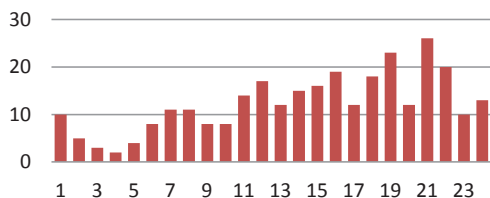
Кировский район



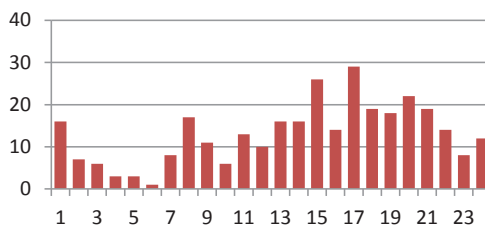
Куйбышевский район



Свердловский район



Октябрьский район



Ленинский район

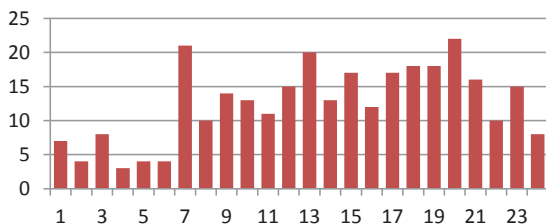


Рис. 5. Суточная динамика ДТП по районам Иркутска в 2015 году.

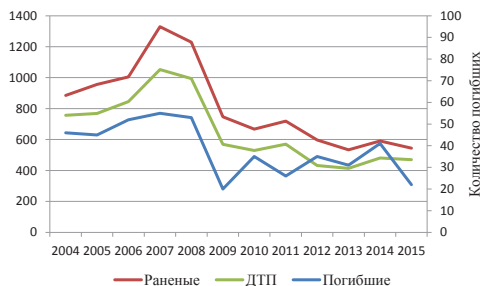


Рис. 6. Динамика показателей ДТП в очагах аварийности Иркутска.

в отношении смертельных исходов она не столь явная. Наименьшее число очагов аварийности (90) зафиксировано в 2015 году.

По абсолютным значениям очаги аварийности распределены по округам города более или менее равномерно (рис. 7а). Если же отнести их количество на единицу площади (10 кв. км), получится совершенно иная картина (рис. 7б): большая часть

очагов приходится на Октябрьский и Свердловский округа. Образование их связано с высокой плотностью проживания населения.

Октябрьский округ – самый маленький по площади (для сравнения – в 3,5 раза меньше Ленинского). В формировании очагов аварийности в этом случае, видимо, определяющую роль играет скученность населения – кроме высокой плотности проживающих жителей, округ отличается престижностью в офисном отношении. В 2015 году, например, в десятку самых аварийных участков Иркутска (по числу произошедших ДТП и числу пострадавших) попали пять очагов из Октябрьского округа.

В Правобережном округе на долю двух составляющих его районов приходится примерно равное количество очагов аварийности. Однако Кировский район – исторический и административный центр

Таблица 2

## Показатели дорожно-транспортных происшествий в очагах аварийности

Годы	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Правобережный округ								
ДТП	232	141	109	142	111	115	112	118
Погибло	12	4	5	8	6	8	10	3
Ранено	290	186	122	162	151	148	136	134
Свердловский округ								
ДТП	272	159	132	186	109	94	136	124
Погибло	15	7	5	6	11	10	12	9
Ранено	337	205	172	244	150	110	161	138
Октябрьский округ								
ДТП	257	176	156	118	91	104	144	127
Погибло	8	7	10	8	4	9	8	8
Ранено	318	235	221	151	135	131	189	161
Ленинский округ								
ДТП	233	93	132	124	121	101	89	101
Погибло	18	2	15	6	14	4	11	2
Ранено	274	121	152	162	161	145	105	111

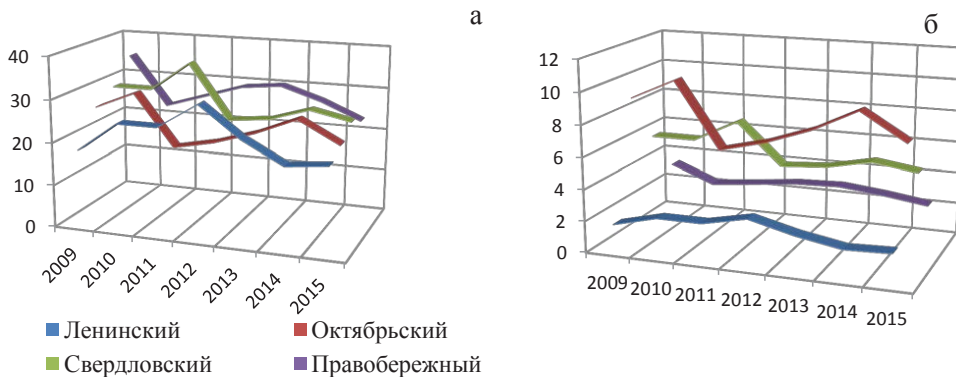


Рис. 7. Распределение очагов аварийности по округам Иркутска:  
а – абсолютные значения, б – на 10 кв. км.

города – по площади лишь небольшая часть округа, поэтому меньшая вероятность попасть в ДТП существует в Куйбышевском районе. Это вполне объяснимо, учитывая его архитектурные особенности. Иркутский острог, со строительства которого в 1661 году берёт своё начало город, был основан преимущественно в границах нынешнего Куйбышевского района, и по сей день значительную его часть составляет частный сектор, а большая часть строений малоэтажная. Очаги аварийности при этом формируются лишь на нескольких оживлённых улицах, связывающих районы города, а также выходящих на междугородные тракты.

Взяв в качестве показателя отношение количества ДТП к длине дорог, можно от-

метить, что самым неблагополучным (при учёте как общего количества, так и ДТП со смертельным исходом) опять же является Октябрьский округ. При учёте общего количества ДТП сравнительно благополучным оказался Ленинский округ, однако территориальную картину ДТП характеризует не столько общий показатель аварийности, сколько показатель смертности. Так, малой долей ДТП со смертельным исходом выделяется Правобережный округ.

С очагами аварийности связана и значительная часть пострадавших (суммарное число погибших и раненых) на дорогах (таблица 2). Тяжесть последствий ДТП, которая определяется числом погибших в 100 ДТП и числом погибших на 100 пострадавших, в изучаемый период не имела





**Рис. 8.** Степень тяжести последствий ДТП в очагах аварийности.

чёткой тенденции. Явным был только подъём количественных значений этих показателей по городу в 2012–2014 годах (рис. 8), хотя по числу ДТП это был период весьма благополучный (рис. 6).

Тяжесть последствий ДТП в Октябрьском округе была, как правило, ниже или близка к средним городским значениям. Свердловский округ – самый большой по численности населения – в этом отношении практически ежегодно в зоне риска (число погибших в 100 ДТП и число погибших на 100 пострадавших выше средних значений по городу). Самая благоприятная обстановка в городе по последствиям ДТП – в Правобережном округе, в границах него – в Кировском районе. Возможной причиной этого являются особенности застройки города. Кировский район как исторический центр Иркутска характеризуется узкими улицами, зачастую без возможности расширения. Малая пропускная способность улиц в последние годы стала приводить к образованию пробок в вечерние часы. По данным веб-сервиса «Яндекс. Пробки», уже были зарегистрированы восьмибалльные пробки (по десятибалльной шкале) на центральных улицах города со скоростью передвижения транспорта не более пяти километров в час. Низкая скорость движения и высокая плотность авто-

мобилей в потоке приводит к увеличению общего числа ДТП, но дорожно-транспортный травматизм и особенно летальность исходов при этом невелики.

## Выводы

Есть основания считать, что обстановка с обеспечением безопасности дорожного движения в Иркутске довольно сложная. В первую очередь причинами ДТП являются несоблюдение правил дорожного движения водителями и пешеходами, неудовлетворительные дорожные условия. Наиболее часто регистрируются столкновения транспортных средств и наезды на пешеходов с 1–2 пострадавшими. Возникновение аварий имеет сильную временную зависимость. Число аварий больше в летне-осенний период, меньше – в зимние месяцы. Пик аварийности каждый день приходится на вечерние часы, когда люди возвращаются с работы.

Около 40 % ДТП с пострадавшими в городе совершается в очагах аварийности – небольших участках автомобильных дорог или перекрёстках, на которых в течение года произошло три и более учётных ДТП одного вида, либо пять и более разных видов. Распределение очагов аварийности напрямую зависит от плотности проживания населения и функциональной специфики административных единиц города. Всесторонний анализ данных о ДТП в очагах аварийности может стать основой для выработки решений в сфере обеспечения безопасности дорожного движения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ МВД России от 19.06.2015 года № 699 «Об организации учёта, сбора и анализа сведений о дорожно-транспортных происшествиях».
2. Постановление правительства Российской Федерации от 29.06.1995 года № 647 «Об утверждении правил учёта дорожно-транспортных происшествий».
3. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. [Электронный ресурс]: <http://irkutskstat.gks.ru>. Доступ 11.01.2017.
4. Бубнов В. Г., Бубнова Н. В. Как оказать помощь при автодорожном происшествии. – М., 2014. – 160 с.
5. Волчатова И. В. Автомобильно-дорожные аварии: транспортные и социальные риски // Мир транспорта. – 2016. – № 3. – С. 232–242. ●

Координаты автора: **Волчатова И. В.** – [genesis@istu.edu](mailto:genesis@istu.edu).

Статья поступила в редакцию 08.02.2017, принята к публикации 15.04.2017.



# ACCIDENT RATE AND VICTIMS OF ROAD TRAFFIC IN A BIG CITY

Volchatova, Irina V., Irkutsk National Research Technical University (IRNITU), Irkutsk, Russia.

## ABSTRACT

Based on the statistics of road accidents, an analysis of accident and injury rates on the roads of Irkutsk was carried out. It is shown that, for the most part, the causes of road accidents are violation of traffic rules by drivers and pedestrians, unsatisfactory road conditions. It was revealed that the greatest

number of accidents occurs in the summer-autumn period. Most often, vehicle collisions and pedestrian collisions are recorded. About 40 % of road accidents with victims are committed in the foci of accident rate, the distribution of which directly depends on density of settlement of the territory and the functional specifics of the city's administrative units.

**Keywords:** motor transport, road traffic accident, accident rate on roads, foci of accident, severity of accident consequences, road safety.

**Background.** In Russia, the problem of accidents associated with road transport has become particularly acute in recent years. According to the official statistics, annually on the country's roads there are about 200 thousand road accidents (RA). The actual number is much larger, since the current recording rules assume the inclusion in the state statistical reporting of information only about RA in which people were killed or injured [1]. At the same time, «injured» means a person who received bodily injuries, which caused his hospitalization for at least one day, or the need for outpatient treatment [2]. In reality, they are victims with traumas, at least, of moderate severity. Outside of reporting, there are also accidents that have arisen as a result of violation of safety and operation regulations for vehicles, including during car or motorcycle sport events.

**Objective.** The objective of the author is to consider problems associated with the accident rate on the roads of a big city, using the example of Irkutsk.

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

### Results.

#### 1.

Irkutsk is a large industrial city with an area of 277 sq. km and a population of more than 620 thousand people. Of 16 446 km of public roads of local importance registered in Irkutsk region, Irkutsk accounts for only 5 %, or 796,5 km [3]. Nevertheless, about a third of road accidents (RA) with the victims takes place in the regional center.

According to the data of the Department of the State Traffic Safety Inspectorate of the Municipal Authorities of the Ministry of the Internal Affairs of Russia «Irkutskoe», every year a considerable number of RA are registered in the city, where about 1 500 people are injured to various degrees of severity (Table 1).

Despite a significant proportion of RA in Irkutsk (34–37 %), the share of deceased from the total

number in the region did not exceed 10–14 %. The individual risk of death, determined by the ratio of the number of deceased in RA to the number of residents, for Irkutskians in 2014–2015 was on average significantly lower than the region-wide values and corresponded to the value of the acceptable (permissible) risk in international practice of  $10^{-6}$  fatal injuries/(persons/year) – for residents of the region as a whole, in recent years it was  $2,0-2,2 \cdot 10^{-4}$  fatal injuries/(persons/year). Relative indicators (the number of deaths in 100 RA and per 100 thousand residents) were also significantly (2–3 times) less. Apparently, the availability and speed of first aid is of decisive importance here. It is known that untimely arrival of first aid is one of the main causes of death in a road accident [4].

Most of the accidents that occurred in Irkutsk, was associated with the collision with on the pedestrian and the collision of cars (Pic. 1). In this statistics on the city practically did not differ from the regional data [5]. The share of other types of accidents accounted for about 19 % of the total. The distribution of the days of the week varied in certain years, the decrease in the number of accidents on Sunday remained unchanged, which is quite understandable – on weekends, when there are fewer cars on the streets, accidents are less likely. The greatest number of accidents occurred in the summer-autumn period (Pic. 2), in these months on the roads, the intensity of the movement of private cars sharply increases.

The share of RA that occurred through the fault of drunk drivers is small and amounted to about 2 %. Although, most likely, the figure is understated, as some drivers refuse to undergo the survey. In 2015, this happened, for example, in 75 RA. Most of the accidents involving drunken drivers occurred on weekends. The daily dynamics of such accidents did not have a clear dependence, although there was a tendency to increase them in the evening.

The lion's share of the road accidents in which the minors were injured was related to the collision with

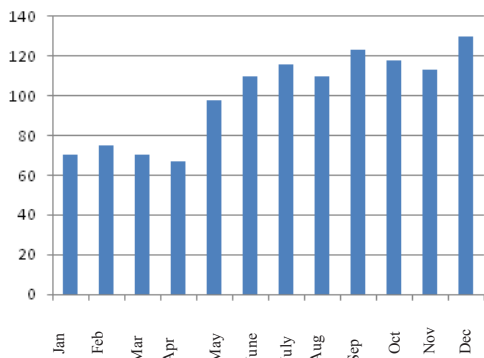
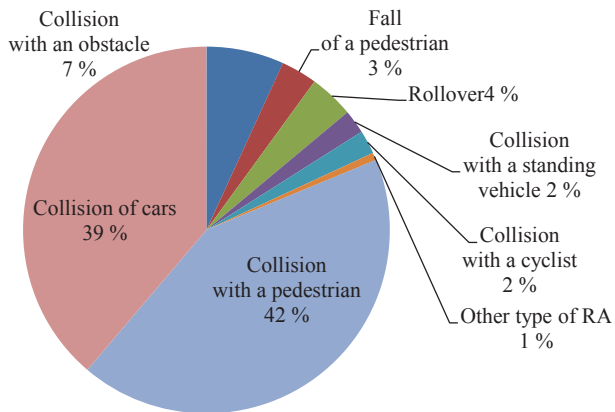
Table 1

Summary of road accidents in Irkutsk

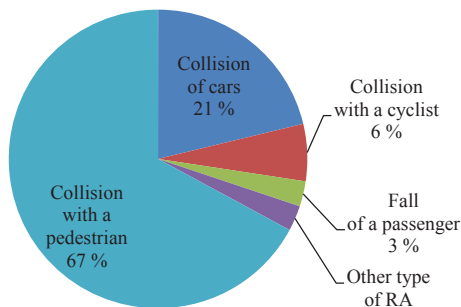
Indicators	2014	2015
Total RA	26160	17786
Number of RA with victims	1157	1240
Fatal injuries, persons	71	48
Injuries, persons	1454	1478
Number of RA with children under 16 y.o.	116	146
Children, fatal injuries, persons	3	3
Children, injuries, persons	122	148
Damaged vehicles	1756	1869



**Pic. 1. Structure of RA in Irkutsk.**



**Pic. 2. Graph of accident rate in Irkutsk.**



**Pic. 3. Structure of RA involving children under 16 y. o. in 2015.**

a pedestrian (Pic. 3). Of the total number of accidents involving children under the age of 16 due to their fault in 2015, 43 RA occurred, i.e. about 30 %. Of these, four were caused by children driving a bicycle, 39 by the fault of children on the roadway in violation of traffic rules. These accidents could have been avoided, because often they occur because of negligence and oversight of adults. In fairness, it should be noted that

in Irkutsk, the training of children in traffic rules is conducted in many educational organizations, an annual contest-festival of young traffic inspectors of «Safe Wheel» is held. Its priority task is to prevent children’s road traffic injuries, to involve minors in promoting safe behavior rules at streets and roads.

One of the main causes of RA every year is the low discipline of drivers and pedestrians, manifested in non-compliance with traffic rules. The unsatisfactory road conditions also have a significant impact on the accident rate, in particular, half of RA with the victims in 2014–2015 occurred precisely for this reason.

**2.**

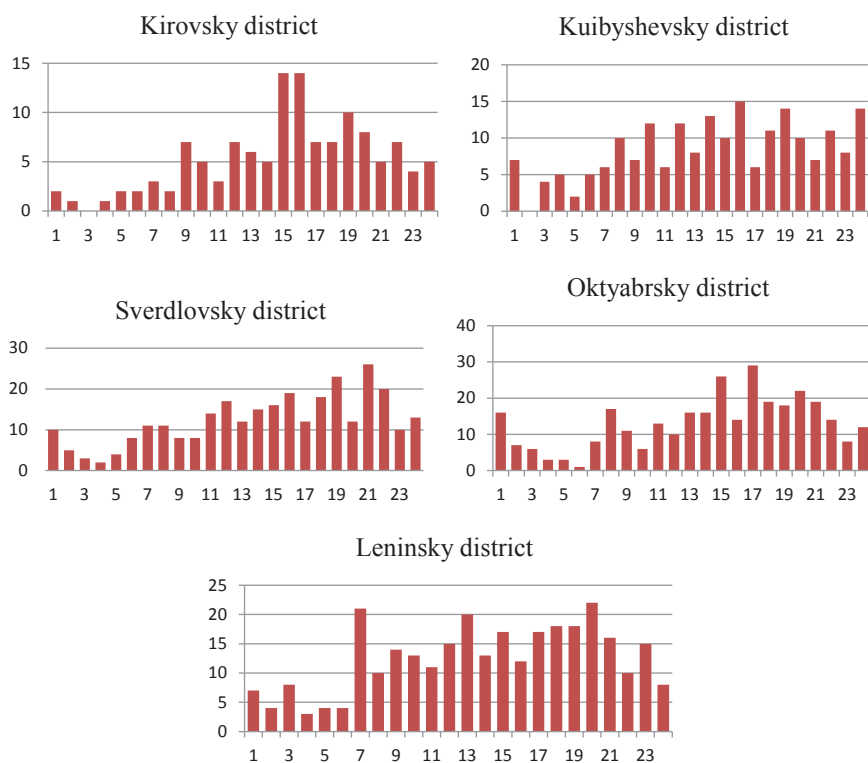
Territorially Irkutsk is divided into five districts: Kirovsky, Kuibyshevsky, Oktyabrsky, Sverdlovsky and Leninsky, although the administrative division assumes the presence of four districts with the unification of Kirovsky and Kuibyshevsky districts into Pravoberezhny district (Pic. 4). Roughly the same and the largest in terms of area are Leninsky and Pravoberezhny districts, which occupy 75 % of the city’s territory, the most densely populated are Sverdlovsky and Oktyabrsky districts.

Despite the difference in area and population, the number of RA with the victims is distributed around the districts approximately evenly. Recalculation of the accident rate per unit area leads to the first place Oktyabrsky district – in relative units the number of RA here is 1,8 times higher than in Sverdlovsky and 3,5–3,7 times higher than in Pravoberezhny and Leninsky districts.

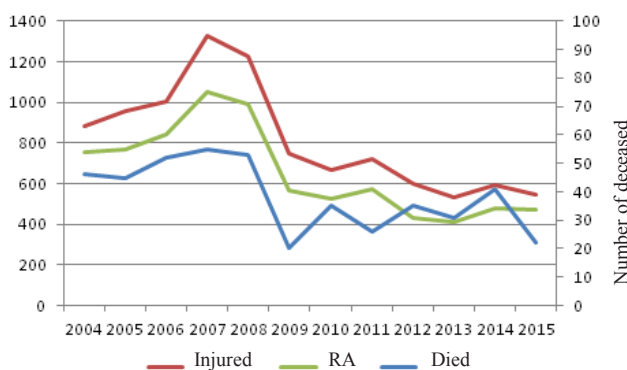
The distribution of the number of RA with injured depending on the time of the day in the districts of the



**Pic. 4. Administrative-territorial division of Irkutsk: districts – Pravoberezhny (1), Oktyabrsky (2), Sverdlovsky (3), Leninsky (4).**



**Pic. 5. Day dynamics of RA by the districts of Irkutsk in 2015.**



**Pic. 6. Dynamics of indicators of RA in foci of accident rate in Irkutsk.**

city is not uniform. If you do not take into account the decrease in the number of RA during the night, there are noticeable differences between the districts that make up Pravoberezhny district. In this connection, the analysis of the accident rate in this case is expedient to be carried out by districts. For example, let's consider the data for 2015 (Pic. 5).

The histograms for Kirovsky district have a clear peak from 14 to 16 hours. The most emergency time of the day – from 14 to 20 hours: for a six-hour interval 47 % of all RA occurred. In Kuibyshevsky district, except for the night period, the occurrence of accidents was almost independent of the time of day, and periodic ups and downs can be explained by errors in the registration of RA. Sverdlovsky district was characterized by an increase in accident rate

throughout the day, a decline which was observed only after 22 hours. A close to this type of distribution with the obvious mode, which falls on the evening hours, was observed for Oktyabrsky district. The distinctive morning peak of the accident rate was noted only for Leninsky district – the most remote from the city center and combining the features of a sleeping and industrial area.

### 3.

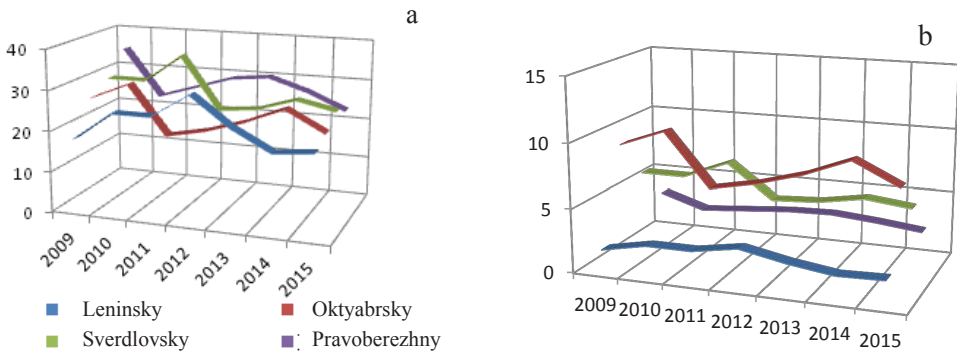
About 40 % of RA with victims in Irkutsk occur in so-called foci of accidents – sections of the city's roads up to 200 meters in length or in crossroads, during which three or more RA of one type occurred, or five or more different types (Pic. 6).

Foci of accidents are, as a rule, slightly more than a hundred sites a year. The maximum number of foci



Indicators of road accidents in foci of accident rate

Years	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Pravoberezhny district								
RA	232	141	109	142	111	115	112	118
Died	12	4	5	8	6	8	10	3
Injured	290	186	122	162	151	148	136	134
Sverdlovsky district								
RA	272	159	132	186	109	94	136	124
Died	15	7	5	6	11	10	12	9
Injured	337	205	172	244	150	110	161	138
Oktyabrsky district								
RA	257	176	156	118	91	104	144	127
Died	8	7	10	8	4	9	8	8
Injured	318	235	221	151	135	131	189	161
Leninsky district								
RA	233	93	132	124	121	101	89	101
Died	18	2	15	6	14	4	11	2
Injured	274	121	152	162	161	145	105	111



Pic. 7. Distribution of foci of accident rate by the districts of Irkutsk: a – absolute values, b – per 10 sq. km.

occurred in 2006–2008 (150–160 sections), during the same period, the maximum number of RA and victims was recorded (Pic. 6). In the future, there was a tendency to decrease the accident rate for all indicators, although it is not so obvious with respect to fatalities. The smallest number of foci of accident rate (90) was recorded in 2015.

In terms of absolute values, the foci of accident rate are distributed more or less evenly in the districts of the city (Pic. 7a). If we include their number per unit area (10 sq. km), we get a completely different picture (Pic. 7b): most of the centers are in Oktyabrsky and Sverdlovsky districts. Their formation is associated with a high population density.

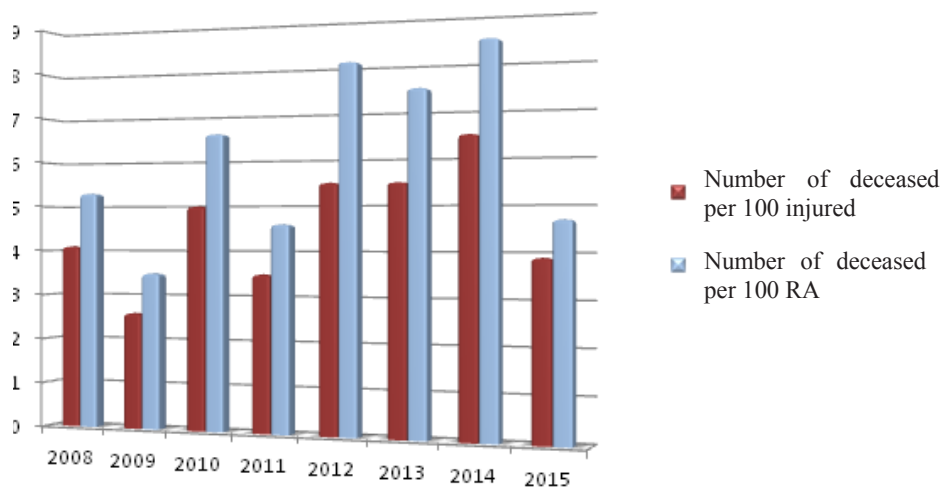
Oktyabrsky district is the smallest in area (by comparison, 3,5 times smaller than Leninsky). In the formation of foci of accidents in this case, apparently, the decisive role is played by population density – in addition to the high density of residents, the district is distinguished by its prestige in office terms. In 2015, for example, five foci of accidents from Oktyabrsky district were included in the top ten most accident sites in Irkutsk (according to the number of accidents and the number of injured).

In Pravoberezhny district, the proportion of its two constituent parts accounts for an approximately equal

number of foci of accidents. However, Kirovsky district – the historical and administrative center of the city – is only a small part of the district, so there is less chance of getting into an accident in Kuibyshevsky district. This is understandable, given its architectural features. Irkutsk jail, with the construction of which in 1661 the city originates, was founded mainly within the boundaries of the present Kuibyshevsky district, and to this day a large part of it is made up of the private sector, and most of the buildings are low-rise. Foci of accidents at the same time are formed only on a few busy streets, connecting the city's districts, as well as emerging on intercity routes.

Taking as an indicator the ratio of the number of RA to the length of roads, it can be noted that the most unfavorable (with both total and fatal RA) is again Oktyabrsky district. Taking into account the total number of accidents, Leninsky district was relatively prosperous, but the territorial picture of RA is characterized not so much by the general rate of accident rate as by the death rate. So, a small share of RA with a fatal outcome is allocated to Pravoberezhny district.

A considerable part of the injured (total number of dead and wounded) on the roads is connected with the foci of accident rate (Table 2). The severity



**Pic. 8. Degree of severity of RA in foci of accident rate.**

of the consequences of RA, which is determined by the number of deceased in 100 RA and the number of deceased per 100 injured, did not have a clear trend in the period under study. Only the rise in the quantitative values of these indicators for the city in 2012–2014 (Pic. 8) was clear, although as for the number of RA this was a very prosperous period (Pic. 6).

The severity of the consequences of RA in Oktyabrsky district was, as a rule, lower or close to the average urban values. The Sverdlovsky district is the largest in terms of the population in this respect almost every year in the risk zone (the number of deceased in 100 RA and the number of deceased per 100 injured are above the average for the city). The most favorable situation in the city on the consequences of RA – in Pravoberezhny district, in the borders of it – in Kirovsky district. Possible reasons for this are the features of urban development. Kirovsky district as a historical center of Irkutsk is characterized by narrow streets, often without the possibility of expansion. The low throughput of streets in recent years has led to the formation of traffic jams in the evening hours. According to the Yandex.Probki web service, eight-point jams (on a ten-point scale) have already been registered on the central streets of the city with a speed of transportation of no more than five kilometers per hour. Low speed and high density of cars in the flow lead to an increase in the total number of RA, but road traffic injuries and, especially, the mortality of outcomes are small.

**Conclusions.** There are reasons to believe that the situation with ensuring road safety in Irkutsk is quite complicated. First of all, the causes of RA are non-observance of traffic rules by drivers and pedestrians, unsatisfactory road conditions. The most frequent recorded accidents are collisions of cars and collisions with pedestrians with 1–2 injured. The occurrence of accidents has a strong time dependence. The number of accidents is greater in

the summer-autumn period, less in the winter months. The peak of accidents every day falls on the evening hours, when people return from work.

About 40 % of RA with victims in the city are committed in the foci of accident rate – small sections of roads or crossings, on which three or more RA of one type or five or more different types occurred during the year. The distribution of foci of accidents directly depends on the density of living of the population and the functional specificity of the administrative units of the city. Comprehensive analysis of data on accidents in the foci of accident rate can be the basis for developing solutions in the field of road safety.

## REFERENCES

1. Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia dated 19.06.2015 No. 699 «On the organization of accounting, collection and analysis of information on road accidents» [Prikaz MVD Rossii ot 19.06.2015 goda № 699 «Ob organizacii uchjota, sbora i analiza svedenij o dorozhno-transportnyh proisshestvijah»].
2. Decree of the Government of the Russian Federation dated 29.06.1995 No. 647 «On the approval of the rules for recording traffic accidents» [Postanovlenie pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29.06.1995 goda № 647 «Ob utverzhenii pravil uchjota dorozhno-transportnyh proisshestvij»].
3. Territorial body of the Federal State Statistics Service for Irkutsk region [Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Irkutskoj oblasti]. [Electronic resource]: <http://irkutskstat.gks.ru>. Last accessed 11.01.2017.
4. Bubnov, V. G., Bubnova, N. V. How to provide first aid in a road accident [Kak okazat' pomoshh' pri avtodorozhnom proisshestvii]. Moscow, 2014, 160 p.
5. Volchatova, I. V. Road Accidents: Transport and Social Risks. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 3, pp. 232–242.

Information about the author:

**Volchatova, Irina V.** – Ph.D. (Biology), associate professor at the department of Industrial ecology and safety of living of Irkutsk National Research Technical University (IRNITU), Irkutsk, Russia, genesis@istu.edu.

Article received 08.02.2017, accepted 15.04.2017.





# Аэрокосмические методы мониторинга чрезвычайных ситуаций



Максим ЖЕЛЕЗНОВ  
Maxim M. ZHELEZNOV

Валентин ПОНОМАРЁВ  
Valentine M. PONOMAREV



*Железнов Максим Максимович – кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника управления научно-исследовательской работы Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Пonomарёв Валентин Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления безопасностью в техносфере Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

## Aerospace Emergency Monitoring Methods

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 222)

**В статье приводится сравнительный анализ факторов природно-техногенного характера, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Рассматриваются вопросы информационно-технологического обеспечения мониторинга и сбора данных о состоянии потенциально опасных участков железнодорожного пути с использованием аэрокосмических технологий.**

*Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг, железнодорожный путь, безопасность, чрезвычайные ситуации, технологии контроля.*

Обеспечение устойчивости перевозочного процесса и предотвращение чрезвычайных ситуаций (ЧС) является актуальной задачей для железнодорожного транспорта. Инновационные технические решения, применяемые для задач мониторинга протяжённых участков железнодорожного пути, позволяют достичь максимального интегрированного эффекта для безопасности движения поездов и предупреждения ЧС.

Актуальность мониторинга железнодорожного пути, потенциально опасных объектов и явлений на прилегающих к нему территориях определяется необходимостью реализации повышенных требований к безопасности движения и, в частности, к геометрическим параметрам устройств пути большой протяжённости на строящихся и функционирующих грузонапряжённых магистралях, а также предупреждения техногенных катастроф и масштабных негативных последствий природных явлений [1].

Возникновение природно-техногенных чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте обусловлено рядом

Таблица 1

ЧС по характеру и виду источников возникновения	Количество ЧС			Погибло		Пострадало	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Техногенные	177	179	-1,12 %	708	656	3970	1629
Природные	54	45	20,00 %	3	43	126465	18114
Биолого-социальные	67	33	103,03 %	75	0	503	1041
<b>ИТОГО:</b>	<b>298</b>	<b>257</b>	<b>15,95 %</b>	<b>786</b>	<b>699</b>	<b>130938</b>	<b>20784</b>

Таблица 2

ЧС по характеру и виду источников возникновения	Количество ЧС			Погибло		Пострадало	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Землетрясения, извержение вулканов	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Опасные геологические явления	2	0	+ 2	0	0	0	0
Повышение уровня грунтовых вод	0	3	-100,00 %	0	0	0	1742
Бури, ураганы, смерчи, шквалы, сильные метели	6	4	50,00 %	0	1	383	1229
Сильный дождь, сильный снегопад, крупный град	21	11	90,91 %	3	1	78818	8989
Снежные лавины	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Заморозки, засуха, суховей, пыльные бури	7	16	-56,25 %	0	0	0	0
Морские опасные гидрологические явления	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Отрыв прибрежных льдов	1	0	+ 1	0	0	40	0
Опасные гидрологические явления	15	4	275,00 %	0	0	47224	0
Крупные природные пожары	2	7	-71,43 %	0	41	0	6154

факторов, влияние которых со временем все усиливается. Большая часть наших железных дорог построена и функционирует в сложных природно-климатических условиях (равнинные территории и низменности с преобладанием увлажнённых грунтов). Интенсификация перевозочного процесса и повышение осевых нагрузок приводили и приводят к необратимым физико-химическим процессам в земляном полотне, которые меняют характер поведения железнодорожного пути и расширяют зону риска.

## ПОТРЕБНОСТЬ КОНТРОЛИРОВАТЬ РИСКИ

Рассмотрим сравнительную характеристику чрезвычайных ситуаций на территории Российской Федерации в 2015–2016 годах, используя данные официально опубликованных материалов МЧС (таблица 1).

Исходя из приведённых данных, вполне закономерным является определение приоритетного направления научно-технической деятельности МЧС России в 2017 году: «Научное обеспечение развития системы мониторинга

и прогнозирования масштабных чрезвычайных ситуаций и уменьшения опасности бедствий». Согласно официальной статистики (таблица 2) следует вывод, что на территории России преобладает водный фактор риска.

Анализ факторов природно-техногенного характера, приводящих к возникновению ЧС на железнодорожном транспорте, заставляет вместе с тем утверждать, что серьёзным фактором риска возникновения чрезвычайной ситуации является и сам железнодорожный путь — как отторгаемая антропогенная часть экосистемы [2]. И чем сложнее климатические условия, тем сильнее природа борется с «вирусом» и проявляет свой «иммунитет». Возникновение этого эффекта объясняется просто: при строительстве и эксплуатации пути возникает нарушение естественной среды [3], способное провоцировать и усугублять природные ЧС (рис. 1).

Согласно классификации [3], предложенной Ф. П. Саваренским (1941) и И. В. Поповым (1951), можно сгруппировать и связать ряд геологических про-





Рис. 1. Негативные экологические последствия строительства и эксплуатации железнодорожного пути.



Рис. 2. Основные природные факторы зарождения ЧС на железнодорожном транспорте.





Рис. 3. Информационная система аэрокосмического мониторинга.

цессов и физико-геологических явлений, дающих повод считать их основными причинами природно-техногенных ЧС на железнодорожном транспорте (рис. 2).

Очевидно, что территория пролегания железнодорожного пути подвержена негативному воздействию всего известного спектра физико-геологических явлений, провоцирующих возникновение чрезвычайных ситуаций. При этом следует отметить превалирующее значение водного фактора воздействия на железнодорожную инфраструктуру, в частности, участвовавшие на территории России наводнения, сопряжённые с серьёзными материальными потерями и человеческими жертвами.

Особую опасность среди быстроразвивающихся ЧС для железнодорожной инфраструктуры представляют сезонные и ливневые воды.

Для борьбы с возможными негативными последствиями привлекаются колоссальные материальные, технические и человеческие ресурсы. Рациональное планирование, распределение и эффективное использование имеющегося потенциала позволяет снизить ущерб, причиняемый железнодорожной инфраструктуре, минимизировать опасность для людей и повысить экономическую

эффективность проводимых мероприятий.

Следовательно, системы оперативного мониторинга должны обеспечивать региональные дирекции инфраструктуры и линейные предприятия необходимой информацией о состоянии железнодорожного пути и прилегающей территории, а также объектов, представляющих опасность вне зависимости от степени их удаления от полосы отвода.

### СОВМЕЩЁННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Система мониторинга на всех этапах должна обеспечивать информационную поддержку принимаемых решений и предоставлять данные об изменениях состояния объектов инфраструктуры и потенциально опасных объектов. В первую очередь о тех значениях, которые являются критическими для безопасности функционирования железнодорожного транспорта.

То есть речь идёт о том, чтобы система мониторинга оценивала отклонения от неких эталонных значений по ряду определённых критериев. При наличии аэрокосмического контроля в роли эталонных значений выступают снимки железнодорожного пути (рис. 3).

Причём при построении мониторинга на основе таких технологических инстру-



Ключевые технологические проблемы мониторинга железнодорожного пути	Основные причины недостаточной эффективности мониторинга потенциально опасных участков и реализации возможных мер по безопасности движения
Отсутствие в масштабах сети интеграции показаний путеизмерительных и диагностических средств в единой системе координат	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Невозможность выявления целого ряда геометрических параметров рельсовой колеи.</li> <li>• Высокая погрешность координатной привязки дефектов пути в пикетажной системе координат.</li> <li>• Невозможность ведения непрерывной «истории состояния (болезни)» каждого километра железнодорожного пути с непрерывной актуализацией информации в единой глобальной системе координат.</li> </ul>
Отсутствие единой системы контроля соответствия проектным и паспортным данным железнодорожного пути (в том числе на больших протяжённых участках)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Невозможность определения и контроля с необходимой точностью проектных параметров пути на больших протяжённых участках, в первую очередь высокоскоростных магистралей.</li> <li>• Невозможность отслеживания взаимного влияния при изменении состояния железнодорожного пути на другие объекты железнодорожного транспорта и искусственные сооружения (в первую очередь габаритные параметры).</li> </ul>
Отсутствие технологий комплексного мониторинга железнодорожного пути для отслеживания опасных природно-техногенных явлений и ЧС	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Невозможность контроля событий на протяжённых территориях, прилегающих к железнодорожному пути (до десятков километров удаления) и оказывающих на него непосредственное влияние (оползни, лавины, шторма и т.д.).</li> <li>• Мониторинг потенциально опасных участков железнодорожного пути носит локальный характер, результаты не интегрируются в комплексную систему.</li> </ul>



Рис. 4. Основные технологические проблемы мониторинга пути и предупреждения ЧС.

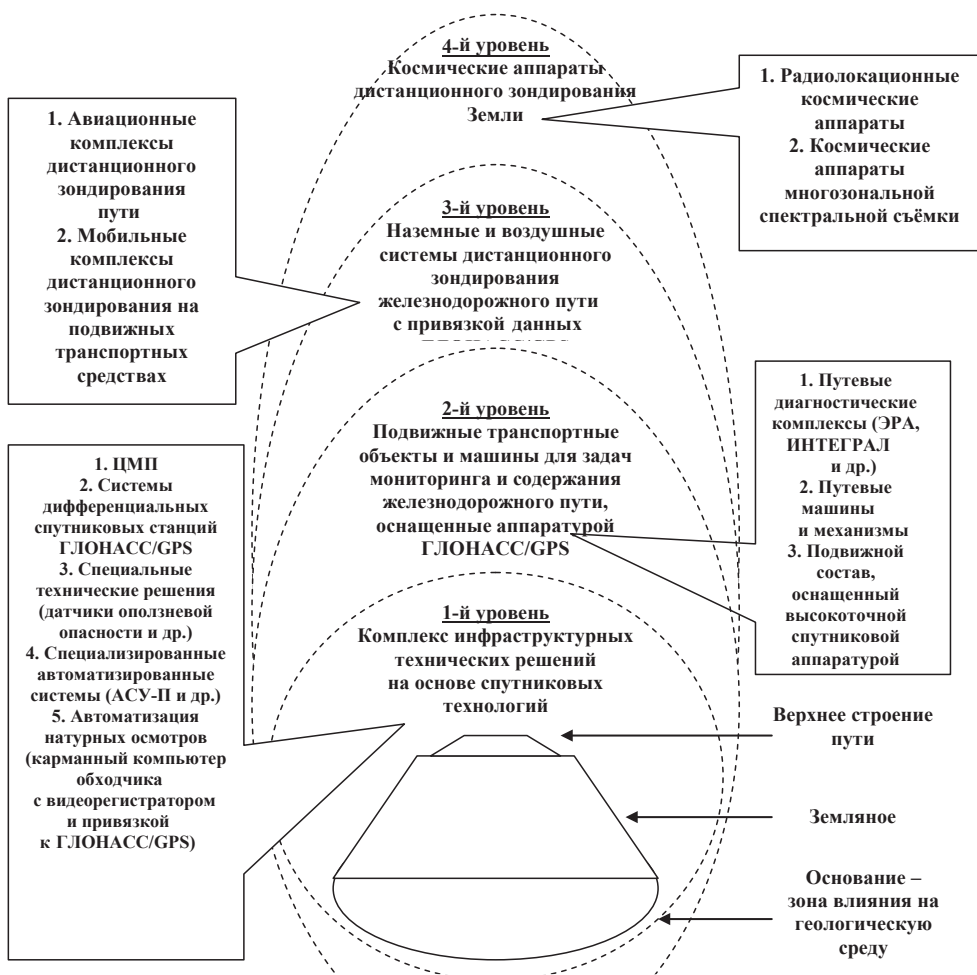


Рис. 5. Модернизированная система мониторинга пути и предупреждения ЧС.

ментов, как спутниковые системы дистанционного зондирования, возникает необходимость запуска законченного технологического цикла, с заданными параметрами измерений, цикличности и частоты получения информации, схемами коммуникационного взаимодействия.

Космические технологии зарекомендовали себя эффективным инструментом мониторинга, в первую очередь для крупных территориальных объектов и явлений, а также их комплексного взаимодействия с окружающей средой на больших пространствах. Исходя из этого, следует отметить, что космические системы не могут столь же эффективно решить всех задач мониторинга объектов инфраструктуры при оценке ситуации на локальном объекте. Их применение целесообразно

в рамках масштабного и комплексного мониторинга.

Представленная картина подтверждает тезис о необходимости создания глобальной системы предупреждения и предотвращения ЧС с помощью средств аэрокосмического мониторинга железнодорожного пути и прилегающих территорий для отслеживания факторов возникновения природно-техногенных чрезвычайных ситуаций [4, 5].

Такая постановка задачи требует единого научно-технологического подхода (задача интероперабельности) к вопросам мониторинга потенциально опасных участков железнодорожного пути [6–10] и прежде всего к ключевым технологическим проблемам: унификации методов измерений, формам предоставления информации, нормативным требованиям к полноте и точности данных (таблица 3).



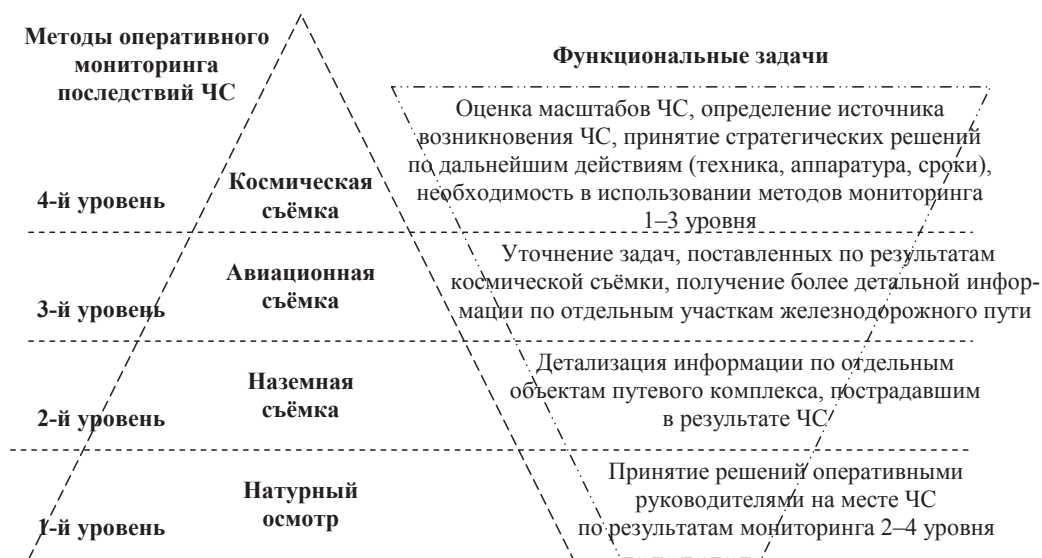


Рис. 6. Иерархическая структура решаемых задач и перспективной технологии мониторинга ЧС.

Существующая система информационно-технологического обеспечения мониторинга пути и предупреждения ЧС включает два уровня: комплекс локальных инфраструктурных технических решений (реперные сети, путевые шаблоны, геодезическая аппаратура и др.) и так называемые средства сплошного контроля (из которых вагон-путеизмеритель является наиболее ярким представителем и осуществляет периодические измере-

ния геометрических параметров рельсовой колеи) [11, 12]. При этом все упомянутые средства дают дискретную и разнородную картину, не позволяющую в принципе выстраивать адекватную пространственную модель состояния железнодорожного пути (рис. 4).

Для решения представленных технологических проблем желательно применение средств глобального контроля — космических, авиационных и наземных дистанци-

онного зондирования с высокоточной привязкой аппаратурой ГЛОНАСС/GPS [12, 13]. Интегрируя результаты исследований, мы предложили модернизированную структурную схему системы мониторинга протяжённых деформаций железнодорожного пути, предусматривающую четыре основных уровня (рис. 5).

С опорой на основные методы оценки оперативной обстановки при ЧС построена иерархическая структура решаемых задач и перспективной технологии мониторинга ЧС (рис. 6).

Возникают и другие технологические возможности для оценки состояния пути и предупреждения ЧС в комплексе с объектами инфраструктуры [14, 15]:

1. Оценка пространственного положения и геометрических параметров железнодорожного пути в комплексе с искусственными сооружениями в макротерриториальном масштабе (смещение насыпей, приближение/удаление ИССО и т.д.).

2. Адаптивное управление мониторингом и текущим обслуживанием пути (управление частотой контроля при мониторинге, меньшее время для устранения дефектов за счёт прямой передачи средств контроля на путевые машины информации, управление скоростью работы путевых машин во время ремонтов и т.д.).

3. Выявление эпицентров потенциально опасных явлений на больших площадях, прилегающих к железнодорожному пути (образование водоёмов, скорость роста оврагов в сторону трассы, обводнение и заболачивание почв и т.д.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарёв В. М. Методы и средства повышения безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях / Дис...док. техн. наук. – М., 2011. – 416 с.

2. Пономарёв В. М. Повышение безопасности и устойчивости функционирования железнодорожного транспорта в чрезвычайных ситуациях: Монография. – М.: МИИТ, 2001. – 174 с.

3. Шульгин Д. И., Гладков В. Г., Никулин А. Н., Подвербный В. А. Инженерная геология для строителей железных дорог: Монография. – М.: Желдориздат, 2002. – 514 с.

4. Пономарёв В. М., Шевченко А. И. Совершенствование системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта. – 2005. – № 3. – С. 8–15.

5. Железнов М. М. Основные направления исследований в области мониторинга и технического обслуживания железнодорожного пути на основе спутниковых технологий // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 6. – С. 59–64.

6. Wang M. L., Lynch J. P., Sohn H. Sensor Technologies for Civil Infrastructures // Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials. 2014. Vol. 55. Pp. 159–178.

7. Shariff F., Rahim N. A., Hew W. P. Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system // Expert System with Application. 2015. Vol. 42. № 3. Pp. 1730–1742.

8. Roghaei M., Zabihollah A. An efficient and reliable structural health monitoring system for buildings after earthquake // APCBEE Procedia, 2014, Vol. 9, Pp. 309–316.

9. Samadi A., Amiri-Tolkadany E., Davoudi M. H., Darby S. E. Experimental and numerical investigation of stability of overhanging riverbanks // Geomorphology. 2013. Vol. 184. Pp. 1–19.

10. Shen H., Klapperich H., Abbas S. M., Ibrahim A. Slope stability analysis based on the integration of GIS and numerical simulation // Automation in Construction. 2012. Vol. 26. Pp. 46–53.

11. Железнов М. М., Певзнер В. О., Василевский А. С. и др. Концепция мониторинга макротерриториальных деформаций железнодорожного пути с использованием космических технологий // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта: Коллективная монография / Под. ред. Б. М. Лапидуса. – М.: Mittel Press, 2014. – С. 97–111.

12. Zheleznov M. M. Aerospace remote sensing based determination of track geometry characteristics. Vniizht Bulletin. 2012. № 5. Pp. 1–7.

13. Василевский А. С., Железнов М. М., Макаров А. Ю. Мониторинг потенциально опасных воздействий на железнодорожную инфраструктуру с использованием космических систем ДЗЗ // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 6. – С. 16–19.

14. Железнов М. М. О концепции информационно-технологического совершенствования системы ведения путевого хозяйства на основе инновационных технологий, в том числе спутниковых // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 5. – С. 1–7.

15. Zheleznov M. M. Developing innovative technologies to be implemented with the track maintenance IT system. Vniizht Bulletin. 2013. № 1. Pp. 15–18. ●

Координаты авторов: **Железнов М. М.** – m.zheleznov@mail.ru,  
**Пономарёв В. М.** – ponomarev.valentin@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 26.06.2017, принята к публикации 18.07.2017.

**Работа выполнена в рамках гранта ОАО «РЖД» на развитие научно-педагогических школ в сфере железнодорожного транспорта.**



## AEROSPACE EMERGENCY MONITORING METHODS

**Zheleznov, Maxim M.**, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

**Ponomarev, Valentine M.**, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

The article provides a comparative analysis of natural and man-made factors that lead to the occurrence of emergency situations on railway

transport. The issues of information and technological support of monitoring and data collection about the state of potentially dangerous sections of the railway track using aerospace technologies are considered.

**Keywords:** aerospace monitoring, railway track, safety, emergency situations, control technologies.

**Background.** Ensuring stability of a transportation process and prevention of emergency situations (ES) is an urgent task for rail transport. Innovative technical solutions used for monitoring of long sections of the railway track make it possible to achieve the maximum integrated effect for train traffic safety and prevention of ES.

The urgency of monitoring of a railway track, potentially dangerous objects and phenomena on the adjacent territories is determined by the need to implement increased requirements for traffic safety and, in particular, to geometric parameters of long-distance track arrangements on the being constructed and functioning heavy main lines, as well as prevention of man-made disasters and large-scale negative consequences of natural phenomena [1].

The occurrence of natural and man-made emergencies on a railway transport is due to a number of factors, the influence of which is increasingly intensified with time. Most of the railways are built and operate in difficult climatic conditions (plains and lowlands with a predominance of moistened soils). The intensification of the transportation process and the increase in axle loads led and lead to irreversible physical and chemical processes in the roadbed, which change the nature of the behavior of the railway track and expand the risk zone.

**Objective.** The objective of the authors is to consider aerospace emergency monitoring methods.

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

### Results.

#### Need to control risks

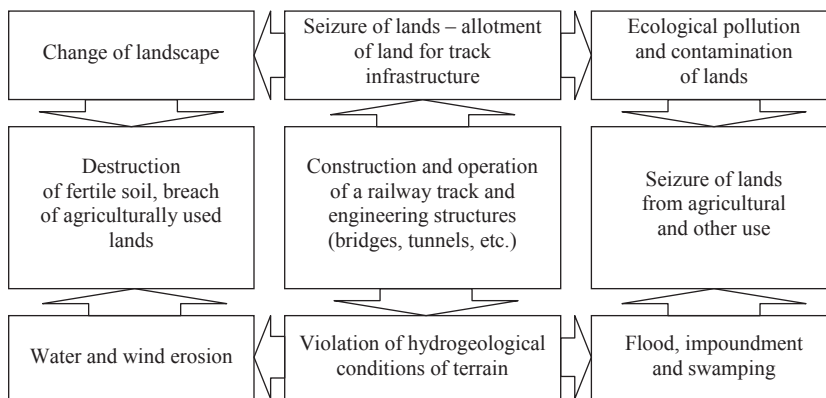
Let's consider the comparative characteristics of emergencies in the territory of the Russian Federation in 2015–2016, using the data of officially published materials of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Table 1).

Based on the above data, it is quite natural to determine the priority direction of the scientific and technical activities of the Ministry of Emergencies of Russia in 2017: «Scientific support for development of a system for monitoring and forecasting of large-scale emergencies and disaster risk reduction». According to the statistics (Table 2), it follows that the water risk factor prevails on the territory of Russia.

Analysis of natural and man-made factors that lead to emergencies on railway transport, however, also suggests that the railway track itself is a serious risk factor for an emergency situation – as an anthropogenic part of the ecosystem that is torn away [2]. And the more complex the climatic conditions are, the stronger the nature struggles with the «virus» and manifests its «immunity». The appearance of this effect is explained simply: during construction and operation of the track there is a disturbance of the

**Table 1**

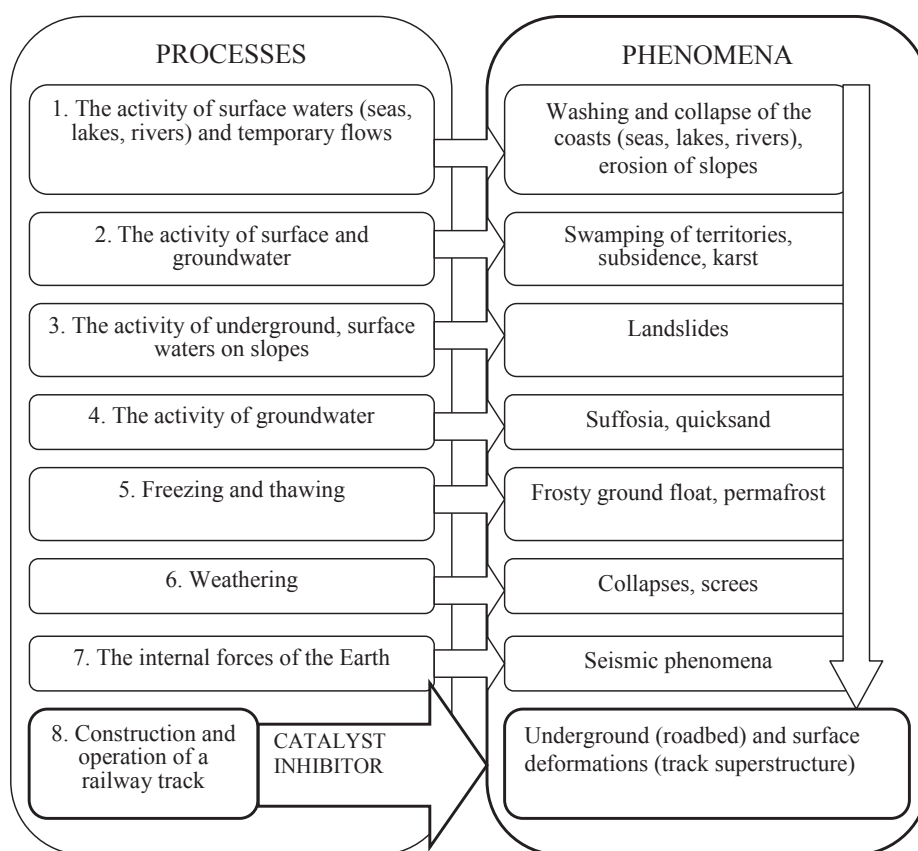
ES by nature and kind of sources of occurrence	Number of ES			Died		Injured	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Technogenic	177	179	-1,12 %	708	656	3970	1629
Natural	54	45	20,00 %	3	43	126465	18114
Biological-social	67	33	103,03 %	75	0	503	1041
Total	298	257	15,95 %	786	699	130938	20784



**Fig. 1. Negative ecological consequences of construction and operation of a railway track.**

**Table 2**

ES by nature and kind of sources of occurrence	Number of ES			Died		Injured	
	2016	2015	%	2016	2015	2016	2015
Earthquakes, volcanic eruption	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Dangerous geological phenomena	2	0	+ 2	0	0	0	0
Increased groundwater	0	3	-100,00 %	0	0	0	1742
Storms, hurricanes, tornados, squalls, strong snowstorms	6	4	50,00 %	0	1	383	1229
Heavy rain, heavy snow, large hail	21	11	90,91 %	3	1	78818	8989
Snow avalanches	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Frost, drought, dry winds, dust storms	7	16	-56,25 %	0	0	0	0
Marine hazardous hydrological phenomena	0	0	0,00 %	0	0	0	0
Separation of coastal ice	1	0	+ 1	0	0	40	0
Dangerous hydrological phenomena	15	4	275,00 %	0	0	47224	0
Major natural fires	2	7	-71,43 %	0	41	0	6154



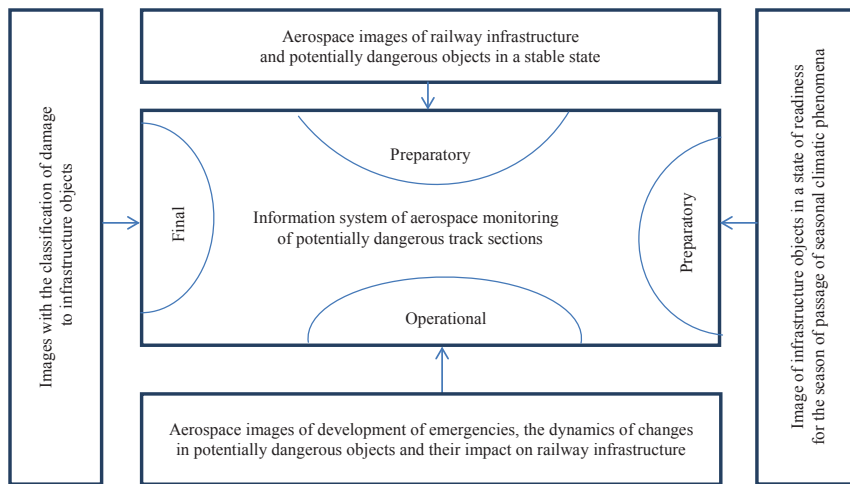
**Pic. 2. The main natural factors of the emergence of ES on railway transport.**

natural environment [3], which can provoke and aggravate natural emergencies (Pic. 1).

According to the classification [3] proposed by F. P. Savarensky (1941) and I. V. Popov (1951), it is possible to group and associate a number of geological processes and physico-geological phenomena, which give reason to consider them as main causes of natural and technogenic emergencies in railway transport (Pic. 2).

It is obvious that the territory of the railway track is subject to the negative impact of the entire known spectrum of physical and geological phenomena provoking the occurrence of emergency situations. At the same time, one should note the prevailing importance of a water impact factor on railway infrastructure, in particular, the floods that have become frequent in Russia, entailing serious material losses and human casualties.





**Pic. 3. Information system of aerospace monitoring.**

**Table 3**

Key technological problems of monitoring of a railway track	The main reasons for insufficient effectiveness of monitoring of potentially hazardous areas and implementing possible measures for traffic safety
Absence in the scales of the network of integration of readings of track-measuring and diagnostic tools in a single coordinate system	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impossibility of revealing a number of geometric parameters of the track gauge.</li> <li>• High error in the coordinate binding of track defects in the coordinate system.</li> <li>• Impossibility of maintaining a continuous «history of the state (disease)» of each kilometer of the railway track with continuous updating of information in a single global coordinate system.</li> </ul>
Absence of a single system for monitoring the compliance with the design and passport data of the railway track (including on large extended sections)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impossibility to determine and control with the required accuracy of the design parameters of the track on large extended sections, primarily high-speed lines.</li> <li>• Impossibility of monitoring of mutual influence when changing the state of the railway track on other railway transport facilities and artificial structures (primarily dimensions).</li> </ul>
Absence of technologies for comprehensive monitoring of the railway track for monitoring dangerous natural and man-made disasters and emergencies.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impossibility of monitoring events on long areas adjacent to the railway track (up to tens of kilometers of remoteness) and exerting direct influence on it (landslides, avalanches, storms, etc.).</li> <li>• Monitoring of potentially dangerous sections of the railway track is of a local nature, the results are not integrated into the complex system.</li> </ul>

*Especially dangerous among the rapidly developing emergency situations for the railway infrastructure are seasonal and storm water.*

*To combat the possible negative consequences, enormous material, technical and human resources are attracted. Rational planning, distribution and effective use of the existing potential allows to reduce the damage caused to the railway infrastructure, minimize the danger to people and increase the economic efficiency of the activities carried out.*

*Therefore, operational monitoring systems should provide the regional infrastructure directorates and line enterprises with the necessary information about the state of the railway track and the adjacent territory, as well as objects that pose a danger, regardless of the degree of their remoteness from the right-of-way.*

**Combined technologies**

*The monitoring system at all stages should provide information support for the decisions made and provide data on changes in the state of the infrastructure and potentially hazardous facilities. First*

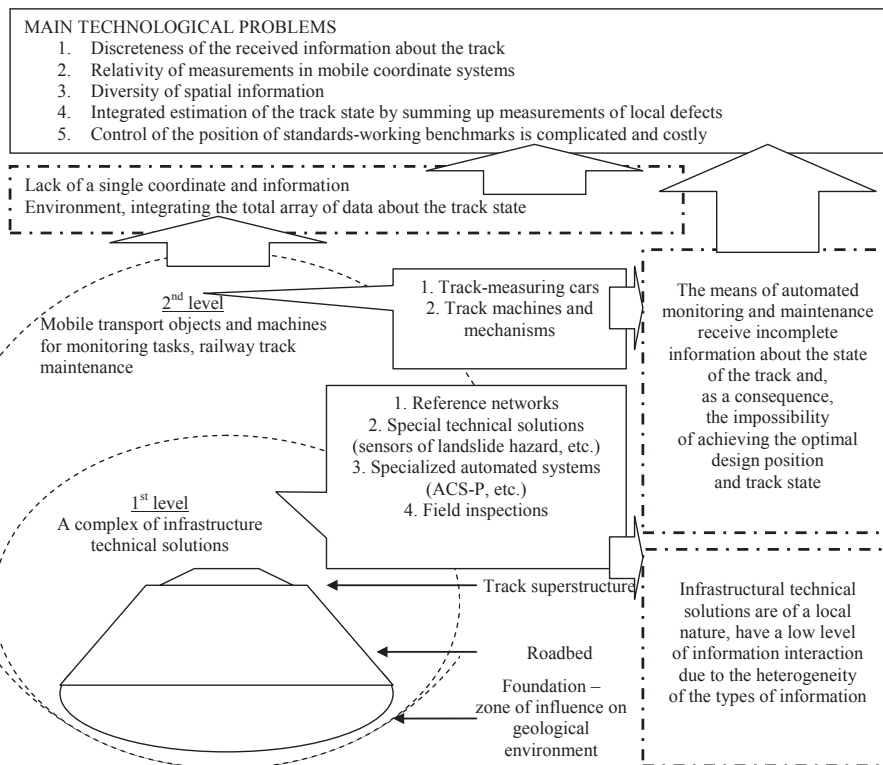
*of all, those values that are critical for the safety of the functioning of the railway transport.*

*That is, it is about the monitoring system assessing deviations from certain reference values for a number of certain criteria. In the presence of aerospace control the reference values are the images of the railway track (Pic. 3).*

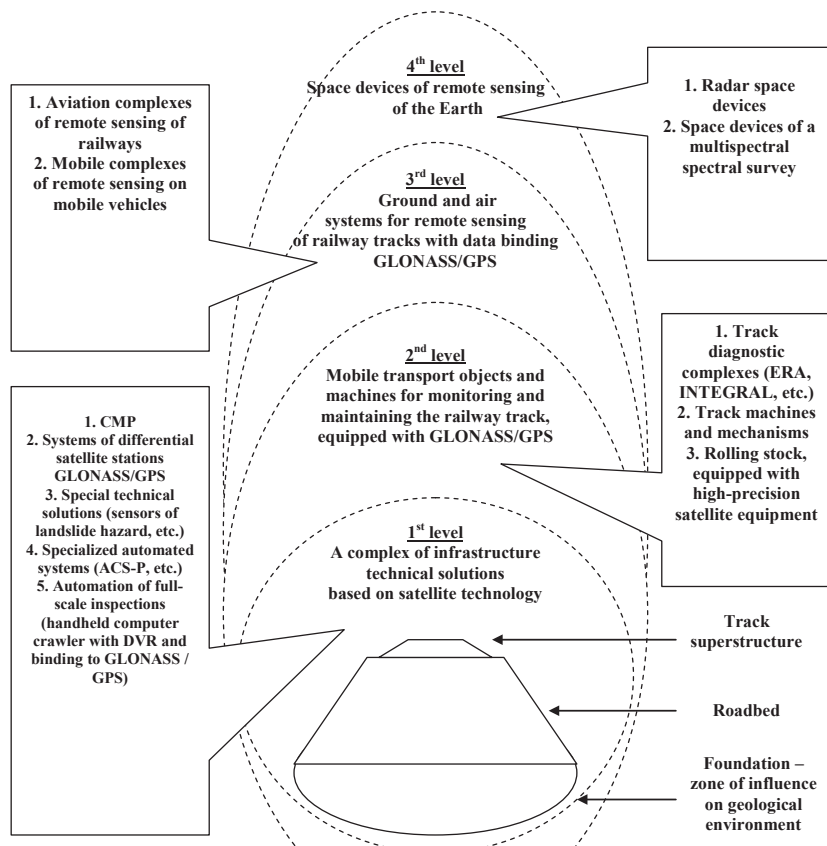
*Moreover, when building monitoring on the basis of such technological tools as satellite remote sensing systems, it becomes necessary to run a complete technological cycle, with the specified measurement parameters, cyclicity and frequency of information acquisition, communication interaction schemes.*

*Space technologies have proven to be an effective monitoring tool, primarily for large territorial objects and phenomena, as well as their integrated interaction with the environment in large areas. Proceeding from this, it should be noted that space systems can not as effectively solve all tasks of monitoring infrastructure objects when assessing the situation at a local facility. Application of them is expedient nevertheless within the framework of large-scale and complex monitoring.*

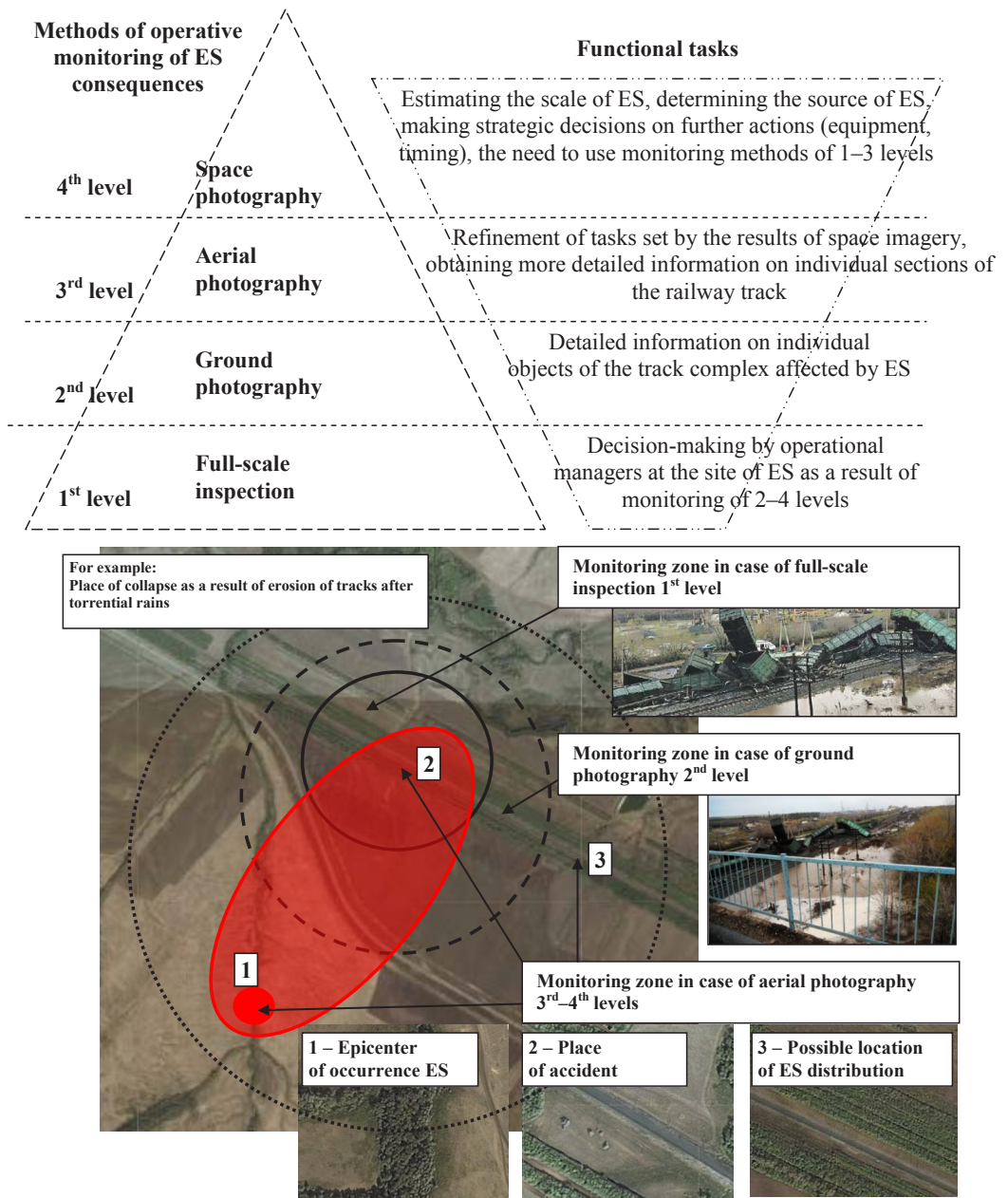




**Pic. 4. The main technological problems of monitoring of the track and preventing emergencies.**



**Pic. 5. Upgraded track monitoring and emergencies preventing system.**



**Pic. 6. Hierarchical structure of the tasks to be solved and a promising technology for monitoring emergency situations have been constructed.**

The presented picture confirms the thesis about the need to create a global system for preventing emergencies by means of aerospace monitoring of the railway track and adjacent territories to track the factors of the occurrence of natural and man-made emergencies [4, 5].

Such a statement of the problem requires a single scientific and technological approach (the task of interoperability) to the monitoring of potentially hazardous sections of the railway track [6–10] and, above all, to key technological problems: unification of measurement methods, forms of information provision, regulatory requirements for the completeness and accuracy of data Table 3).

The existing system of information and technological support of track monitoring and emergency prevention includes two levels: a set of local infrastructural technical solutions (reference networks, track templates, geodetic equipment, etc.) and so-called means of continuous control (of which the track-measuring car is the brightest representative and performs periodic measurements of the geometric parameters of the track gauge) [11, 12]. At the same time, all the mentioned means give a discrete and heterogeneous picture that does not allow in principle to build an adequate spatial model of the state of the railway track (Pic. 4).

To solve the presented technological problems it is desirable to use the means of global control –

space, aviation and ground remote sensing with high-precision binding by GLONASS / GPS equipment [12, 13]. Integrating the results of the research, we proposed a modernized structural diagram of the railway deformation monitoring system, which includes four main levels (Pic. 5).

Based on the basic methods of assessing the operational situation in the emergency, a hierarchical structure of the tasks to be solved and a promising technology for monitoring emergency situations have been constructed (Pic. 6).

#### Conclusions.

There are other technological opportunities for assessing the state of the track and preventing emergencies in conjunction with infrastructure objects [14, 15]:

1. Assessment of the spatial position and geometric parameters of the railway track in combination with artificial structures on a macroterritorial scale (displacement of embankments, approaching / removing the ISSS, etc.).

2. Adaptive management of monitoring and routine maintenance of the track (management of control frequency during monitoring, less time to eliminate defects due to direct transmission of information from control equipment to track machines, control of the speed of work of track machines during repairs, etc.).

3. Identification of epicenters of potentially dangerous phenomena in large areas adjacent to the railway track (formation of water bodies, speed of ravine growth towards the track, watering and swamping of soils, etc.).

## REFERENCES

1. Ponomarev, V. M. Methods and means of improving safety and stability of the functioning of railway transport in emergency situations. D.Sc. (Eng) thesis [*Metody i sredstva povysheniya bezopasnosti i ustojchivosti funkcionirovaniya zheleznodorozhnogo transporta v chrezvychajnykh situacijah. Dis...dok. tehn. nauk*]. Moscow, 2011, 416 p.

2. Ponomarev, V. M. Increase of safety and stability of the functioning of railway transport in emergency situations: monograph [*Povyshenie bezopasnosti i ustojchivosti funkcionirovaniya zheleznodorozhnogo transporta v chrezvychajnykh situacijah: monografija*]. Moscow, MIIT publ., 2001, 174 p.

3. Shulgin, D. I., Gladkov, V. G., Nikulin, A. N., Podverbny, V. A. Engineering geology for railroad builders: Monograph [*Inzhenernaja geologija dlja stroitelej zheleznykh dorog: Monografija*]. Moscow, Zheldorizdat publ., 2002, 514 p.

4. Ponomarev, V. M., Shevchenko, A. I. Improvement of the system of prevention and liquidation of emergencies on railway transport [*Sovershenstvovanie sistemy preduprezhdenija i likvidacii chrezvychajnykh situacij na zheleznodorozhnom transporte*]. *Nauka i tehnika transporta*, 2005, Iss. 3, pp. 8–15.

5. Zheleznov, M. M. The main directions of research in the field of monitoring and maintenance of the railway track on the basis of satellite technologies [*Osnovnye napravlenija issledovanij v oblasti monitoringa i tehničeskogo obslužhivaniya zheleznodorozhnogo puti na osnove sputnikovyh tehnologij*]. *Vestnik transporta Povolzh'ja*, 2011, Iss. 6, pp. 59–64.

6. Wang, M. L., Lynch, J. P., Sohn, H. Sensor Technologies for Civil Infrastructures. *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 2014, Vol. 55, pp. 159–178.

7. Shariff, F., Rahim, N. A., Hew, W. P. Zigbee-based data acquisition system for online monitoring of grid-connected photovoltaic system. *Expert System with Application*, 2015, Vol. 42, Iss. 3, pp. 1730–1742.

8. Roghaei M., Zabihollah A. An efficient and reliable structural health monitoring system for buildings after earthquake. *APCBEE Procedia*, 2014, Vol. 9, pp. 309–316.

9. Samadi, A., Amiri-Tolkadany, E., Davoudi, M. H., Darby, S. E. Experimental and numerical investigation of stability of overhanging riverbanks. *Geomorfology*, 2013, Vol. 184, pp. 1–19.

10. Shen, H., Klapperich, H., Abbas, S. M., Ibrahim, A. Slope stability analysis based on the integration of GIS and numerical simulation. *Automation in Construction*, 2012, Vol. 26, pp. 46–53.

11. Zheleznov, M. M., Pevzner, V. O., Vasilevsky, A. S., et al. The concept of monitoring macroterritorial deformations of the railway using space technologies // Scientific support of innovative development and increasing the efficiency of railway transport activity: collective monograph [*Koncepcija monitoringa makroterritorial'nykh deformacij zheleznodorozhnogo puti s ispol'zovaniem kosmicheskikh tehnologij // Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitiya i povysheniya effektivnosti dejatel'nosti zheleznodorozhnogo transporta: kollektivnaja monografija*]. Ed. by B. M. Lapidus. Moscow, Mittel Press publ., 2014, pp. 97–111.

12. Zheleznov, M. M. Aerospace remote sensing based determination of track geometry characteristics. *Vniizht Bulletin*, 2012, Iss. 5, pp. 1–7.

13. Vasilevsky, A. S., Zheleznov, M. M., Makarov, A. Yu. Monitoring of potentially dangerous impacts on the railway infrastructure using space RS systems [*Monitoring potencial'no opasnykh vozdeystvij na zheleznodorozhnuju infrastrukturu s ispol'zovaniem kosmicheskikh sistem DZZ*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2010, Iss. 6, pp. 16–19.

14. Zheleznov, M. M. About the concept of information and technological improvement of the track maintenance system based on innovative technologies, including satellite ones [*O koncepcii informacionno-tehnologičeskogo sovershenstvovanija sistemy vedenija putevogo hozjajstva na osnove innovacionnykh tehnologij, v tom chisle sputnikovyh*]. *Bjulleten' Ob'edinennogo učenogo soveta OAO «RZhD»*, 2012, Iss. 5, pp. 1–7.

15. Zheleznov, M. M. Developing innovative technologies to be implemented with the track maintenance IT system. *Vniizht Bulletin*, 2013, Iss. 1, pp. 15–18. ●

Information about the authors:

**Zheleznov, Maxim M.** – Ph.D. (Eng), associate professor, deputy head of the department for scientific work of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, m.zheleznov@mail.ru.

**Ponomarev, Valentine M.** – D.Sc. (Eng), professor, head of department of Safety control in technosphere of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, ponomarev.valentin@inbox.ru.

Article received 26.06.2017, accepted 18.07.2017.

The work has been carried out within the framework of the grant of JSC Russian Railways for development of scientific and pedagogical schools in the field of railway transport.





# Рациональный выбор параметров виброзащиты пути метрополитена



Евгений ТИТОВ  
Evgeny Yu. TITOV

Сергей ХАРИТОНОВ  
Sergey S. KHARITONOV



*Титов Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, учёный секретарь Объединённого учёного совета ОАО «РЖД», доцент кафедры мостов и тоннелей Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

*Харитонов Сергей Сергеевич – аспирант кафедры мостов и тоннелей Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

## Rational Choice of Vibration Protection Parameters of the Metro Track

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 233)

**Авторы рассматривают вопросы, связанные с выбором рациональных параметров виброзащитных конструкций верхнего строения пути метрополитена. Приведены результаты оценки способов повышения эффективности виброзащитных свойств блоков LVT-M. Даны предложения по совершенствованию методики такой оценки, которая должна в большей мере учитывать деформационные характеристики пути, конструкционные особенности тоннеля и других сооружений в метрозоне. Особый акцент сделан на важности применения материалов, динамическая жесткость которых незначительно выше статической в диапазоне исследуемых частот 2–63 Гц.**

*Ключевые слова:* виброзащита, верхнее строение пути, метрополитен, жёсткость пути, эффективность виброизоляции.

**П**овышенный уровень вибраций вблизи тоннелей метрополитена мелкого заложения – одна из актуальных проблем мегаполисов [1]. Наиболее часто эта угроза возникает для жилых зданий, расположенных на расстоянии менее 40 метров до оси подземного тоннеля.

Очевидно, что на стадии проектирования мы обладаем наиболее широким спектром возможностей для решения задачи по снижению уровней вибраций, чем после ввода объектов в эксплуатацию. Применение виброзащитных конструкций в метро и подвижного состава с меньшим динамическим воздействием на путь значительно бы облегчило жизнь людям в районе жилой застройки, которая тяготеет к объектам подземной трассы.

Однако зачастую проблему приходится решать виброзащитными конструкциями непосредственно в проектах зданий, а это мешает творчеству архитекторов и увеличивает стоимость строительства, хотя экономически более выгодно минимизировать эффекты виброакустического влияния метрополитена в самом источнике вибраций.

В этом случае, искусственно снизив уровни вибраций и шума, генерируемых

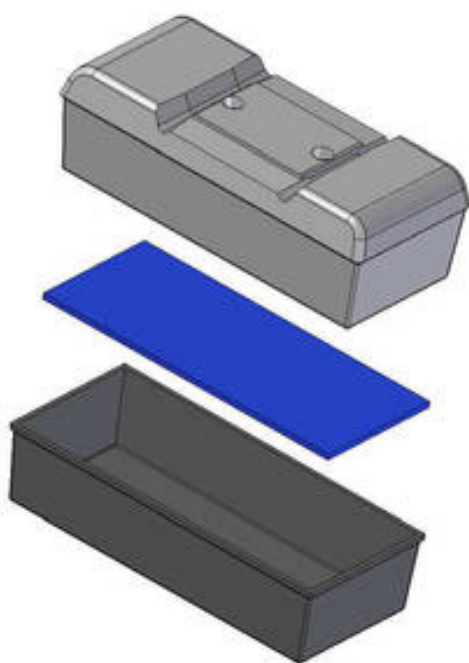


Рис. 1. Полушпалок LVT.

поездами метрополитена, для территорий вдоль трасс можно расширить возможности их использования в соответствии с современными требованиями терраэффективности [2].

То есть при прочих равных условиях более эффективным способом решения поставленной задачи является изоляция источника вибраций [8], особенно на стадии проектирования метрополитена, позволяющая уйти от необходимости в будущем искать сложные технические варианты по борьбе с транспортными вибрациями.

Надо заметить, что стоимость сооружения виброзащитной конструкции верхнего строения пути метрополитена выше стоимости сооружения типовой конструкции. Однако использование виброзащиты способствует уменьшению эксплуатационных затрат, о чём свидетельствует применение в конструкциях виброгасящих рельсовых креплений, подбалластных матов, блоков LVT и других средств. Кроме того, у города существует возможность компенсировать капитальные затраты на виброзащиту сооружений метрополитена посредством внесения в стоимость земли вблизи перегонных тоннелей разницы затрат на стандартную конструкцию верх-

него строения пути и виброзащитную с учётом большей комфортности такой земли для застройки.

Сейчас, когда зона покрытия метро мелкого заложения, а вместе с ней и зона повышенных вибраций стремительно разрастаются и есть возможность заранее подготовить территорию близ метрополитена для будущей застройки, целесообразно расширить полигон применения виброзащитных конструкций верхнего строения пути.

Существует большое количество виброзащитных средств, отвечающих современным требованиям. В частности, используются такие технологии борьбы с повышенным уровнем вибраций, как устройство виброзащитных подрельсовых прокладок, виброзащитных плит, матов и систем, состоящих из нескольких элементов [3].

Каждое средство виброзащиты имеет свою зону положительной эффективности (интервал частот колебаний, в котором виброзащита понижает уровень колебаний) и зону отрицательной эффективности (интервал частот, когда виброзащита повышает уровень колебаний или не меняет его) [9]. Наличие зоны отрицательной эффективности связано с резонансными явлениями, возникающими при совпаде-



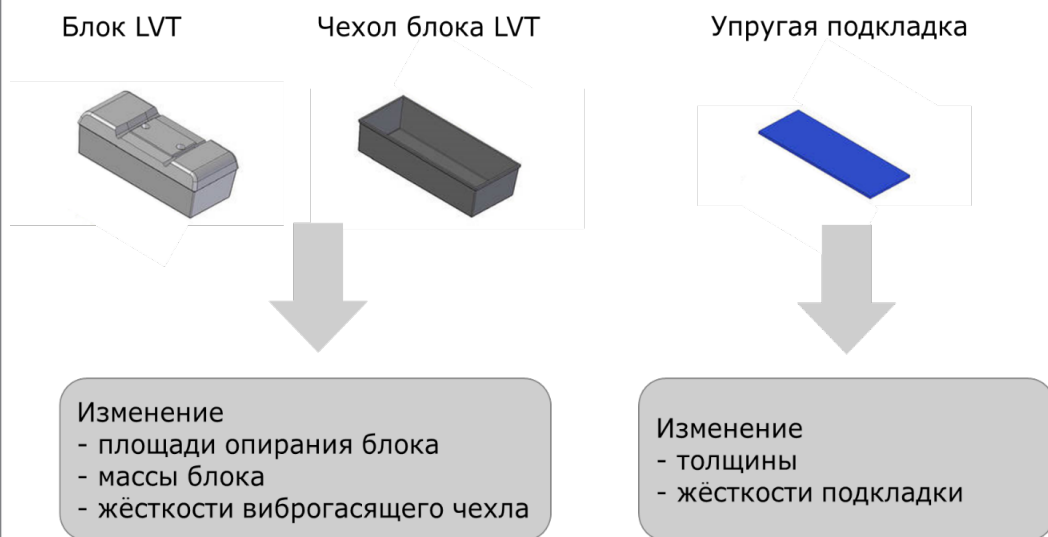


Рис. 2. Изменяемые под условия проекта элементы системы LVT.

нии частоты колебаний вынуждающей силы и собственной частоты колебаний виброзащитных средств.

При этом важно уметь адаптировать характеристики средств виброзащиты для эффективной работы в каждом из случаев.

Одной из виброзащитных систем, позволяющих в достаточно широком интервале менять и подстраивать под каждый отдельный случай свои характеристики, является верхнее строение пути типа LVT (Low Vibration Track) [4, 6]. Эта система имеет большие перспективы в отечественном метростроении, пройдя проверку на железных дорогах России (первый участок с применением технологии LVT открыт в 2011 году), она адаптирована к условиям метрополитена и уже применяется на нескольких участках в Москве и Петербурге.

LVT – безбалластная технология укладки пути, представляющая собой полушпалки, уложенные в специальные виброгасящие чехлы и замоноличенные в бетонное основание (рис. 1).

По данным, представленным московским метрополитеном [7], срок службы LVT-путей до капитального ремонта должен составить 40 лет, в то время как их содержание обойдётся на 20 % дешевле по сравнению с обслуживанием стандартных конструкций, что делает эту систему выгодной с точки зрения стоимости жизненного цикла.

Авторами проанализированы возможные случаи динамики параметров LVT на примере блоков LVT-M (модификация для метрополитена) с целью установления параметров, наиболее эффективных относительно влияния их изменения на изменение собственной частоты колебаний блока и простоты коррекции этих параметров. Расчёт предполагал и установление способности к управлению эффективностью виброзащиты для всех блоков типа LVT.

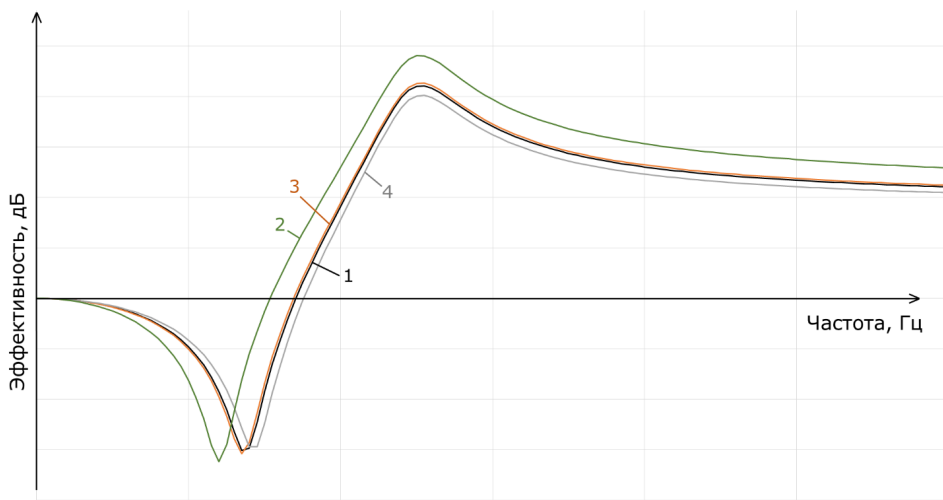
На рис. 2 представлены рассматриваемые варианты изменения параметров виброзащиты и элементы конструкции, которые они характеризуют.

Главными характеристиками для подбора конструкции элемента виброзащиты с точки зрения его реакции на динамические воздействия являются масса и динамическая жёсткость [5], поскольку именно они определяют собственную частоту колебаний ( $f$ ) виброзащиты:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{Ж}{M}}, \quad (1)$$

где  $Ж$  – жёсткость системы;  $M$  – масса системы.

Изменения жёсткости виброзащиты блоков типа LVT можно добиться при помощи изменения свойств материала ( $E$  – модуль упругости) и геометрии ( $S_0$ ,  $h$ ) упругой подкладки под блоком:



**Рис. 3. Изменяемые под условия проекта элементы системы LVT:**

1 – базовые параметры блока, принятые к расчёту; 2 – изменены толщина и жёсткость упругой подкладки блока LVT (толщина увеличена на 25 %, жёсткость уменьшена на 25 %); 3 – масса блока LVT увеличена на 25 %; 4 – площадь опорения блока увеличена на 25 %.

$$E = \frac{2G(1 + \mu)K_{\Phi}}{0,25}; \quad (2)$$

$$Ж = \frac{ES_o}{h}, \quad (3)$$

где  $S_o$  – опорная площадь упругого элемента со стороны рифлей (при их наличии);  $G$  – модуль сдвига;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $K_{\Phi}$  – коэффициент формы упругого элемента.

Опирируя этими параметрами, можно добиться оптимальной эффективности применительно к конкретному случаю, так как собственная частота колебаний виброзащиты и её параметры рассеивания энергии колебаний полностью определяют передаточную функцию виброзащиты (характеристику изменения уровня вибраций в системе с виброзащитой относительно системы без неё):

$$w = 20 \cdot \log_{10} \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot k_{st} \cdot f}{f_0}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot k_{st} \cdot f}{f_0}\right)^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2}, \quad (4)$$

где  $w$  – передаточная функция;  $k_{st}$  – демпфирование;  $f_0$  – собственная частота колебаний системы;  $f$  – частота колебаний вынуждающей силы.

Можно рассматривать изменение массы блока LVT (за счёт применения раз-

личных типов бетона), изменение геометрии блока (увеличение опорной площадки блока LVT), изменение материала упругой подкладки блока и изменение толщины упругой подкладки блока. На рис. 3 показаны кривые эффективности виброзащиты  $w$  по отношению к типовой конструкции пути.

Из анализа представленных диаграмм видно, что кривые эффективности отличаются при применении различных конструкций виброзащиты не только уменьшением или увеличением уровня вибраций, но и частотами, на которых проявляются пиковые значения эффективности виброзащиты.

Следует обратить внимание и на состав частот, в которых эффективна или неэффективна виброзащита, ведь представляется возможным улучшить её работу не за счёт увеличения пикового значения эффективности, а за счёт «сдвига» кривой эффективности виброзащиты по горизонтали. Поэтому важен рациональный, обоснованный подбор параметров виброзащитных средств в каждом случае.

Наиболее эффективным по результатам проведённых расчётов показали себя изменение материала и толщины подкладки.

Ориентируясь на характеристики материала Sylomer, проведён расчёт с изме-



нением материала виброзащиты. Количественные значения не приводятся, на этом этапе используется оценка, позволяющая учесть степень разнообразия свойств существующих материалов. Так, для типовой линейки материала Sylomer, представленной на сайте производителя, модуль сдвига меняется в пределах от 0,03 до 0,9 (в 30 раз). Пропорционально  $G$  изменится  $E$  (2), а соответственно и  $J$  (3), определяющая собственную частоту колебаний.

В ходе операций максимумы отрицательной и положительной эффективности виброзащиты изменились всего лишь на 4 дБ и 1 дБ соответственно, максимум положительной эффективности увеличился на 3 дБ. На рис. 3 также видно, что в области частот выше 25 Гц эффективность виброзащиты возросла на всём отрезке рассматриваемых частот.

Очевидным является то, что уменьшение жёсткости виброзащитной системы, вследствие чего понижается собственная частота её колебаний и отдаляется от частот вынуждающей колебания силы, приведёт к увеличению эффективности виброзащиты.

Однако стоит отметить, что уменьшение жёсткости и увеличение толщины подкладки под блоком LVT увеличивает деформацию пути, и излишнее необоснованное изменение этих параметров может ухудшить учитываемые показатели.

Почеркнем: проводимый расчёт служит только для оценки характера изменений эффективности виброзащитной конструкции верхнего строения пути метрополитена и не согласуется с прочими эксплуатационными характеристиками пути (допустим представленное уменьшение жёсткости подкладки или увеличение её толщины может привести к нарушению норм деформативности пути).

## Выводы

Исходя из анализа вариантов рационального выбора параметров виброзащитной конструкции пути метрополите-

на, целесообразно разработать критерии и формализовать методику выбора наиболее приближенных к существующим требованиям параметров и выполнить количественные оценки для условий конкретных проектов.

Итогом должна стать методика, позволяющая учесть не только необходимость уменьшить уровень вибраций в диапазоне частот, характерном для рельсового транспорта, но и учитывать деформационные характеристики пути, особенности конструкции тоннеля и конструкций защищаемых зданий и сооружений, расположенных в зоне воздействия вибраций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чучула В. Шум и механические вибрации в метрополитенах – основные проблемы // Труды I-й международной конференции «Интерметро». – М.: МИИТ, 2015. – С. 11–15.
2. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог. – 2016. – № 7. – С. 16–25.
3. Титов Е. Ю., Пестрякова Е. А. Виброзащитные конструкции верхнего строения пути для метрополитенов в Казани: Сборник трудов. – Астрахань, 2012. – Т. 2. – С. 68–73.
4. Екимов Н. Н. Проектирование, строительство и эксплуатация верхнего строения пути метрополитена // Труды I-й международной конференции «Интерметро». – М.: МИИТ, 2015. – С. 3–4.
5. Курбацкий Е. Н., Титов Е. Ю., Емельянова Г. А., Рысаков Г. А. Эффективность виброзащитной конструкции железнодорожного пути в тоннеле под пл. Гагарина // Вестник МИИТ. – 2004. – Вып. 11. – С. 48–53.
6. Дорот Е. В., Романчева Т. Г., Никитин С. В. Перспективы использования подрельсового основания LVT при реконструкции и строительстве пути и стрелочных переводов в метрополитене // Труды I-й международной конференции «Интерметро». – М.: МИИТ, 2015. – С. 6–9.
7. Московский метрополитен. Уровень шума на станциях московского метро снизится на 8 децибел [Электронный ресурс]: <http://www.mosmetro.ru/press/news/2061/>. Доступ 14.07.2017.
8. Титов Е. Ю., Харитонов С. С. Тенденции применения виброзащитных решений для повышения качества жизни в рамках градостроительных задач // Труды международной научно-технической конференции «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного строительства». – М.: МИИТ, 2016. – С. 53–57.
9. Харитонов С. С. Выбор эффективных параметров виброзащитной конструкции пути метрополитена // Безопасность движения поездов: Сборник трудов. – М.: МИИТ, 2016. – С. II-112-II-113. ●

Координаты авторов: **Титов Е. Ю.** – [etitov80@gmail.com](mailto:etitov80@gmail.com), **Харитонов С. С.** – [mr.kharitonov.94@mail.ru](mailto:mr.kharitonov.94@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 05.10.2016. актуализирована 18.02.2017, принята к публикации 14.07.2017.



## RATIONAL CHOICE OF VIBRATION PROTECTION PARAMETERS OF THE METRO TRACK

*Titov, Evgeny Yu., JSC Russian Railways, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.  
Kharitonov, Sergey S., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

In the article the questions connected with the choice of rational parameters of the vibration protection structures of the metro track superstructure are considered. Results of an assessment of ways to increase the efficiency of vibroprotective properties of blocks LVT-M are given. Proposals are made to improve the

methodology for such an assessment, which should take into greater account the deformation characteristics of the track, the structural features of the tunnel and other structures in the metro zone. Particular emphasis is placed on the importance of using materials which dynamic stiffness is slightly higher than the static in the range of the studied frequencies of 2–63 Hz.

*Keywords:* vibration protection, track superstructure, metro, track stiffness, vibration isolation efficiency.

**Background.** An increased level of vibrations near the shallow tunnels of metro is one of the urgent problems of megacities [1]. Most often this threat arises for residential buildings located at a distance of less than 40 meters to the axis of the underground tunnel.

It is obvious that at the design stage we have the widest range of possibilities for solving the task of reducing vibration levels than after putting objects into operation, and the use of vibration protection structures in the metro and rolling stock with less dynamic impact on the track would significantly facilitate the life of people in the residential area, which gravitates towards the objects of the underground road.

However, it is often necessary to solve the problem with vibration protection designs directly to building projects, and this interferes with the creativity of architects and increases the cost of construction, although it is economically more advantageous to minimize the effects of the vibro-acoustic influence of metro directly in the source of vibrations.

In this case, artificially reducing the levels of vibrations and noise generated by metro trains, for territories along the routes, it is possible to expand the possibilities of their use in accordance with modern requirements of terraefficiency [2].

That is, other things being equal, a more effective way to solve the task is to isolate the source of vibration [8], especially at the design stage of metro, which makes it possible to avoid the need in the future to search for complex technical options to combat transport vibrations.

**Objective.** The objective of the authors is to consider the issues of rational choice of vibration protection parameters of the metro track.

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

**Results.** It should be noted that the cost of constructing a vibration-proof structure of the metro track superstructure is higher than the cost of constructing a standard structure. However, the use of vibration protection contributes to a reduction in operating costs, as evidenced by the use of vibration-proof rail fasteners, sub-ballast mats, LVT blocks and other means in the structures. In addition, the city has the opportunity to compensate for capital costs for the vibration protection of metro facilities by adding to the cost of land near the running tunnels the difference in costs for a standard design of the track superstructure and vibration-proof, taking into account the greater comfort of such land for development.

Now, when the coverage area of subsurface metro, and with it the zone of high vibrations is rapidly expanding and it is possible to prepare the territory in advance for the future development, it is advisable to expand the range of application of vibration protection structures of the track superstructure.

There is a large number of vibration protection means that meet modern requirements. In particular, such technologies are used to combat the increased level of vibration, such as the arrangement of vibration-proof rail pads vibro-protection plates, mats and systems consisting of several elements [3].

Each means of vibration protection has its own zone of positive efficiency [9] (the interval of vibration frequencies in which vibration protection lowers the level of oscillations) and the zone of negative efficiency (the interval of frequencies when vibration protection increases the level of vibration or does not change it). The presence of a zone of negative efficiency is associated with resonant phenomena that arise when the frequency of the oscillating force and the natural vibration frequency of the vibration protection means coincide.

At the same time, it is important to be able to adapt the characteristics of the vibration protection means for effective operation in each case.

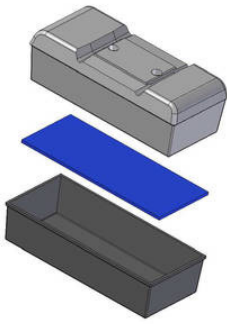
One of the vibration protection systems that allow varying and adjusting their characteristics in a fairly wide range is the track superstructure of LVT type (Low Vibration Track) [4, 6]. This system has great prospects in the domestic metro construction, having been tested on the railways of Russia (the first section with the use of LVT technology was opened in 2011); it is adapted to the conditions of the metro and is already being applied on several sections in Moscow and St. Petersburg.

LVT is a ballastless technology of laying a track, composed of half ties, laid in special vibration-proof covers and embedded in the concrete base (Pic. 1).

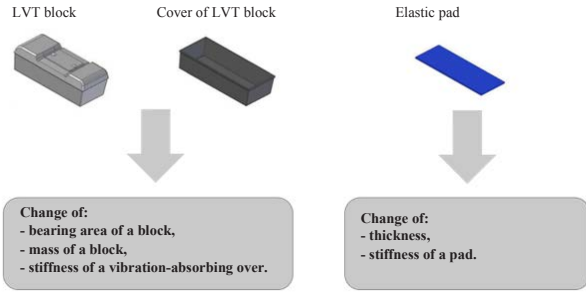
According to data provided by Moscow Metro [7], the term of service of LVT-tracks before overhaul should reach 40 years, while maintenance will cost 20 % less in comparison with service of standard designs, which makes this system competitive in terms of life cycle cost.

The authors analyzed the possible cases of the dynamics parameters of LVT using the example of LVT-M blocks (modification for metro) to determine the parameters that are most effective with respect to the influence of their changes on change of natural frequency oscillation of the block, and ease adjustment of these parameters. The calculation assumed the establishment of the ability to control





Pic. 1. Half tie.



Pic. 2. The elements of the LVT system that can be changed under the terms of the project.

the effectiveness of vibration protection for all blocks of LVT type.

Pic. 2 presents the considered options for changing the parameters of vibration protection and the element of the structure that they characterize.

The main characteristics for selecting the design of the vibration protection element from the point of view of its response to dynamic effects are mass and dynamic stiffness [5], since they determine the natural vibration frequency (f) of vibration protection:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{M}}, \quad (1)$$

where S – stiffness of the system; M – mass of the system.

Variations in stiffness of the vibration protection of LVT-type blocks can be achieved by changing the material properties (E – modulus of elasticity) and the geometry (S<sub>o</sub>, h) of the elastic pad under the block:

$$E = \frac{2G(1+\mu)K_f}{0,25}; \quad (2)$$

$$S = \frac{ES_o}{h}, \quad (3)$$

where S<sub>o</sub> – reference are of an elastic element from the side of the ruffles (if any); G – shear modulus;

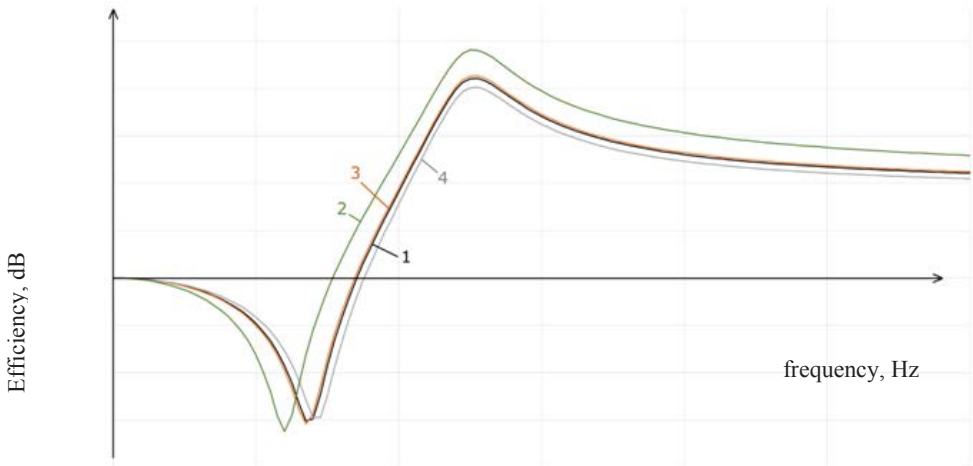
μ – Poisson ratio; K<sub>f</sub> – coefficient of form of the elastic element.

Using these parameters, it is possible to achieve optimal efficiency in relation to a particular case, since the natural oscillation frequency of vibration protection and its vibration energy dissipation parameters completely determine the vibration protection transfer function (characteristic of the vibration level change in the system with vibration protection with respect to the system without it):

$$w = 20 \cdot \log_{10} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{2 \cdot k_{si} \cdot f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2} + \left(\frac{2 \cdot k_{si} \cdot f}{f_0}\right)^2}, \quad (4)$$

where w – transfer function; k<sub>si</sub> – damping; f<sub>0</sub> – natural oscillation frequency of the system; f – oscillation frequency of the driving force.

The article considers the change in the weight of the LVT block (due to the use of various types of concrete), the change in the block geometry (an increase in the LVT block support point), the change in the material of the elastic pad of the block, and the change in the thickness of the elastic pad of the block. Pic. 3 shows the vibration



Pic. 3. Elements of the LVT system that can be changed under the project conditions: 1 – basic block parameters accepted for calculation; 2 – the thickness and stiffness of the elastic pad of the LVT block were changed (the thickness was increased by 25 %, the stiffness was reduced by 25 %); 3 – weight of the LVT block is increased by 25 %; 4 – the block support area is increased by 25 %.

efficiency curves with respect to the typical track design.

As follows from the analysis of the given diagrams, efficiency curves differ when applying different vibration protection designs not only in reduction or increase in the vibration level, but also in frequencies, on which peak values of vibration protection efficiency emerge.

It is necessary also to pay attention to the content of frequencies, in which vibration protection is efficient or non-efficient, since it seems possible to improve its work not at the expense of increase of peak value of efficiency, but due to «shift» of efficiency curve of vibration protection horizontally. Therefore rational, sound selection of parameters of vibration protection means in each particular case is important.

According to the calculations, change of material and thickness of a pad is the most efficient.

Focusing on the characteristics of the material Sylomer, the calculation with the change of material of vibration protection was conducted. Quantitative values are not provided, at this stage an assessment is used, which allows to take into account the degree of variety of properties of existing materials. Thus, for a typical series of the material Sylomer, presented on the website of the manufacturer, shift modulus changes within the range from 0,03 to 0,9 (30 times). In proportion to  $G$  (2) will change and, correspondingly,  $S$  (3), determining natural oscillation frequency.

In course of the operations the maximums of negative and positive efficiency of vibration protection changes only by 4 dB and 1 dB, respectively, the maximum of positive efficiency increased by 3 dB. It is seen on Pic.3 also that in the frequency range over 25 Hz efficiency of vibration protection increased on the entire section of the considered frequencies.

It is obvious that the reduction of stiffness of vibration protection system, as a result of which natural oscillation frequency decreases and moves away from the oscillation driving force, will lead to increase in vibration protection efficiency.

However it should be noted that reduction of stiffness and increase in the thickness of the pad under LVT block increases the track deformation and unnecessary ungrounded change of these parameters can worsen the accountable indicators.

Let's stress: the conducted calculation serves only for the purpose of assessment of the nature of changes of efficiency of vibration protection construction of the metro track superstructure and is not consistent with other operational characteristics of the track (suppose the given reduction of stiffness of the pad or increase of its thickness can lead to violations of the norms of track deformability).

**Conclusions.** Proceeding from the analysis of options of rational choice of parameters of vibration protection structure of the metro track, it is expedient to develop criteria and formalize the methodology of the choice of the parameters, the closest to the existing requirements, and conduct quantitative assessment for the conditions of certain projects.

The outcome should be the method, which allows to take into account not only the need to reduce the vibration level in the frequency range, which is characteristic of the rail transport, but also to take into account deformative characteristics of the track, features of the tunnel design and the design of the protected buildings and structures, located in the zone of vibration influence.

## REFERENCES

1. Chuchula, V. Noise and mechanical vibrations in metro – main problems [*Shum i mehanicheskie vibracii v metropolitenah*]. *Proceedings of I International conference «Intermetro»*. Moscow, MIIT, 17–18 December 2015, pp. 11–15.
2. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Methodology of assessment and provision of efficiency of innovative transport systems [*Metodologiya ocenki i obespecheniya effektivnosti innovatsionnykh transportnykh sistem*]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2016, Iss. 7, pp. 16–25.
3. Titov, E. Yu., Pestryakova, E. A. Vibration protection structure of the track superstructure for metro in Kazan: Collection of works [*Vibrozashchitnye konstrukcii verhnego stroeniya puti dlya metropolitenov v Kazani: Sbornik trudov*]. Astrakhan, 2012, Vol. 2, pp. 68–73.
4. Ekimov, N. N. Design, construction and operation of metro track superstructure [*Proektirovanie, stroitelstvo i ekspluatatsiya verhnego stroeniya pui metropolitena*]. *Proceedings of I International conference «Intermetro»*. Moscow, MIIT, 17–18 December 2015, pp. 3–4.
5. Kurbatsky, E. N., Titov, E. Yu., Emelyanova, G. A., Rysakov, G. A. Efficiency of vibration protection structure of a railway track under Gagarin square [*Effektivnost' vibrozashchitnoi konstrukcii zheleznodorozhnogo puti v tonnele pod pl. Gagarina*]. *Vestnik MIIT*, 2004, Iss. 11, pp. 48–53.
6. Dorot, E. V., Romancheva, T. G., Nikiin, S. V. Prospects of use of the under-rail base LVT during reconstruction and construction of a track and turnout switches in metro [*Perspektivy ispol'zovaniya podrel'sovogo osnovaniya LVT pri rekonstrukcii i stroitel'stve puti i strel'nykh perevodov v metropolitene*]. *Proceedings of I International conference «Intermetro»*. Moscow, MIIT, 17–18 December 2015, pp. 6–9.
7. Moscow Metro. Noise level at the stations of Moscow Metro will decrease by 8 dB, 2017 [*Moskovskiy metropolitan. Uroven' shuma na stantsiyah moskovskogo metro snizitsya na 8 decibelov, 2017*]. [Electronic resource]: <http://www.mosmetro.ru/press/news/2061/>. Last accessed 14.07.2017.
8. Titov, E. Yu., Kharitonov, S. S. Trends of use of vibration protection solutions to improve quality of life within town-construction tasks [*Tendencii primeneniya vibrozashchinyh reshenii dlya povysheniya kachestva zhizni v ramkah gradostroitel'nykh zadach*]. *Proceedings of International scientific-technical conference «Trends, problems and prospects of development of underground construction»*. Moscow, MIIT, 2016, pp. 53–57.
9. Kharitonov, S. S. Choice of efficient parameters of vibration protection structure of metro track [*Vybor effektivnykh parametrov vibrozashchitnoi konstrukcii metropolitena*]. *Train traffic safety: Collection of works*. Moscow, MIIT, 2016, pp. II-112-II-113. ●

Information about the authors:

**Titov, Evgeny Yu.** – Ph.D. (Eng), academic secretary of Joint scientific council of JSC Russian Railways, associate professor at the department of Bridges and tunnels of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, etitov80@gmail.com.

**Kharitonov, Sergey S.** – Ph.D. student at the department of Bridges and tunnels of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, mr.kharitonov.94@mail.ru.

Article received 05.10.2016. revised 18.02.2017, accepted 14.07.2017.





## АЭРОФЛОТ В ТОП-20 КРУПНЕЙШИХ АВИАКОМПАНИЙ МИРА

Аэрофлот достиг важнейшего стратегического рубежа и официально вернулся в глобальную элиту гражданской авиации. По данным авиационного издания *Airline Business*, одного из самых влиятельных в мире, Группа «Аэрофлот» по итогам 2016 года вышла на 18-е место по пассажиропотоку среди авиаперевозчиков всего мира.

Кроме того, группа заняла 20-е место в общемировом списке по выполненному пассажирообороту.

Таким образом, Аэрофлот со значительным опережением выполнил ключевую задачу своей стратегии развития до 2025 года – войти в топ-20 глобальных авиаперевозчиков по количеству перевезённых пассажиров.

Публикуя эти данные, авторитетное издание подчеркивает их прорывный характер и значительное улучшение состояния российского рынка авиаперевозок. Как отмечает *Airline Business*, «российские перевозчики продемонстрировали блестящее возвращение к прибыльности после удара, нанесенного колебаниями валютного курса

и геополитическими вызовами». Ярким примером этого разворота назван Аэрофлот, который показал в 2016 году существенную чистую прибыль после убытка годом ранее.

В целом в мире количество перевезенных авиапассажиров возросло в 2016 году примерно на 6 % и составило около 3,4 млрд человек, сообщает издание. Группа «Аэрофлот» продемонстрировала рост на 10,3 %, т.е. наращивала пассажиропоток темпами почти вдвое выше общемировых.

«Сегодня мы имеем возможность с гордостью объявить гражданам России и всему миру о том, что Аэрофлот официально возвратился в мировую элиту пассажирской авиации, – заявил генеральный директор ПАО «Аэрофлот» Виталий Савельев. – Спустя почти 30 лет мы восстанавливаем позиции одного из самых мощных игроков глобальной отрасли».

По сообщению пресс-службы  
ПАО «Аэрофлот» ●

## AEROFLOT IN THE TOP 20 OF COMPANIES ACCORDING TO PASSENGER TRAFFIC

Aeroflot has achieved a key strategic milestone and has once again occupied a spot among the world's top 20 leading airlines by passenger traffic, returning to this group for the first time in nearly thirty years. According to data compiled by *Flight Airline Business*, an authoritative aviation publication, Aeroflot Group in 2016 ranked 18<sup>th</sup> among global carriers in terms of passengers carried during the year.

In addition, the Group was ranked 20<sup>th</sup> in the world in terms of traffic as measured by revenue passenger kilometres.

These achievements mean that Aeroflot has delivered on one of the key strategic targets of its 2025 Strategy – to become one of the top-20 global airlines by passenger traffic – significantly ahead of schedule.

In its analysis of the ranking, *Flight Airline Business* underscored the breakthrough character of Aeroflot's achievement amidst a challenging

backdrop. The publication wrote, «Russian operators enjoyed a bright return to profits, after the exchange rate and geopolitical challenges that hit carrier fortunes <...> Aeroflot, for example, turned a net loss of Rb 6,5 billion (\$108 mln) in 2015 to a profit of Rb 38,8 billion last year».

Passengers carried globally increased by 6 % year-on-year in 2016, reaching 3,4 bln persons, according to the publication. Aeroflot Group saw passenger traffic increase by 10,3 % in the same period, nearly twice the pace of global growth.

Aeroflot CEO Vitaly Saveliev said: «Today we can proudly announce to citizens of Russia and the entire world that Aeroflot is officially back among the global passenger airline elite. After nearly 30 years we have regained our position as one of the strongest players in our sector globally».

According to Aeroflot press release ●

# T

## ЛИНИЯ ЖИЗНИ 238

*Профессор, начинавший  
кочегаром на Турксибе.*



## ПРЕСС-АРХИВ 249

*Пока в Багдаде готовятся,  
в Гималаях дорога уже  
действует... О чем писали  
110 лет назад.*



## LIFE ROUTE 238

*Professor who began his career  
as fireman on Turksib  
Railroad.*



## MEDIA ARCHIVES 249

*While they are still preparing  
in Bagdad, the Himalayan road  
is ready... The news topics  
as they were 110 years ago.*



КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL





# Воспоминания бывшего кочегара паровоза



Евгений КУРБАЦКИЙ

Evgeny N. KURBATSKY

## Memories of a Former Steam Locomotive Fireman

(Текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 244)

**Автор статьи давно занимается транспортными подземными сооружениями, в частности, исследует «поведение» тоннелей в зонах сейсмической активности. Но начинал профессор Курбацкий с работы обыкновенным кочегаром у паровозной топки. Сегодня мало кто знает о тонкостях этой профессии, без которой не обошелся ни один железнодорожный состав, во главе которого стоял паровоз. Работа кочегаром требовала очень хорошей физической подготовки и сноровки. Помимо постоянной заброски в топку угля, кочегар должен был на каждой станции принимать жезл. Такая процедура обеспечивала нахождение на станции только одного поезда. Иногда это делалось на полном ходу. На всех остановках в любое время суток кочегар был обязан смазывать буксы мазутом, заправлять паровоз водой. О том первом и далёком этапе своей железнодорожной жизни нынешний доктор наук вспоминает с особой теплотой, как и положено потомственному транспортнику.**

*Ключевые слова:* история, железная дорога, паровоз, жезл, букса, кочегар, воспоминания.

*Курбацкий Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры мостов и тоннелей Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.*

**П**ри чтении заголовка и авторского представления у читателя может возникнуть вопрос: при чём тут кафедра «Мосты и тоннели» и воспоминания кочегара паровоза? Ответ. Как следует из первой записи в моей трудовой книжке от 13/IV/1959 года, я был принят на должность кочегара паровозного депо станции Алма-Ата. За два месяца до этого я закончил тепловозное отделение железнодорожного техникума. В алма-атинское депо должны были в ближайшее время поступать тепловозы, но все перевозки выполнялись ещё паровозами. В то время для грузовых поездов использовались паровозы серии СО, а при выполнении маневровых работ – паровозы марки ОВ. Для пассажирских перевозок применялся паровоз серии СУ, один из лучших в то время, хотя и был спроектирован в 1925 году.

Мне была предложена должность кочегара пассажирского паровоза СУ. Когда я первый раз поднялся в его кабину, машинист спросил: «Где ты учился, какое у тебя образование?» (машинист и помощник окончили двухгодичные железнодорожные училища). Когда я ответил, что окончил техникум, машинист выругался и сказал: «Ну, вот, прислали учёного! А ты лопату



Рис. 1. Паровозы СО и ОВ. Музейные экспонаты.

когда-нибудь в руках держал?». Я ответил, что много раз копал огород. Машинист усмехнулся и, немного успокоившись, дал мне совковую лопату кочегара. Она меня, конечно, удивила, так как её размеры в два раза превосходили размеры обычных лопат.

Бригада, управляющая паровозом, состоит из трёх человек: машиниста, помощника машиниста и кочегара [1]. В замечательной русской народной песне о кочегаре поётся:

*Товарищ, я вахты не в силах стоять, —  
Сказал кочегар кочегару, —  
Огни в моих топках совсем не горят,  
В котлах не сдержать мне уж пару.*

Эта песня о кочегаре паровоза. На паровозах кочегары не бросают уголь в топку. Топку паровоза топит помощник, поскольку это очень сложное дело и выполнять его может только опытный работник, знающий рельеф трассы. В котле необходимо поддерживать давление пара до 12 атмосфер. Причём такое максимальное давление нужно создавать перед подъёмами для увеличения силы тяги, при спусках в таком давлении нет никакой нужды. И если в котле из-за сильного жара в топке создаётся повышенное давление, срабатывает аварийный клапан и сбрасывает пар в атмосферу, уменьшая давление до безопасного. От величины давления зависит сила тяги. Поддерживать должное давление при разной силе тяги большое искусство.

Дверцы топки обычно находятся в закрытом состоянии и автоматически раздвигаются помощником машиниста с помощью педали, которую он нажимает, когда подносит лопату с углём к топке [2].

Какие же обязанности выполнял кочегар?

**Первая и главная обязанность.** Кочегар перебрасывает уголь из тендера в лоток, специальный ящик перед топкой, и смачивает его водой в определённой пропорции. Лоток располагался перед топкой на расстоянии, удобном для помощника машиниста, чтобы он смог одним движением набрать полную лопату угля и забросить в топку. Топки имели большие размеры, а уголь необходимо было раскидывать ровным равномерным слоем. В начале поездки, когда тендер полон угля, кочегару надо было только подгрести его к лотку. К концу поездки, после того как было израсходовано почти 10 тонн угля, надо было перекидывать топливо со середины тендера.

**Вторая обязанность.** При проследовании станции или разъезда без остановки предстояло на ходу поменяться жезлами с дежурным по станции. В то время участок Казахской железной дороги (бывший Турксиб), на котором я работал, был однопутным и не оборудованным диспетчерской централизацией. Безопасность движения при отсутствии светофоров обеспечивалась электрожелезнодорожной системой. Жезл являлся металлическим «до-



Рис. 2. Паровоз СУ.





**Рис. 3. Топка паровоза в открытом и раскрывающемся состоянии.**

кументом», позволявшим машинисту занять перегон.

Машинист локомотива получал жезл от дежурного по станции отправления и был обязан передать жезл дежурному по станции прибытия. Машинист обязан убедиться в принадлежности жезла к перегону, на который отправляется поезд. Дежурный по станции прибытия, получив жезл, вращением рукоятки индуктора посылает электрический ток в аппарат станции отправления, давая разрешение на занятие перегона следующим поездом.

Из жезлового аппарата можно было вынуть только один жезл, что обеспечивало на перегоне только одного поезда. Жезл представляет собой металлический цилиндр с выступами в виде колец, препятствующими извлечению из аппара-

та. Для каждого перегона формы колец разные, что исключало возможность использования жезлов с другого перегона.

На рис. 4 представлены фотографии типового жезлового аппарата, момент установки дежурным по станции жезла в жезлодержатель и жезлодержатель с закрепленным в нём жезлом. Для обмена жезлами без жезлодержателей требуется остановиться, что существенно замедляет движение. Поэтому для этой операции на ходу использовались жезлоподаватели.

Жезлоподаватели, представляющие собой проволочные кольца диаметром 30–50 сантиметров на длинной ручке с пружинным держателем, позволяли организовать безостановочное сквозное проследование станции поездами. Кочегар на ходу подвешивал свой жезлоподаватель с жезлом от предыдущего перегона на специальный столб, стоящий на междупутье, и затем подхватывал жезлоподаватель с жезлом для следующего перегона у дежурного. Для передачи на движущийся локомотив дежурный по станции заблаговременно закреплял жезл в жезлоподавателе и, стоя рядом с путями, на вытянутой руке протягивал его кочегару паровоза.

Жезл передавался машинисту. Машинист читал название перегона, выбитого на нём, и если жезл соответствовал следующему перегону, продолжал движение.

Существовало простое правило безопасности при ловле жезлодержателей: большой палец руки надо было зажимать в кулаке, чтобы не выбить его металлическим кольцом. Кроме того, рекомендовалось становиться на нижней ступеньке подножки,

**Рис. 4. Жезловой аппарат и жезлодержатели с жезлом.**





крепко одной рукой держаться за поручень и не отклоняться сильно от паровоза. При подхватывании жезлодержателей при большой скорости на плечах появлялись синяки, поэтому предлагалось перед передачей жезла надевать телогрейку, но обычно этого никто никогда не делал из-за жары.

Обмен жезлами требует определённой сноровки. Если на ходу обменяться не удаётся, машинист включает экстренное торможение, останавливает поезд, кочегар спрыгивает с подножки и бежит назад к дежурному, а дежурный бежит за поездом. У меня был только один такой случай. Дежурный стоял на большом расстоянии от проходящего поезда, и я не смог дотянуться до жезлодержателя. Пришлось спрыгнуть с подножки и бежать к дежурному. Когда я отдавал принятый у дежурного жезл, машинист обругал меня, но не за то, что я не смог подхватить жезл (машинист видел — это была не моя вина), а за то, что спрыгнул с поезда на большой скорости.

В последние для старой практики годы, перед заменой электрожезловой системы диспетчерской централизацией, на отечественных железных дорогах было изобретено несколько видов механических жезлообменивателей, упрощавших процесс передачи на ходу поезда.

На рис. 5 представлены схематические изображения таких устройств. Один жезлообмениватель прикреплялся к столбу

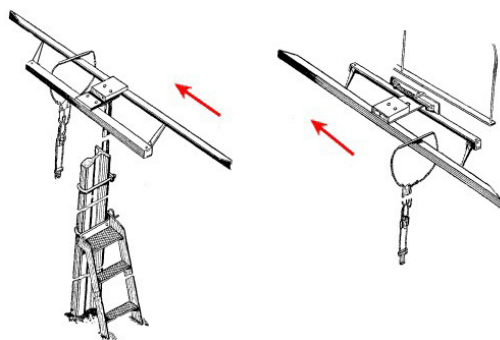


Рис. 5. Схема механических жезлообменивателей [3].



Рис. 6. Стрелочный перевод.

в междупутье, другой под окном кабины машиниста. Однако широкого распространения эти устройства не получили. Поэтому на паровозах жезлы сбрасывали и ловили кочегары, а на тепловозах и электровозах помощники машинистов.



Рис. 7. Входные семафоры: закрытый и открытый для проследования на боковой путь.



Рис. 8. Типичная маслѐнка для смазки букс паровоза и тендера.

Обычно кочегар готовился к передаче жезла, когда поезд проходил входные семафоры. В то время перед входом на станции и разъезды стояли семафоры, а на входе стрелочные переводы, которые переводились вручную стрелочниками, дежурившими рядом в специальных будках.

При горизонтальном положении крыла семафора (закрытый семафор) необходимо было перед ним остановиться, что соответствовало красному сигналу. При открытых двух крыльях следовало сбавить скорость, так как поезд принимался на боковой путь, при открытом одном крыле — на прямой путь.

**Третья обязанность кочегара.** Практически на каждой остановке предстояло смазывать буксы мазутом. В то время в буксах паровозов и вагонов использовались подшипники скольжения, которые в том нуждались. Для этой цели применялись специальные маслѐнки с удлинѐнным носиком, проволочный крючок для открывания крышек букс и в ночное время факел. Факел состоял из куска проволоки длиной 40–50 см, на конец которой наматывался кусок пакли, смоченной в мазуте. Без него было не обойтись из-за того, что обычно на разъездах и станциях вдали от платформ отсутствовало освещение.

Наиболее неудобно было смазывать ведущие колѐса (самые большие на рис. 2), их буксы находились внутри за колѐсами для обеспечения движения дышел, и носик маслѐнки приходилось просовывать между



Рис. 9. Положение колонки в нерабочем состоянии.

спицами. Ведущее дышло передаѐт усилие от поршня на палец кривошипа ведущего колеса и сообщает ему вращательное движение. От ведущего колеса это усилие распределяется по остальным движущим колѐсам через сцепные дышла. Так как дышла расположены с внешних сторон колѐс, то буксы располагаются внутри за ними [4].

**Другие обязанности кочегара.** Паровоз расходует много воды, поэтому на промежуточных станциях через 50–70 км в междупутье располагались мощные гидравлические колонки, производительность которых составляла 5–8 м<sup>3</sup> в минуту [5]. Кочегар, находясь на тендере, поворачивал хобот колонки до совпадения с люком бака тендера. Обычно заправка водой продолжалась 10–15 минут, что учитывалось при составлении расписания движения поездов.

По прибытии в оборотное депо кочегар помогал помощнику машиниста чистить топку и удалять золу в ямы на междупутье в специально отведѐнных местах.

В оборотном депо бригада отдыхала несколько часов (обычно 3–5). Затем отправлялась в обратный путь на своём же паровозе. Подменных бригад для возвращения в основное депо не было. Пока бригада отдыхала, паровоз продолжали отапливать дежурные кочегары. В этих случаях топки никогда не гасили, поскольку для разогрева паровоза нужно как минимум 4–5 часов.

Работал кочегаром я недолго — менее полугодом. За это время совершал поездки от станции Алма-Ата до станции Отар — около 160 км и до станции Сары Озек — около 220 км. Машинист нашей бригады трудился последний год перед уходом на пенсию и имел квалификацию первого класса, поэтому нам позволялось водить любые поезда: скорые, пассажирские и почтовые. Тогда от станции Алма-Ата отправлялись скорые поезда до Москвы, Ташкента и Новосибирска, пассажирские и почтовые — до Сталинабада (нынешний Душанбе), Фрунзе (нынешний Бишкек) и Новосибирска.

От Алма-Аты до Отара (в направлении Москвы) дорога проходила по равнинной местности на некотором расстоянии от предгорий Тянь-Шаня. За время маршрута необходимо было подготовить для помощника машиниста, т.е. перекидать из тендера в лоток, около шести тонн угля. При вождении поездов в направлении Новосибирска первые шестьдесят километров до станции Или, расположенной на берегу одноимённой реки, достаточно было подготовить всего один лоток, ибо трасса шла с небольшим уклоном, и расход топлива оказывался невелик. Зато после реки Или начинался крутой подъём, который продолжался почти сотню километров, и отдыхать можно было только урывками. Следует отметить, что сиденье кочегара на тех паровозах крепилось к кабине, а спинка к тендеру, поэтому опираться на спинку при движущемся локомотиве практически не удавалось. Другое неудобство, которое не учли конструкторы, это отсутствие туалета. На такие пустяки мало кто тогда обращал внимание.

Несмотря на довольно тяжёлый и интенсивный труд, на ночные поездки, об этом времени остались очень добрые воспоминания. С машинистом и помощником машиниста мы стали хорошими друзьями. Они многому меня научили.

И ещё один момент. В первую мою поездку меня вызвали в день рождения, когда мне исполнилось 20 лет, 1 мая 1959 года. Когда я надел кочегарскую, бывшую в употреблении замасленную одежду, другой в то

время не выдавали, и вышел из дома, направляясь в депо, моя мама заплакала. А отец, работавший в то время заместителем начальника службы пути Казахской железной дороги, одобрительно покачал головой. Сын продолжал семейную традицию, начинал теперь уже свою биографию железнодорожника.

\*\*\*

И в заключение хочу сказать, что паровоз является одним из уникальных технических творений человечества. В течение почти 150 лет все перевозки на железнодорожном транспорте выполнялись паровозами. Ввиду их малого коэффициента полезного действия и низкой экономичности по сравнению с новой техникой производство паровозов в нашей стране прекратилось в 1956 году, но эксплуатация их продолжалась ещё некоторое время.

Производство паровозов в России началось приблизительно за 50 лет до основания МИИТ. К XX столетию отечественные железные дороги полностью освободились от иностранной зависимости в области паровозостроения, поэтому можно полагать, что и первые институтские выпускники-паровозники работали уже на родных паровозах [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Профессия. Кочегар паровоза. [Электронный ресурс]: <http://www.rzdvtv.ru/2015/10/21/professiya-kochegar-parovoza/>. Доступ 16.08.2017.
2. Как устроен и работает паровоз. [Электронный ресурс]: <https://www.drive2.ru/b/2837566/>. Доступ 16.08.2017.
3. Вахнин М. И., Влодавский М. И., Ильенков В. И., Котляренко П. Ф., Майшев П. В. Автоматика и телемеханика на перегонах / Под общей редакцией проф. М. И. Вахнина. — М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1957. [Электронный ресурс]: <http://scbist.com/poisk-dokumentacii/25257-mehaničeskii-zhezloobmenivatelnosonenko-4.html>. Доступ 16.08.2017.
4. Забытые профессии. [Электронный ресурс]: [http://www.rzd-expo.ru/history/little\\_known\\_facts/zabytye-professii/](http://www.rzd-expo.ru/history/little_known_facts/zabytye-professii/). Доступ 16.08.2017.
5. ППБО-109–92 Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, 1994. [Электронный ресурс]: <http://files.stroyinf.ru/Data1/5/5054/>. Доступ 16.08.2017.
6. О паровозах и паровозных бригадах Рязанско-Уральской железной дороги. [Электронный ресурс]: [http://www.ruzgd.ru/locomot\\_engineer.shtml](http://www.ruzgd.ru/locomot_engineer.shtml). Доступ 16.08.2017.

Координаты автора: Курбацкий Е. Н. — [usd.miiit@gmail.com](mailto:usd.miiit@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 11.07.2017, принята к публикации 16.08.2017.



## MEMORIES OF A FORMER STEAM LOCOMOTIVE FIREMAN

*Kurbatsky, Evgeny N., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

The author of the article has been dealing with transport underground facilities for a long time; in particular, he studies the «behavior» of tunnels in zones of seismic activity. But professor Kurbatsky began his work as an ordinary fireman at a locomotive furnace. Today, very few people know about the intricacies of this profession, without which no railway train, headed by a locomotive, could do. The work of a fireman required very good physical training and

skill. In addition to the constant casting of coal into the furnace, the fireman had to take a staff at each station. This procedure ensured the presence of only one train at a station. Sometimes this was done at full speed. At all stops at any time of the day a fireman was obliged to lubricate axle boxes with fuel oil, to fill a locomotive with water. About this first and distant stage of his railway life, the current doctor of science recalls with particular warmth, as it should be for a hereditary transport worker.

*Keywords:* history, railway, steam locomotive, staff, axle box, fireman, memories.

*When reading the title and author's presentation, a reader may have a question: what is the relationship between the department of Bridges and Tunnels and the memories of the fireman of a locomotive? Answer. As follows from the first entry in my work records book dated 13/04/1959, I was accepted as a fireman of the locomotive depot of the station of Alma-Ata. Two months before that, I had graduated from the diesel locomotive department of the railway technical school. The Alma-Ata depot was due in the near future to receive diesel locomotives, but all transportation was carried out still by steam locomotives. At that time, steam locomotives of SO series were used for freight trains, and for shunting works – steam locomotives OV. For passenger transportation, locomotives of SU series were used, one of the best at that time, although it was designed in 1925.*

*I was offered a position of a fireman of a passenger steam locomotive SU. When I first climbed into its cabin, the driver asked: «Where did you study, what is your education?» (the driver and the driver's assistant graduated from two-year railway schools). When I answered that I had graduated from a technical school, the engineer cursed and said: «Well, here they sent the scientist! Have you ever held a shovel in your hands?». I replied that I had many times to dig a vegetable garden. The engineer grinned and, having calmed down a bit, gave me a shovel of a fireman. Of course, it surprised me, because its dimensions were twice the size of ordinary shovels.*

*The crew that runs the locomotive consists of three people: a driver, a driver's assistant and a fireman [1]. In a wonderful Russian folk song about a fireman there are the following words:*

*Comrade, I cannot keep watch, –*

*Said one fireman to another, –*

*The lights in my furnaces do not burn at all,*

*I cannot keep steam in a boiler.*

*This song is about a fireman of a steamer. On locomotives firemen do not throw coal into a furnace. The locomotive furnace is stoked by a driver's assistant, as this is a very complicated task and it can be performed only by an experienced worker who knows the road's terrain. In a boiler it is necessary to maintain steam pressure up to 12 atmospheres. And this maximum pressure must be created before lifts to increase traction force, with descents in such pressure there is no need. And if in the boiler because of intense heat in the furnace increased pressure is created, the emergency valve is triggered and discharges the steam into the atmosphere, reducing the pressure to a safe. The traction force depends on the magnitude of pressure. It is a great art to maintain proper pressure with a different traction force.*

*The doors of the furnace are usually in a closed state and are automatically pushed apart by a driver's assistant with the help of a pedal, which he presses when he brings the shovel with coal to the furnace [2].*

*What duties did a fireman perform?*

**The first and the main duty.** *The fireman throws coal from the tender into a tray, a special box in front of the furnace, and wets it with water in a certain proportion. The tray was located in front of the furnace at a distance convenient for a driver's assistant so that he could pick up a full shovel of coal in one motion and throw it into the furnace. The furnaces were large, and coal had to be spread evenly. At the beginning of a trip, when the tender is full of coal, a fireman had*



**Pic. 1. Steam locomotives SO and OV. Museum exhibits.**



**Pic. 2. Steam locomotive SU.**

only to rake it up to a tray. By the end of a trip, after almost 10 tons of coal had been consumed, it was necessary to throw fuel from the middle of the tender.

**The second duty.** When a station or a crossing point was passed without stopping, it was necessary to exchange staffs with a station duty officer on the move. At that time, the section of the Kazakh railway (the former Turksib) on which I worked was single-track and not equipped with dispatching centralization. The safety of traffic in the absence of traffic lights was provided by the electric staff system. The staff was a metal «document», allowing the driver to occupy the haul.

The driver of the locomotive received a staff from the duty officer at the departure station and was obliged to pass the staff to the duty officer at the arrival station. The driver is obliged to make sure that the staff belongs to the haul at which the train departs. The duty officer at the arrival station, having received a staff, turns an electric current in the apparatus of the departure station by rotating the handle of the staff, giving permission for occupation of the haul by the next train.

From the staff apparatus it was possible to take out only one staff, which ensured the presence of only one train on the haul. The staff is a metal cylinder with protrusions in the form of rings, preventing removal from the apparatus. For each haul, the shape of the rings is different, which precludes the possibility of using staffs from another haul.

Pic. 4 presents photographs of a typical staff apparatus, the moment of installation of the staff by a station duty officer in a staff holder and a staff holder with a staff fixed in it. To exchange staffs without staff holders, it is necessary to stop, which significantly slows down the movement. Therefore, for this operation staff feeders were used on the move.

Staff feeders, which were wire rings with a diameter of 30–50 centimeters on a long handle with a spring holder, made it possible to organize a non-stop through movement of trains at the station. The fireman on the move suspended his staff feeder with a staff from the previous haul to a special post, standing on the cross-road and then picked up the staff feeder with a staff for the next haul from the station duty officer. For a transfer to a moving locomotive, the station duty officer fixed the staff in the staff feeder beforehand, and, standing next to the

tracks, reached it out to the fireman of the steam locomotive on his outstretched hand.

The staff was handed over to the driver. The driver read the name of the haul that had been knocked out on it, and if the staff corresponded with the next haul, continued movement.

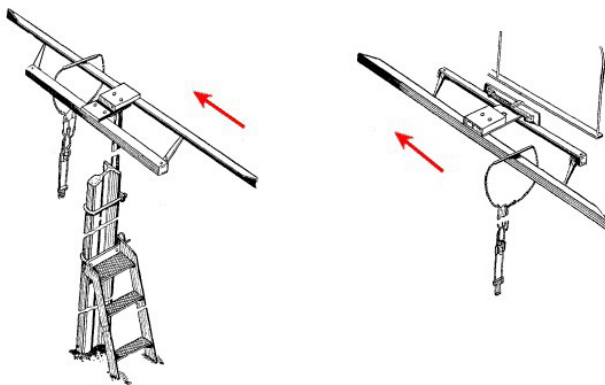
There was a simple rule of safety when catching staff holders: the thumb of the hand had to be clamped in the fist so as not to knock it out with a metal ring. In addition, it was recommended to stand on the bottom step of the footboard, firmly holding the handrail with one hand and not deviating strongly from the steam locomotive. When picking up staff holders at high speed, bruises appeared on the shoulders, so it was suggested to wear a quilted jacket before handing the staff, but usually nobody did it because of the heat.



**Pic. 3. Furnace of a steam locomotive in open and opening state.**



**Pic. 4. Staff apparatus and staff holders with a staff.**



Exchange of staffs requires a certain skill. If it is impossible to exchange on the move, the driver turns on an emergency braking, stops the train, the fireman jumps off the running board and runs back to the duty officer, and the duty officer runs after the train. I had only one such case. The duty officer stood at a great distance from the passing train, and I could not reach the staff holder. I had to jump off the running board and run to the duty officer. When I gave away the staff received from the duty officer, the driver scolded me, but not because I could not pick up the staff (the driver saw that it was not my fault), but for jumping off the train at high speed.

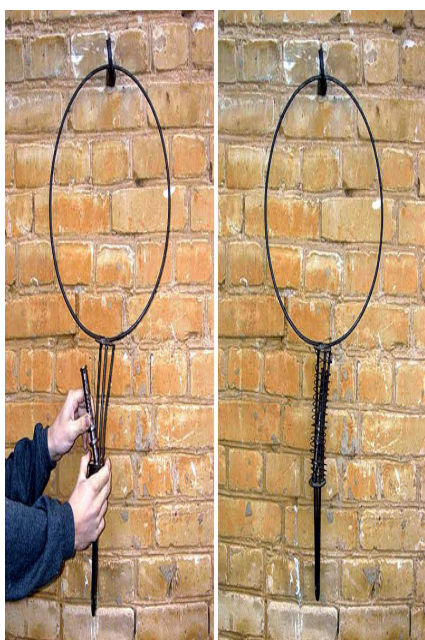
In the last years for the old practice, before replacement of the electric staff system by dispatching centralization, several types of mechanical staff exchangers were invented on the domestic railways, simplifying the process on the move of the train.

Pic. 5 shows a schematic representations of such devices. One staff exchanger was fixed to a post in the inter-track space, the other under the driver's cab window. However, these devices have not received wide distribution. Therefore, on locomotives, staffs were dropped and caught by firemen, and on steam locomotives and electric locomotives, the driver's assistants.

Usually a fireman was preparing to transfer the staff when the train passed the input semaphores. At that time, in front of the entrance to the stations and crossing points there were semaphores, and at the entrance there were switch turnouts, which were switched by hand by the switchmen, who were on duty in special booths.

With the horizontal position of the semaphore's wing (closed semaphore), it was necessary to stop before it, which corresponded to a red signal. When two wings were open, the speed should be slowed down, since the train was taken to a side track, with one wing open, on a straight track.

**The third duty of a fireman.** Almost at each stop it was necessary to lubricate axle boxes with fuel oil. At that time, in axle boxes of locomotives and cars, sliding bearings were used, which needed it. For this purpose, special oilers with an elongated spout, a wire hook for opening the covers of axle boxes and at night a torch were used. The torch consisted of a piece of a wire 40–50 cm in length, at the end of which a piece of tow was wetted, soaked in black oil. Without it, it was indispensable for the fact that usually there was no lighting at the crossing points and stations far from platforms.



**Pic. 5. Scheme of mechanical staff exchangers [3].**



Pic. 6. Turnout switch.

It was most uncomfortable to lubricate the driving wheels (the largest ones in Pic. 2), their axle boxes were inside the wheels to ensure movement of the connecting rod, and the nozzle of the oiler had to be pushed between the spokes. The drive connecting rod transmits the force from the piston to the crank pin of the driving wheel and imparts a rotational motion to it. From the driving wheel, this force is distributed over the remaining driving wheels through the connecting rod. Since the connecting rod is located on the outer sides of the wheels, the axle boxes are located inside them [4].

**Other duties of a fireman.** The steam locomotive consumes a lot of water, therefore at intermediate stations 50–70 km in the inter track space there were powerful hydraulic columns with a capacity of 5–8 m<sup>3</sup> per minute [5]. The stoker, being at the tender, turned the trunk of the column until it coincided with the hatch of the tender tank. Usually, the refueling lasted 10–15 minutes, which was taken into account when scheduling the trains.

Upon arrival at the transfer depot, the fireman helped the driver's assistant to clean the furnace and remove the ashes into the pits at the inter track space in specially designated areas.

In the transfer depot, the crew rested for several hours (usually 3–5). Then it set off on the return journey on the own locomotive. There was no replacement crew for return to the main depot. While the crew was resting, the steam locomotive was still heated by the firemen on duty. In these cases, the furnaces have never been extinguished, since at least 4–5 hours are needed to warm up the steam locomotive.

I worked as a fireman for a short time – less than six months. During this time I made trips from the station of Alma-Ata to the Otar station – about 160 km and to the station of Sary Ozek – about 220 km. The driver of our crew worked the last year before retiring and had the first class qualification, so we were allowed to drive any trains: speed, passenger and postal. Then speed trains to Moscow, Tashkent and Novosibirsk departed from the station of Alma-Ata, passenger and postal ones to Stalinabad (present Dushanbe), Frunze (present Bishkek) and Novosibirsk.

From Alma-Ata to Otar (in the direction of Moscow) the road passed along a flat terrain at some distance from the foothills of the Tien Shan. During the route it was necessary to prepare for the driver's assistant, i. e. from the tender to the tray, about six tons of coal. When driving trains in the direction of Novosibirsk, the first sixty kilometers to Ili station, located on the bank of the river of the same name, it was enough to prepare just one tray,



Pic. 7. Input semaphores: closed and open to move on a side track.





**Pic. 8. Typical oiler for lubrication of axle boxes of a steam locomotive and a tender.**



**Pic. 9. Column position in non-working condition.**

because the route came with a slight slope, and fuel consumption was low. But after Ili River, a steep climb began, which lasted almost a hundred kilometers, and you could rest only with snatches. It should be noted that the fireman's seat on those locomotives was fixed to the cabin, and the back to the tender, so it was practically impossible to lean on the back with the moving locomotive. Another inconvenience that designers did not take into account is the lack of a toilet. To such trifles, few people then paid attention.

Despite the rather heavy and intensive work, on night trips, very good memories of this time have remained. I became good friends with the driver and the driver's assistant. They taught me a lot.

And one moment. My first trip was called on my birthday, when I turned 20, May 1, 1959. When I put on fireman's, used oily clothes, the other at the time was not supplied, and left the house, heading to the depot, my mother cried. And my father, who at that time was deputy chief of the track service of the Kazakh Railway, shook his head approvingly. The son continued the family tradition, began now his biography of a railwayman.

\*\*\*

And in conclusion I want to say that the steam locomotive is one of the unique technical creations of mankind. For almost 150 years, all rail transportation was carried out by steam locomotives. In view of their low efficiency and low profitability in comparison with new technology, the production of steam locomotives in our country stopped in 1956, but their operation continued for some time.

The production of steam locomotives in Russia began approximately 50 years before the foundation of MIIT. By 20<sup>th</sup> century, domestic railways have

completely freed themselves from foreign dependence in the field of locomotive building, so we can assume that the first institute's graduates-steam locomotive workers worked already on their own locomotives [6].

## REFERENCES

1. Profession. Locomotive fireman [*Professija. Kochegar parovoza*]. [Electronic resource]: <http://www.rzdvt.ru/2015/10/21/professiya-kochegar-parovoza/>. Last accessed 16.08.2017.
2. How a steam locomotive works [*Kak ustroen i rabotaet parovoz*] [Electronic resource]: <https://www.drive2.ru/b/2837566/>. Last accessed August 16.08.2017.
3. Vakhnin, M. I., Vlodavsky, M. I., Ilienkov, V. I., Kotlyarenko, P. F., Maishev, P. V. Automation and remote control on hauls [*Avtomatika i telemekhanika na peregonah*]. Ed. by prof. M. I. Vakhnin. Moscow, State Transport Railway Publishing House, 1957. [Electronic resource]: <http://scbist.com/poisk-dokumentacii/25257-mehanicheckii-zhezloobmenivatel-nosonenko-4.html>. Last accessed 16.08.2017.
4. Forgotten professions [*Zabytye professii*]. [Electronic resource]: [http://www.rzd-expo.ru/history/little\\_known\\_facts/zabytye-professii/](http://www.rzd-expo.ru/history/little_known_facts/zabytye-professii/). Last accessed 16.08.2017.
5. PPBO-109–92 Rules for fire safety in railway transport [*PPBO-109–92 Pravila požarnoj bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte*]. Moscow, Transport publ., 1994. [Electronic resource]: <http://files.stroyinf.ru/Data1/5/5054/>. Last accessed 16.08.2017.
6. About steam locomotives and locomotive brigades of Ryazan-Ural railway [*O parovozah i parovoznyh brigadah Rjazansko-Ural'skoj zheleznoj dorogi*]. [Electronic resource]: [http://www.ruzgd.ru/locomot\\_engineer.shtml](http://www.ruzgd.ru/locomot_engineer.shtml). Last accessed 16.08.2017. ●

Information about the author:

**Kurbatsky, Evgeny N.** – D.Sc. (Eng), professor of the department of Bridges and Tunnels of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, [usd.miit@gmail.com](mailto:usd.miit@gmail.com).

Article received 11.07.2017, accepted 16.08.2017.





## ОТВЕЗИТЕ МЕНЯ В ГИМАЛАИ...

**Новое в железнодорожной политике Китая.** — По сообщению «The China Gazette», между китайским министерством иностранных дел и французским посланником возникли пререкания из-за вопроса о постройке железной дороги от Лян-Чжоу-Фу, близ Пакхоу, к Западной реке. Постройку этой дороги китайцы решили выполнять самостоятельно, вопреки договору, по которому постройка и эксплуатация этой линии должна производиться китайско-французской компанией. Далее, дворянство провинции Шень-Си и Ганьфу хлопочет о разрешении строить жел. дорогу Тай-Юань-Фу (Нань-Си) через Си-Ань-Фу (Шень-Си) в Лань-Чжоу-Фу (Тань-Су). Это вызвано обещанием вице-короля названных провинций передать концессию бельгийскому синдикату.

Один из китайских принцев задался целью во что бы то ни стало выкупить Пекин-Ханькоускую железную дорогу из рук франко-русско-бельгийского синдиката. Для платы ипотечного долга названной дороги требуется огромная сумма, которую его высочество предложил собрать с жителей островов южного Китая. Лицу, которое соберёт необходимый капитал, обещано исполнить титул герцога («Вестник Путей Сообщения», № 44, 3-го ноября 1907 г.).

**К вопросу о постройке Багдадской железной дороги.** — Английская печать в Индии придаёт большое значение приезду императора Вильгельма в Англию и высказывает мнение, что этот приезд может оказать большое влияние на разрешение вопроса о Багдадской железной дороге и об участии Англии в этой постройке. «Times of India», обсуждая этот вопрос, замечает, что предложения Германии об участии в постройке этой линии должны быть рассмотрены очень тщательно и беспристрастно. Старые условия, на которых предлагали Англии это участие, были нелепы. Газета говорит, что приемлемыми условиями были бы только такие, в которые входил бы английский

контроль над отделом линии между Багдадом и морем («СПБ. Ведом.», № 244, 3-го ноября 1907 г.).

**Цены на железнодорожный подвижной состав.** — Торгово-промышленная газета сообщает цены на подвижной состав, существующие в настоящее время на русских вагоно- и паровозостроительных заводах по заказам наших железных дорог. Нормальные товарные вагоны тормозные — 1.350 р., то же без тормоза — 1.165 р., платформы усовершенствованного типа тормозные — 1.366 р., то же без тормоза — 1.181 р., вагоны-ледники — 3.230 р., багажные вагоны — 6.692 р., пассажирские четырехосные вагоны 3-го класса — 12.800 р., товарные паровозы нормального типа (вес паровоза 2.922 п., вес тендера 1.159 п.) — 34.210 р., то же без тендера — 28.100 р., четырехосные пассажирские паровозы с четырехосным тендером (3.093 и 1.062 пуда) — 37.513 р., четырехосные пассажирские паровозы с четырехосным тендером (3.058 и 1.762 пуда) — 39.163 р., паровозы типа Китайской Восточной жел. дор. (4.005 и 1.115 пудов) — 45.100 р., пятиосные паровозы той же дороги (4.118 и 1.342 п.) — 19.577 р. и пятиосные паровозы «изменённого» типа той же дороги (4.118 и 8.342 п.) — 50.144 р. Последние цифры показывают, насколько крупные затраты требуются при усовершенствовании тяги железных дорог («Новый Край», № 237 от 6-го ноября 1907 г.).

К этому последнему указанию следовало бы, кажется, добавить: «Когда эти усовершенствования, будучи односторонними, игнорируют прогресс техники в других, даже родственных сферах и общую потребность уменьшения расходов. Желательно было бы иметь также цены на подвижной состав в пограничных с Россией странах».

**«Игрушечная» железная дорога на Гималаях.** — Жаркий климат долин Индостанского полуострова часто отражается весьма неблагоприятно на здоровье живущих здесь





европейцев; поэтому семьи живущих здесь англичан-чиновников и негоциантов, а также офицеры англо-индийской армии ищут удобных, более прохладных местностей, куда временами и удаляются для поправления здоровья. Такими местностями являются возвышенности Гималайских гор и в особенности — местечко Дар-Теелинг, называемый жемчужиной Гималаев. Возвышаясь на несколько тысяч метров над уровнем моря, около долины Ганга, недалеко от главных вершин Гималаев, Эвереста и Чинчин-чунгу, и представляя собой отличный курорт, Дар-Теелинг до сих пор был мало доступен для европейца, вследствие крутизны гор и примитивности способов передвижения.

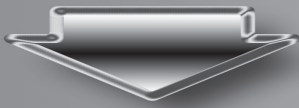
Англичане в последнее время задумали устранить это неудобство устройством железнодорожного сообщения между Дар-Теелингом и Силигвером — городом, расположенным у подошвы Гималаев, в долине Ганга. При постройке дороги, не преследующей коммерческих целей и потому не обещающей особенных доходов, нужно было соблюдать экономию. Поэтому английские инженеры, отказавшись от проектов дорогих горных линий швейцарского типа, придумали удешевлённую железную дорогу. Они выбрали для этой линии ширину колеи в два фута, с применением, однако, массивных рельсов, так что, несмотря на малую ширину колеи, оказалось возможным для тяги поездов применить довольно сильный паровоз. Соответственно миниатюрной ширине колеи, ва-

гоны также имеют малые размеры, почему и всю дорогу назвали «игрушечною» («Toy-Railway»): вагоны ниже человеческого роста и позволяют усесться на скамейке только трём пассажирам. К поезду прицепляется паровоз с машиною в 70 сил. Так как вагоны скреплены между собою так, что могут стать один к другому под любым углом, а оси расположены на близком расстоянии, то весь поезд может легко проходить по кривым весьма малого радиуса.

При сооружении полотна дороги инженеры совершенно отказались от устройства больших мостов и тоннелей. Линия идёт отчасти по караванной дороге, частью же по узкой тропинке, высеченной в склоне горы, и поезд по пути следования делает массу изгибов, поворотов и зигзагов. По словам очевидца — корреспондента газеты «Neue Freie Presse», путешествие по этой дороге доставляет любителю природы невыразимое наслаждение («Правит. Вестн.», № 250, от 17-го ноября 1907 г.).

*Колея в 2 фута ширины в действительности не представляет какого-либо нововведения для англичан. Достаточно вспомнить о Фестиньогской ж. дороге, построенной в 1832 году и описанной в «Железнодорожном Деле» в 1886 году, стр. 256 и 277. Она построена главным образом для перевозки плиты. Англичане богаче нас, но не брезгают и облегчёнными типами железных дорог, когда это представляется необходимым и достаточным.*

**(Железнодорожное дело. — 1908. — № 7. — С. 63). ●**



## TAKE ME TO THE HIMALAYAS...

**New in the railway policy of China.** – According to The China Gazette, disputes arose between the Chinese Ministry of Foreign Affairs and the French envoy over the construction of a railway from Liang-Chou-Fu, near Pakhoy, to the Western River. The Chinese decided to build this railway on their own, contrary to the contract, according to which the construction and operation of this line should be carried out by the Chinese-French company. Further, the nobility of the province of Shen-Xi and Ganfu bothers about the permission to build the railway Tai-Yuan-Fu (Nan-Si) through Si-An-Fu (Shen-Xi) to Lan-Chou-Fu (Tan-Su). This is due to the promise of the viceroy of these provinces to transfer the concession to the Belgian syndicate.

One of the Chinese princes set out to buy the Beijing–Hankow railway from the hands of the Franco-Russian-Belgian syndicate. To pay the mortgage debt of the named railway, a huge sum is required, which his Highness offered to gather from the inhabitants of the islands of southern China. A person who will collect the necessary capital is promised to procure the title of duke (*«Vestnik Putei Soobshcheniya»*, Iss. 44, November 3, 1907).

**On construction of the Baghdad railway.** – The English press in India attaches great importance to the arrival of Emperor Wilhelm in England and expresses the opinion that this visit can have a great influence on the resolution of the issues about the Baghdad railway and about the participation of England in this construction. *«Times of India»*, discussing this issue, notes that Germany's proposals for participation in the construction of this line should be considered very carefully and impartially. The old terms, under which the participation was offered to England, were ridiculous. The newspaper says that the only acceptable conditions would be those which would include English control over the section of the line between Baghdad and the sea (*«SPb. Vedomosti»*, Iss. 244, November 3, 1907).

**Prices for railway rolling stock.** – The Commerce and Industry Newspaper reports prices for rolling stock, which currently exist in Russian car and locomotive plants on orders of our railways. Normal freight cars with brake cost – 1.350 rubles, the same without a brake – 1.165 rubles, platform of the improved type brake – 1.366 rubles, the same without a brake – 1.181 rubles, refrigerator cars – 3.230 rubles, luggage cars – 6.692 rubles, passenger four-axle cars of the 3<sup>rd</sup> class – 12.800 rubles, goods locomotives of a normal type (weight of a locomotive 2.922 poods, weight of a tender 1.159 poods) – 34.210 rubles, the same without a tender – 28.100 rubles, four-axle passenger locomotives with a four-axle tender (3.093 and 1.062 poods) – 37.513 rubles, four-axle passenger locomotives with a four-axle tender (3.058 and 1.762 poods) – 39.163 rubles, locomotives of the type of Eastern Chinese railway (4.005 and 1.115 poods) – 45.100 rubles, five-axle locomotives of the same railway (4.118 and 1.342 poods) – 19.577 rubles and five-axle locomotives of the «changed» type of the same railway (4.118 and 8.342 poods) – 50.144 rubles. The latest figures show how large the costs are required in improving the traction of the railways (*«Noviy Krai»*, Iss. 237, November 6, 1907).

*This last instruction should, it seems, be added: «When these improvements, being one-sided, ignore the progress of technology in other, even related spheres and the general need to reduce costs. It would be desirable to have also the prices for rolling stock in the countries bordering with Russia».*

**«Toy» railway in the Himalayas.** – The hot climate of the valleys of the Hindustan Peninsula often affects very unfavorably the health of Europeans living here; therefore, the families of English-speaking officials and negotiants living here, as well as officers of the Anglo-Indian army, are looking for comfortable, cooler terrains, where sometimes they move to improve their health. Such places are the hills of the Himalayan mountains and in particular –





the place Dar-Teeling, called the pearl of the Himalayas. Rising several thousand meters above sea level, near the Ganges valley, not far from the main peaks of the Himalayas, Everest and Chinchin-chung, and being an excellent resort, Dar-Teeling has so far been little available to the European, due to the steepness of the mountains and the primitiveness of the modes of movement.

The British have recently decided to eliminate this inconvenience by arranging a railway connection between Dar Teeling and Siligver, a city located at the foot of the Himalayas, in the Ganges valley. When building a road that does not pursue commercial purposes and therefore does not promise special revenues, it was necessary to observe the savings. Therefore, the English engineers, abandoning the projects of expensive mountain lines of the Swiss type, came up with a cheaper railway. They chose a track width of two feet for this line, using, however, massive rails, so that, despite the small track width, it was possible to use a fairly strong locomotive for the traction of trains. In accordance with the miniature track width, the cars are also small in size, which is why they called the whole road «toy-railway»: the cars are lower than human height and only three passengers can sit on the

bench. To the train, a steam locomotive with a machine of 70 forces is coupled. Since the cars are fixed to each other so that they can become one to the next at any angle, and the axes are located at a close distance, the entire train can easily pass along curves of a very small radius.

When constructing the roadway, engineers completely abandoned the arrangement of large bridges and tunnels. The line goes partly along the caravan road, partly along a narrow path carved into the mountainside, and along the route the train makes a lot of bends, turns and zigzags. According to an eyewitness – a correspondent of the newspaper «Neue Freie Presse», traveling along this road delivers an unspeakable pleasure to the lover of nature («Pravit.Vestn.», Iss. 250, November 17, 1907).

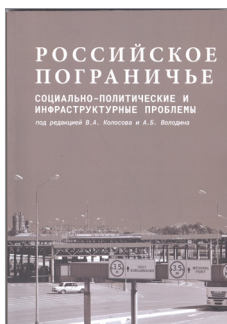
*The 2-foot-wide track in reality does not represent any innovation for the British. Suffice it to recall the Festiniog railway, built in 1832 and described in «Zheleznodorozhnoe delo» in 1886, pp. 256 and 277. It is mainly built for the transportation of the plate. The British are richer than us, but they do not disdain the lighter types of railways, when this seems necessary and sufficient.*

**(Zheleznodorozhnoe delo. – 1908. – № 7. – p. 63). ●**

# T

## ПРИГРАНИЧЬЕ 254

*География и политика:  
ориентиры транспортных  
коридоров.*



## АВТОРЕФЕРАТЫ 257

- Системы электрооборудования автомобилей.
- Экономика перевозок в контейнерных поездах.
- Тепловые нагрузки железнодорожного колеса.
- Маловентильные преобразования.
- Энергетическая эффективность электромобилей.
- Качество обслуживания грузовладельцев.

## НОВЫЕ КНИГИ 259

*Литература о транспорте,  
вышедшая в российских  
издательствах.*

## NEAR CROSS-BORDER AREA 254

*Geography and politics:  
guidelines for transport  
corridors.*

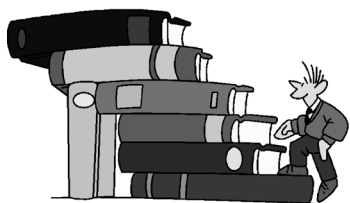
## SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D. THESES 257

- Systems of electric equipment of road vehicles.
- Economics of haulage in container trains.
- Thermal loads of a solid rail car wheel.
- Low-voltage converters.
- Power efficiency of electric vehicles.
- Quality of service for cargo owners.

## NEW BOOKS 259

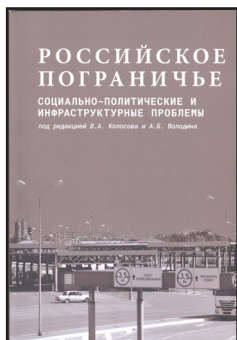
*New books on transport and  
transportation published in  
Russia.*

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS





# Трансграничная инфраструктура



*English text  
of the review  
of the book  
at p. 256*

**Российское пограничье: социально-политические и инфраструктурные проблемы / Под ред. В. А. Колосова и А. Б. Володина. – М., 2016. – 188 с.**

**В сборник вошли материалы Всероссийской научно-практической конференции «Трансграничная инфраструктура России», организованной в феврале 2016 года по инициативе Института географии РАН, Агентства по развитию трансграничной инфраструктуры и Московской государственной академии водного транспорта. Издание состоит из двух разделов, в которых представлены результаты исследований географов, экономистов, социологов, посвящённых экономическим, социокультурным, инфраструктурным проблемам пограничья, а также развития и функционирования трансграничной инфраструктуры и транспорта.**

**Ключевые слова:** «Экономический пояс Шелкового пути», международная логистика, государственная граница, транспорт, трансграничная инфраструктура.

**Р**еализация стратегии развития транспорта России, достижение её основных целей и показателей во многом связано с развитием транспортной инфраструктуры. Основным инструментом реализации стратегии – федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России» – предусматривается строительство крупномасштабных транспортных проектов, реализующих экономический и транзитный потенциал регионов России.

На фоне неопределённых отношений со странами ЕС Россия последовательно развивает всё более тесные торгово-экономические отношения со странами Азиатско-Тихоокеанского региона.

Российская Федерация становится полноправным и активным участником китайской инициативы «Экономического пояса Шёлкового пути». Эта инициатива позволит в перспективе нарастить грузооборот транспорта и превратить национальные транспортные коммуникации в транзитные мосты для оборота товаров между Китаем, страна-

ми Азиатско-Тихоокеанского региона и Европой.

Безусловно, такие масштабные стратегии требуют нового подхода к организации международной логистики. И прежде всего в части пересечения грузами и товарами национальных границ. Ведь именно пункты пропуска через государственную границу нередко являются тормозом на пути международной торговли и транзита, поскольку они не в состоянии справляться с увеличивающимся грузопотоком.

Примечательно, что новое осмысление способов решения сугубо прикладных транспортных задач становится междисциплинарным. Исследования в области трансграничных коммуникаций всё больше интересуют представителей разных научных специальностей и профессий. В рецензируемом сборнике как раз достаточно определённо подтверждается эта тенденция. В первом его разделе представлены результаты исследований географов, экономистов, социологов, которые касаются экономических, социокультурных, инфраструктурных проблем пограничья. Во второй своей части книга содержит научно-практические проблемы развития и функционирования трансграничной инфраструктуры и транспорта, причём здесь присутствуют разные его виды – морской, речной, воздушный, железнодорожный, автомобильный.

Общественное обсуждение наиболее значимых вопросов стратегии и тактики развития пунктов пропуска через государственную границу для содействия экономическому развитию предприятий, транспортной инфраструктуры и регионов Российской Федерации приоткрывает завесу над некогда неприкасаемой темой «священности» границ. Благодаря в том числе и этому актуальные вопросы осуществления трансграничных сообщений и коммуникаций во

всех сферах человеческой жизни в приграничных регионах становятся близки и понятны даже обывателю.

Трансграничная инфраструктура России представляет собой совокупность объектов и технологий в области транспорта и смежных с ним отраслей, систем безопасности, систем связи и телекоммуникаций, которые расположены в пограничном пространстве нашей страны и сопредельного государства, что отражается на режиме её функционирования. И соответственно требует совершенствования всего комплекса отношений, документооборота, технического оснащения, прежде всего применительно к международным транспортным коридорам.

Новые демонстрируемые подходы к решению проблем безопасности через обсуждение круга экономических, социокультурных, инфраструктурных и аналитических проблем пограничья позволяют нащупать новый вектор, определяющий стратегию развития трансграничной инфраструктуры. Кроме того, вместе с приводимыми в сборнике результатами исследований объектов автомобильных и железнодорожных путей сообщения, путепроводов, аэропортов, морских и речных портов, обеспечивающих пересечение государственной границы и в целом международное грузовое и пассажирское сообщение, опубликованные научные выступления выглядят особо необходимыми и важными. Ибо помогают осознать грядущие изменения и направления роста именно с точки зрения целостности восприятия международных транспортных коммуникаций и понимания их готовности к новым вызовам.

**Г. И. ЛИТВИНЕНКО,**  
доктор технических наук, кандидат  
географических наук, профессор,  
генеральный директор  
ООО «МорТрансНИИпроект»,  
Москва, Россия ●

Координаты автора: **Литвиненко Г. И.** – [mtniip@mail.ru](mailto:mtniip@mail.ru).

Рецензия поступила в редакцию 24.07.2017, принята к публикации 19.08.2017.



## CROSS-BORDER INFRASTRUCTURE

*Russian borderlands: socio-political and infrastructure problems / Ed. by V. A. Kolosov and A. B. Volodin. Moscow, 2016, 188 p.*



### ABSTRACT

The collection includes materials from All-Russian Scientific and Practical Conference «Cross-Border Infrastructure of Russia», organized in February 2016 at the initiative of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, the Agency for Development of Cross-Border Infra-

structure and Moscow State Academy of Water Transport. The publication consists of two sections, which present the results of studies by geographers, economists, sociologists on economic, sociocultural, infrastructural problems of the borderland, as well as development and operation of cross-border infrastructure and transport.

**Keywords:** «Economic belt of the Silk Road», international logistics, state border, transport, cross-border infrastructure.

The implementation of a strategy for development of transport in Russia, the achievement of its main goals and indicators is largely due to development of transport infrastructure. The main instrument for implementing the strategy – the federal target program «Development of the Russian transport system» – provides for construction of large-scale transport projects that realize the economic and transit potential of Russia's regions.

Against uncertain relations with the EU countries, Russia is consistently developing ever closer trade and economic relations with the countries of the Asia-Pacific region.

The Russian Federation becomes a full-fledged and active participant in the Chinese initiative of the «Economic belt of the Silk Road». This initiative will allow in the future to increase the freight turnover of transport and to turn national transport communications into transit bridges for goods turnover between China, the countries of the Asia-Pacific region and Europe.

Of course, such large-scale strategies require a new approach to organization of international logistics. And first of all, with regard to crossing of national borders by cargoes and goods. After all, checkpoints across the state border are often a brake on international trade and transit, because they cannot cope with the increasing freight traffic.

It is noteworthy that a new interpretation of ways of solving highly applied transport problems becomes interdisciplinary. Studies in the field of cross-border communications are increasingly interesting for representatives of various scientific specialties and professions. In the collection under review, this trend is confirmed definitely enough. In the first section, the results of studies of geographers, economists, and sociologists are presented, which relate to the economic, socio-cultural, infrastructural problems of the borderland. In the second section the book contains scientific and practical problems of development and functioning of cross-border

infrastructure and transport, and here there are different types of it – sea, river, air, rail, and road.

Public discussion of the most significant issues of the strategy and tactics of development of checkpoints across the state border to promote economic development of enterprises, transport infrastructure and regions of the Russian Federation opens the veil over the once untouchable theme of the «sacredness» of borders. Thanks, among other things, to this, the topical issues of implementing cross-border communications and communications in all spheres of human life in the border regions become close and understandable even to a layman.

Cross-border infrastructure of Russia is a set of objects and technologies in the field of transport and related industries, security systems, communication and telecommunications systems that are located in the border area of our country and the neighboring state, which is reflected in the mode of its functioning. And, accordingly, it requires improvement of a whole range of relations, document circulation, technical equipment, which are primarily related to international transport corridors.

New demonstrated approaches to solving security problems through discussion of a number of economic, sociocultural, infrastructural and analytical problems of the borderland allow to find a new vector that determines a strategy for development of cross-border infrastructure. In addition, together with the results of research of objects of roads and railways, overpasses, airports, sea and river ports, which provide for crossing of a state border and, in general, international freight and passenger traffic, published scientific reports appear to be especially necessary and important. Because they help to understand future changes and directions of growth precisely from the point of view of integrity of perception of international transport communications and understanding of their readiness for new challenges. ●

Information about the author:

**Litvinenko, Gennady I.**, D.Sc. (Eng), Ph.D. (Geography), professor, general director of LLC MorTransNllproject, Moscow, Russia, mtniip@mail.ru.

Review received 24.07.2017, accepted 19.08.2017.



## АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of D. Sc.  
and Ph.D. theses submitted at Russian  
University of Transport  
(англ. текст – English text – p. 258)*

**Гармаш Ю. В.** Совершенствование систем электрооборудования автомобилей на основе электронных преобразователей электрической энергии / Автореф. дис... док. техн. наук. – М., 2017. – 46 с.

Научная новизна исследования заключается в разработке новых принципов построения электрооборудования и теоретических положений по улучшению эксплуатационных характеристик бортового электрооборудования автомобиля, посредством организации дифференцированного питания потребителей с помощью регулируемых по параметрам объекта импульсных адаптивных источников энергии; математической модели системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания с конденсаторным накопителем энергии в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные; математических моделей и предложенных на их основе устройств системы зажигания, содержащих для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот – понижающий преобразователь, напряжения которых обеспечивают постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению.

Автором предложен ряд технических решений по системе электроснабжения на базе широтно-импульсного регулятора, обеспечивающих с учётом температурного режима повышение степени заряженности и продление срока службы аккумулятора батареи, а также по разделению прикладываемых к потребителям электрической энергии напряжений, формируемых источником вторичного электропитания.

**Болдбаатар Нандинцэцэг.** Экономическое обоснование вариантов организации перевозок грузов в контейнерных поездах / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2017. – 24 с.

Выполнено сравнение экономических показателей работы железнодорожного транспорта при разных технологиях организации перевозок контейнеров, для каждой из них рассчитаны величины экономически потерь грузовладельцев, расходов на перевозку и провозных плат. При сравнении вариантов определены пороговые значения цен 1 т перевозимых грузов, позволяющие разделить грузы по критерию целесообразности применения для их перевозок той или иной технологии, при этом определено влияние на пороговые значения величины кредитной ставки и дальности перевозки грузов. Разработаны экономические принципы обоснования применения разных технологий организации перевозок контейнеров железнодорожным транспортом с учётом интересов грузовладельцев.

**Ефимов Р. А.** Оценка тепловых нагрузок цельнокатаного колеса вагона при торможении / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2017. – 24 с.

Разработана методика компьютерного моделирования протекания тепловых процессов и измене-

ния структурного состава в цельнокатаном колесе при реализации различных режимов торможения с учётом текущей скорости движения, получены зависимости интенсивности тепловых нагрузок и распределения полей температур в колесе, определена степень влияния отдельных факторов на интенсивность тепловыделения в контакте «колесо–тормозная колодка» и протекание тепловых процессов в цельнокатаном колесе при торможении. Исследовано влияние геометрии диска колеса на характер перемещений при длительном торможении на затяжном спуске.

**Малютин А. Ю.** Применение маловентильных преобразователей в системе питания вспомогательных цепей электровозов переменного тока / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2017. – 24 с.

Диссертантом предложена математическая модель асинхронного двигателя с глубокопазовой обмоткой ротора, которая даёт возможность исследования работы таких двигателей в пусковых и переходных режимах, а также математическая модель для исследования электромагнитных процессов в системе вспомогательных машин электровоза 2ЭС5К, учитывающая влияние тяговой нагрузки и параметров контактной сети на режимы эксплуатации электрооборудования. Разработаны методики оценки влияния параметров конденсаторных фазорасщепителей на показатели работы асинхронных двигателей и система управления маловентильным преобразователем, обеспечивающая минимальную несимметрию трёхфазного напряжения питания вспомогательных машин электровозов.

**Оспанбеков Б. К.** Повышение энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2017. – 24 с.

Разработаны комплексная математическая модель СТЭО ЭМ для качественной и количественной оценки зарядно-разрядных режимов аккумуляторной батареи, расчётно-экспериментальные методики для определения эксплуатационных режимов с помощью программной среды Matlab (Simulink), позволяющей рационализировать аналитическую и расчётную оценки показателей электромобилей, снизить время и трудозатраты на вычисления. Расчётным путём определены тепловые режимы единичного аккумулятора в составе батарейного модуля для перспективного типа литий-ионных батарей. Предложена методика определения ресурса тяговых аккумуляторных батарей с учётом эксплуатационных режимов в стандартизированных ездовых циклах движения и в реальных условиях опытной эксплуатации.

**Рогова Е. В.** Методы повышения качества обслуживания грузовладельцев на основе совершенствования системы взаимодействия транспортных компаний / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2017. – 24 с.

Адаптирована система показателей качества для условий обслуживания грузовладельцев транспортных компаний, предложен алгоритм взаимодействия при совместном предоставлении услуг клиентам. Обоснована система индикаторов для оценки экономической эффективности согласованных действий компаний, ставящих целью повышение качества обслуживания грузовладельцев как взаимовыгодную стратегическую задачу партнерского союза. ●



## ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D. THESES

*Selected abstracts of D.Sc. and Ph.D. theses submitted at Russian University of Transport*

**Garmash, Yu. V. Perfection of systems of electric equipment of cars on the basis of electronic converters of electric energy. Abstract of D.Sc. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 46 p.**

The scientific novelty of the research consists in development of new principles for construction of electrical equipment and theoretical provisions for improving the operational characteristics of vehicle's on-board electrical equipment, which consist in organizing a differentiated supply of consumers by means of impulse adaptive energy sources that are regulated by the parameters of the object; mathematical model of the electric start-up system of an internal combustion engine with a capacitor storage of energy over a wide range of voltages exceeding the nominal ones; mathematical models and proposed on their basis devices of the ignition system, containing for the start-up frequency range a boost converter, and for the operating frequency range — a down converter, whose voltages provide a constant value of the safety factor for the secondary voltage.

The author proposes a number of technical solutions for the power supply system based on a pulse-width regulator, providing, in view of the temperature regime, an increase in the degree of charging and prolongation of the service life of the battery, as well as the separation of voltages applied to the consumers of electricity generated by the secondary power source.

**Boldbaatar Nandinzetseg. The economic substantiation of variants of organization of cargo transportation in container trains. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

Comparison of the economic performance of railway transport with different technologies for organization of container transportation has been performed, the values of economic losses of cargo owners, transportation costs and freight charges have been calculated for each of them. When comparing the options, the threshold values for the prices of 1 ton of goods transported are determined, which allow to divide the goods by the criterion of expediency of applying a technology for their transportation, while the influence on the threshold values of the value of the credit rate and the range of cargo transportation is determined. The economic principles of justifying the use of different technologies for organization of container transportation by rail with account of the interests of cargo owners are developed.

**Efimov, R. A. Evaluation of thermal loads of a solid wheel of a car during braking. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

A method for computer simulation of the course of thermal processes and changes in the structural

composition of a solid wheel during the implementation of various braking regimes, taking into account the current speed of movement, the dependences of the intensity of thermal loads and the distribution of temperature fields in the wheel are obtained, the degree of influence of individual factors on the heat dissipation in the contact «wheel — brake shoe» and the flow of thermal processes in a solid wheel during braking. The influence of the geometry of a wheel disc on the nature of displacements during long braking on a long descent is studied.

**Malyutin, A. Yu. Application of low-voltage converters in the power supply system of auxiliary circuits of electric locomotives of alternating current. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

The author proposes a mathematical model of an asynchronous motor with a deep-band winding of a rotor, which makes it possible to study the operation of such engines in the starting and transient modes, and also a mathematical model for studying electromagnetic processes in the auxiliary machine system of the 2ES5K electric locomotive, which takes into account the effect of the traction load and the parameters of the contact network on operation modes of electrical equipment. A technique for estimating the influence of parameters of capacitor phase disintegrators on the performance of asynchronous motors and the control system for a low-voltage converter ensuring a minimum asymmetry of the three-phase supply voltage of auxiliary electric locomotives are developed.

**Ospanbekov, B. K. Increase of energy efficiency and performance indicators of electric vehicles. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

A complex mathematical model of STE EM for qualitative and quantitative evaluation of charge-discharge regimes of a battery is developed, calculation and experimental methods for determining operational modes using the Matlab (Simulink) software environment, which allows to rationalize the analytical and estimated estimates of electric vehicle indicators, reduce the time and effort required for computing. The thermal regimes of a single battery in the battery module for a prospective type of lithium-ion batteries have been calculated. A technique is proposed for determining the life of traction batteries, taking into account operational conditions in standardized driving cycles and in real experimental operation conditions.

**Rogova, E. V. Methods to improve the quality of service for cargo owners on the basis of improving the system of interaction between transport companies. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.**

The system of quality indicators for the conditions of servicing cargo owners of transport companies has been adapted, an algorithm for cooperation in the joint provision of services to customers has been proposed. The system of indicators for assessing the economic effectiveness of concerted actions of companies aimed at improving the quality of servicing cargo owners as a mutually beneficial strategic task of the partnership is grounded. ●

## НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

English text at p. 260

Агоров А. А., Ридли А. Н., Сурков Д. А., Чечиков Ю. Б. Олимпиада Национальной технологической инициативы. Т. 9. Беспилотные авиационные системы. — М.: Ваш формат, 2017. — 118 с.

Аксенов В. А. и др. Экологическая безопасность транспортных и стационарных железнодорожных объектов: Учеб. пособие. — М.: Московский гос. ун-т путей сообщения имп. Николая II, 2017. — 100 с.

Андронов С. А., Фетисов В. А. Введение в интеллектуальные транспортные системы: Учеб. пособие. — СПб.: ГУАП, 2017. — 251 с.

Баранов С. Н. Разработка и сертификация программного обеспечения для авиационных бортовых систем и оборудования: Учеб. пособие. — СПб.: ГУАП, 2017. — 245 с.

Васютин Ю. И., Смирнов И. А., Ягодников Д. А. и др. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок: Учеб. пособие / Под ред. Д. А. Ягодникова. 2-е изд., испр. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 223 с.

Вопросы развития железнодорожного транспорта: сборник трудов ученых АО «ВНИИЖТ» / Под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричиани. — М.: РАС, 2017. — 270 с.

Грачев В. А., Собурь С. В. Пожарная безопасность объектов авиационной инфраструктуры: Справочник — М.: ПожКнига, 2017. — 399 с.

Григорьев В. А., Кузнецов С. П., Шепель В. Т. Основы доводки авиационных ГТД: Учеб. пособие. — М.: Инновационное машиностроение, 2017. — 190 с.

Зарипов Н. Г., Караваева М. В. Материалы авиационной техники. — М.: Инновационное машиностроение, 2017. — 206 с.

Каренина К. Дневник автоледи: советы женщинам за рулём. — М.: АСТ, 2017. — 221 с.

Кибалов Е. Б., Кин А. А. Реформа железнодорожного транспорта: критический анализ и проблема оценки эффективности. — Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2017. — 158 с.

Кликушина Т. Г., Колпакова А. С., Селезнева К. О. Авиационный английский язык. Учебная тема «Аэропорты и аэродромы» = English for aviation: Airports and airdromes: Учеб. пособие для курсантов авиационных вузов. — М.: Перо, 2017. — 219 с.

Козак В. Н. Обеспечение грузовых перевозок на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2017. — 227 с.

Кузнецов Г. А. Отечественные авиационные двухтактные двигатели воздушного охлаждения. Компоновки и конструкции: Монография. — М.: Спутник+, 2017. — 163 с.

Левин Д. Ю. Управление эксплуатационной работой на железнодорожном транспорте: технология и управление работой

железнодорожных участков и направлений: Учеб. пособие. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. — 487 с.

Нечаев Ю. И. Интеллектуальные технологии в системе исследовательского проектирования: Учеб. пособие. — СПб.: Арт-Экспресс, 2017. — 318 с.

Овчинников И. Д. Принятие оптимальных решений в перевозках на морском транспорте: Учеб. пособие. — Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т, 2017. — 207 с.

Осяев А. Т. Технологии интегрированной логистической поддержки в авиационной технике: Электронный курс лекций / Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). — М.: Белый Ветер, 2017. — 210 с.

Падалко Л. П., Иванов Ф. Ф., Кузьменок В. И. Альтернативные энергоносители на автотранспорте: эффективность и перспективы / Под науч. ред. А. Е. Дайнеко. — Минск: Белорусская наука, 2017. — 262 с.

Пономаренко В. А. Научный вклад психологии и авиационной медицины в профессионализм авиаторов / Под ред. А. Н. Разумова. — М.: Когито-Центр, 2017. — 293 с.

Романов В. А., Корнеев М. В., Наперов В. В., Тесленко И. О. Техника и технология грузовых операций на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие. — Новосибирск: СГУПС, 2017. — 206 с.

Румянцев Л. А. Проектирование автоматизированных автомобильных передач. — М.: Инновационное машиностроение, 2017. — 287 с.

Рябинский А. И., Карпов В. В. Безопасность автотранспортных средств: Учебник. — М.: Академия, 2017. — 268 с.

Севостьянов А. П. Railway English (Английский язык в системе железнодорожного транспорта): Учеб. пособие. — М.: Спутник+, 2017. — 365 с.

Скопец Г. М. Внешнее проектирование авиационных комплексов: методологические аспекты. — М.: URSS, 2017. — 343 с.

Скорина С. Ф. Испытания изделий авиационной, ракетной и космической техники: Учеб. пособие. — СПб.: ГУАП, 2017. — 103 с.

Супрун В. И., Артемьев В. Б., Опанасенко П. И. Проектирование железнодорожных транспортных схем карьеров. — М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2017. — 167 с.

Терентьев А. В., Афанасьев А. С., Кацуба Ю. Н. Обоснование рационального срока службы автомобилей: Монография. — СПб.: Своё изд-во, 2017. — 147 с.

Титова Т. С., Бабак Н. А., Макарова О. Ю. и др. Экологический аспект техносферной безопасности на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие. — М.: Автограф, 2017. — 305 с.

Трейси М. Диагностика и ремонт автомобильного электрооборудования: Пер. с англ. — М.: Эксмо, 2017. — 159 с.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●





## NEWLY PUBLISHED BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Agorov, A. A., Ridley, A. N., Surkov, D. A., Chechikov, Yu. B. Olympiad of the National Technological Initiative. Vol. 9. Unmanned aerial systems [Olimpiada Nacional'noj tehnologicheskoy iniciativy. T. 9. Bespilotnye aviacionnye sistemy]. Moscow, Vash format, 2017, 118 p.

Aksenov, V. A. [et al]. Ecological safety of transport and stationary railway facilities: Educational guide [Ekologicheskaja bezopasnost' transportnyh i stacionarnyh zheleznodorozhnyh ob'ektov: Ucheb. posobie]. Moscow, Moscow State University of Railway Engineering, 2017, 100 p.

Andronov, S. A., Fetisov, V. A. Introduction to intelligent transport systems: Educational guide [Vvedenie v intellektual'nye transportnye sistemy: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, GUAP, 2017, 251 p.

Baranov, S. N. Development and certification of software for aviation on-board systems and equipment: Educational guide [Razrabotka i sertifikacija programmnoho obespechenija dlja aviacionnyh bortovyh sistem i oborudovanija: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, GUAP, 2017, 245 p.

Grachev, V. A., Sobur, S. V. Fire safety of aviation infrastructure objects: Handbook [Pozharnaja bezopasnost' ob'ektov aviacionnoj infrastruktury: Spravochnik]. Moscow, PozhKniga publ., 2017, 399 p.

Grigoriev, V. A., Kuznetsov, S. P., Shepel, V. T. Fundamentals of adjustment of aviation CCD: Educational guide [Osnovy dovodki aviacionnyh GTD: Ucheb. posobie]. Moscow, Innovacionnoe mashinostroenie, 2017, 190 p.

Issues of development of railway transport: a collection of works of scientists of JSC VNIIZhT [Voprosy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta: sbornik trudov uchenyh AO «VNIIZhT»]. Ed. by M. M. Zheleznov, G. V. Gogrichiani. Moscow, RAS, 2017, 270 p.

Karenina, K. Diary of auto lady: advice to women at the wheel [Dnevnik avtoledi: soveti zhenshinam za rulem]. Moscow, AST publ., 2017, 221 p.

Kibalov, E. B., Kin, A. A. Rail transport reform: critical analysis and the problem of effectiveness evaluation [Reforma zheleznodorozhnogo transporta: kriticheskij analiz i problema ocenki effektivnosti]. Novosibirsk, IEEP of the SB RAS, 2017, 158 p.

Klikushina, T. G., Kolpakova, A. S., Selezneva, K. O. English for aviation: Airports and airdromes: Educational guide for cadets of aviation universities [Aviacionnyj anglijskij jazyk. Uchebnaja tema «Aerorty i aerodromy». Ucheb. posobie dlja kursantov aviacionnyh vuzov]. Moscow, Pero publ., 2017, 219 p.

Kozak, V. N. Providing freight transportation in railway transport: Educational guide [Obespechenie gruzovyh perevozok na zheleznodorozhnom transporte: Ucheb. posobie]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2017, 221 p.

Kuznetsov, G. A. Domestic aviation two-stroke engines of air cooling. Layouts and constructions: Monograph [Otechestvennye aviacionnye dvuhstaknyje dvigateli vozdušnogo ohlazhdenija. Komponovki i konstrukcii: Monografija]. Moscow, Sputnik+ publ., 2017, 163 p.

Levin, D. Yu. Management of operational work on railway transport: technology and management of railway sections and directions: Educational guide [Upravlenie ekspluatacionnoj rabotoj na zheleznodorozhnom transporte: tehnologija i upravlenie rabotoj zheleznodorozhnyh uchastkov i napravlenij: Ucheb. posobie]. Rostov-on-Don, Phoenix publ., 2017, 487 p.

Nechaev, Yu. I. Intellectual technologies in the system of research design: Educational guide [Intellektual'nye tehnologii v sisteme issledovatel'skogo proektirovanija: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, Art-Express publ., 2017, 318 p.

Osyayev, A. T. Technologies of integrated logistics support in aviation equipment: Electronic course of lectures

[Tehnologii integrirovannoj logicheskoy podderzhki i aviacionnoj tehnike: Elektronnyj kurs lekcij]. Moscow Aviation Institute (National Research University). Moscow, Belyj Veter publ., 2017, 210 p.

Ovchinnikov, I. D. Adoption of optimal solutions in transportation by maritime transport: Educational guide [Prinjatje optimal'nyh reshenij v perevozkah na morskome transporte: Ucheb. posobie]. Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-on-Amur State Technical University, 2017, 207 p.

Padalko, L. P., Ivanov, F. F., Kuzmenok, V. I. Alternative power sources for motor transport: efficiency and prospects [Al'ternativnye energonositeli na avtotranspore: effektivnost' i perspektivy]. Under the scientific editorship of A. E. Daineko. Minsk, Belaruskaya Navuka publ., 2017, 262 p.

Ponomarenko, V. A. Scientific contribution of psychology and aviation medicine to the professionalism of aviators [Nauchnyj vklad psihologii i aviacionnoj mediciny v professionalizm aviatorov]. Ed. by A. N. Razumov. Moscow, Kogito-Center publ., 2017, 293 p.

Romanov, V. A., Korneev, M. V., Napervov, V. V., Teslenko, I. O. Technique and technology of cargo operations in railway transport: Educational guide [Tehnika i tehnologija gruzovyh operacij na zheleznodorozhnom transporte: Ucheb. posobie]. Novosibirsk, SGUPS publ., 2017, 206 p.

Rumyantsev, L. A. Design of automated automobile programs [Proektirovanie avtomatizirovannyh avtomobil'nyhperedach]. Moscow, Innovacionnoe mashinostroenie publ., 2017, 287 p.

Ryabchinsky, A. I., Karpov, V. V. Safety of vehicles: Textbook [Bezopasnost' avtotransportnyh sredstv: Uchebnik]. Moscow, Akademia publ., 2017, 268 p.

Sevostyanov, A. P. Railway English (English in the system of railway transport): Educational guide [Railway English (Anglijskij jazyk v sisteme zheleznodorozhnogo transporta): Ucheb. posobie]. Moscow, Sputnik+ publ., 2017, 365 p.

Skopets, G. M. External design of aviation systems: methodological aspects [Vneshnee proektirovanie aviacionnyh kompleksov: metodologicheskie aspekty]. Moscow, URSS publ., 2017, 343 p.

Skorina, S. F. Testing of aircraft, rocket and space equipment: Educational guide [Ispytanija izdelij aviacionnoj, raketnoj i kosmicheskoj tehniki: Ucheb. posobie]. St. Petersburg, GUAP, 2017, 103 p.

Suprun, V. I., Artemiev, V. B., Opanasenko, P. I. Designing of railway transport schemes of quarries [Proektirovanie zheleznodorozhnyh transportnyh shem kar'erov]. Moscow, Gornoe delo: Kimmerijskij centr publ., 2017, 167 p.

Terentyev, A. V., Afanasiev, A. S., Katsuba, Yu. N. Justification of the rational service life of cars: Monograph [Obosnovanie racional'nogo sroka sluzhby avtomobilej: Monografija]. St. Petersburg, Svoe izd-vo publ., 2017, 147 p.

Titova, T. S., Babak, N. A., Makarova, O. Yu. [et al]. Ecological aspect of technospheric safety in railway transport: Educational guide [Ekologicheskij aspekt tehnosfernoj bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte: Ucheb. posobie]. Moscow, Avtograf publ., 2017, 305 p.

Tracy, Martin. Diagnostics and repair of automobile electrical equipment [Diagnostika i remont avtomobil'nogo elektrooborudovanija. Transl. from English by V. Yu. Sokov]. Moscow, Eksmo publ., 2017, 159 p.

Vasyutin, Yu. I., Smirnov, I. A., Yagodnikov, D. A. [et al]. Units of regulation of liquid rocket propulsion systems: Educational guide [Agregaty regulirovanija zhidkostnyh raketnyh dvigatel'nyh ustanovok: Ucheb. posobie]. Ed. by D. A. Yagodnikov. 2<sup>nd</sup> ed., rev. Moscow, Bauman MSTU, 2017, 223 p.

Zaripov, N. G., Karavaeva, M. V. Materials of aviation engineering [Materialy aviacionnoj tehniki]. Moscow, Innovacionnoe mashinostroenie publ., 2017, 206 p.

Compiled by N. OLEYNIK ●