

ТРАНСПОРТ МИР

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

5²⁰¹⁷
(72)

Издается
Российским университетом
транспорта (МИИТ).
Учреждён 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. Лapidус – 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

Александр ГОЛОВНИЧ

Модели станций с функционалом прототипов физики процессов 6

Николай ОСТРОУХОВ, Екатерина ЧУМАКОВА

Инженерия и моделирование оптимального маневрирования судов с вихревыми движителями 14

Константин КИМ, Алексей ПРОСОЛОВИЧ, Юлия КОЛОШЕНКО

Параметризация исполнительных элементов перекачивающих электромеханических преобразователей 28

НАУКА И ТЕХНИКА

Сергей КАРГАПОЛЬЦЕВ, Пётр НОВОСЕЛЬЦЕВ, Юрий КУПЦОВ

Волнообразный износ рельсов при торможении 46

Владимир ПОЛЯКОВ

Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ 54

Игорь РЯБОВ, Вера ГОРИНА

Сравнение качества обслуживания при доставке саморазгружающихся контейнеров 68

Павел ВЕСЕЛОВ

Энергия рекуперативного торможения: копить или обмениваться? 76

Илья ДЕНИСОВ, Алексей СМIRHOV

Функции надёжности электромеханических усилителей рулевого управления 86

ЭКОНОМИКА

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Транспорт, экономический рост и общественное благосостояние 98

Вячеслав СОЛОВЬЁВ

Анализ компонентов стоимости строительной продукции . . . 106

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.miiit.ru>.

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

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

Ольга ФРОЛОВА

Макроэкономический подход
к обоснованию транспортных проектов 118

Елена ПАЛКИНА, Евгения МОРОЗОВА

Принципы оценки инвестиционной
привлекательности инфраструктурных проектов 130

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Александр ШРАМКО

Инструментарий динамического программирования
в оптимизации региональной транспортной системы 138

Владимир АЗАРОВ, Борис БОЙЦОВ, Валерий МАЙБОРОДА

Информация, управление качеством, инженерный
менеджмент: общность задач и решений 146

Олег МОСКВИЧЕВ

Терминальная инфраструктура и контейнерные поезда:
кластеризация объектов 158

БЕЗОПАСНОСТЬ

Николай ПЕНЬШИН, Марина УШАКОВА

Причины аварийности и критерии контроля на автодорогах . 176

Галина ЧЕРНОВА, Марина ВЕЛИКАНОВА

«Интервалы безопасности» на остановках
автобусов города Волжского 184

Елена ОВАНЕСОВА

Критерии экологической безопасности
железнодорожных перевозок 198

ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ

Ольга АРИНИЧЕВА, Евгений ВЛАСОВ, Вадим ГРЕХОВ

Специальное программное обеспечение
для подготовки пилотов 208

Сергей ЗУБКОВ, Григорий КРАЙНОВ

Борьба профсоюзов против социального демпинга 218

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Татьяна ТИХОНОВА

Зубчатая железная дорога – путь на вершину 228

Владимир ПРОХОРОВ, Владимир ЧИРУХИН

Морская и наземная логистика грузового фронта 246

Пресс-архив. Будущность железных дорог 258

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Алексей ДАВЫДОВ

«Окна возможностей» для Транс-Евразийских поясов 264

Авторефераты диссертаций 269

Новые книги о транспорте 271

Экспресс-информация 44, 75, 85, 174, 183, 205, 217, 226



World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 15²⁰¹⁷
Iss. 5

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. Mirotn, 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

Alexander K. GOLOVNICH

Models of Stations with Functionality of Prototypes
of Physical and Technological Processes. 6

Nikolai N. OSTROUKHOV, Ekaterina V. CHUMAKOVA

Engineering and Modeling of Optimal Maneuvering
of Vessels with Vortex Propulsion Units. 14

*Konstantin K. KIM, Aleksey A. PROSOLOVICH,
Yuliya B. KOLOSHENKO*

Parameterization of Actuating Elements of Pumping
Electromechanical Converters. 28

SCIENCE AND ENGINEERING

*Sergey K. KARGAPOLTSEV, Petr V. NOVOSELTSEV,
Yuri A. KUPTSOV*

Rail Corrugation in the Process of Braking. 46

Vladimir Yu. POLYAKOV

Optimization of Bridge Transition Zones on High-Speed Railways . 54

Igor M. RYABOV, Vera V. GORINA

A Comparative Study of Service Quality
in Delivering Self-Unloading Containers 68

Pavel A. VESELOV

Regenerative Braking Energy: to Store or to Exchange? 76

Ilya V. DENISOV, Aleksey A. SMIRNOV

Reliability Functions of Electromechanical Power Steering 86

ECONOMICS

Dmitry A. MACHERET

Transport, Economic Growth and Public Well-Being 98

Vyacheslav V. SOLOVYOV

Analysis of Components of the Cost of Construction Products. . . . 106

Olga N. FROLOVA

Macroeconomic Approach to Justification of Transport Projects . . 118

Elena S. PALKINA, Evgeniya I. MOROZOVA

Principles for Assessing the Investment
Attractiveness of Infrastructure Projects 130

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.

72 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.

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, MTavtor@mail.ru or wttjournal@gmail.com

© Mir Transporta

© World of Transport and Transportation

© English translation

© 2017. All rights reserved. Any reproduction in whole or in part on any medium or use of English translation of the articles contained herein is prohibited for commercial use without the prior written consent of World of Transport and Transportation.

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Alexander P. SHRAMKO

Instrumentation of Dynamic Programming in Optimization of a Regional Transport System 138

Vladimir N. AZAROV, Boris V. BOITSOV, Valery P. MAIBORODA

Information, Quality Management, Engineering Management: Common tasks and Solutions 146

Oleg V. MOSKVICHEV

Terminal Infrastructure and Container Trains: Object Clustering . . 158

SAFETY AND SECURITY

Nikolai V. PENSHIN, Marina A. USHAKOVA

Causes of Accidents and Criteria of Control on the Roads 176

Galina A. CHERNOVA, Marina V. VELIKANOVA

«Safety Intervals» at the Bus Stops of the City of Volzhsky 184

Elena A. OVANESOVA

Criteria of Environmental Safety of Railway Transportation 198

HRM, EDUCATION & TRAINING

Olga V. ARINICHEVA, Evgeny V. VLASOV, Vadim A. GREKHOV

Special Software for Pilot Training 208

Sergey A. ZUBKOV, Grigory N. KRAINOV

Struggle of Trade Unions against Social Dumping 218

HISTORY WHEEL

Tatyana Yu. TIKHONOVA

Rack Railway – a Way to the Top 228

Vladimir M. PROKHOROV, Vladimir A. CHIRUKHIN

Sea and Land Logistics of Cargo Front 246

Press Archives. Railways: the Promise for the Future 258

BIBLIO-DIRECTIONS

Alexey M. DAVYDOV

Windows of Opportunities for Transeurasian Belts 264

Selected Abstracts of Ph.D. theses 269

Newly Published Books on Transport and Transportation 271

Express Information. 44, 75, 85, 174, 183, 205, 217, 226

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.

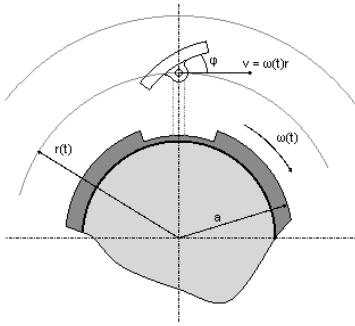
T

3D-МОДЕЛИ 6

Прототипируемые объекты и процессы.
Алгоритмы корректной физики.

РЕЖИМ МАНЁВРА 14

Кинетика «присоединённой массы».



ЭНЕРГОСИСТЕМА 28

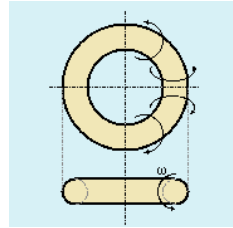
Расчётная значимость исполнительных элементов.

3D MODELS 6

Prototyped structures and processes.
Algorithms of correct physics.

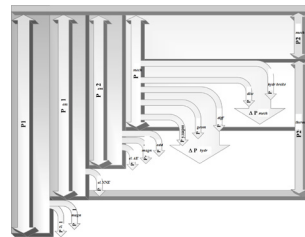
MANEUVERING MODE 14

Kinetics of added mass.



POWER SYSTEMS 28

Calculated importance of executive elements.



ВОПРОСЫ ТЕОРИИ • THEORY





Модели станций с функционалом прототипов физики процессов



Александр ГОЛОВНИЧ

Alexander K. GOLOVNICH

Models of Stations with Functionality of Prototypes of Physical and Technological Processes

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 11)

Возможности модельных реконструкций железнодорожных станций различного уровня сложности с воспроизведением технологии их работы на основе алгоритмов корректной физики процессов. Реалистичность построения моделей подчёркивается 3D-интерпретацией результатов вычислительных процедур, с помощью чего формируется визуальный образ, создаётся эрзац-структура станции, копируются значимые свойства прототипируемых объектов. При этом сопутствующие моделированию пространственно-временные изменения коррелируют с набором нелинейных явлений и множеством факторов системного и несистемного характера.

Ключевые слова: система, 3D-модель станции, прототип, технология, физические процессы, нелинейные явления, прогноз отказов.

Головнич Александр Константинович – доктор технических наук, заведующий кафедрой транспортных узлов Белорусского государственного университета транспорта, Гомель, Беларусь.

Выполнение любой технологической операции связывается с учётом сложного влияния различных внешних и внутренних факторов [1]. Поэтому для корректной модельной интерпретации технологии работы станции существенную роль играет правильное отражение связей взаимодействующих объектов [2]. Объекты в такой модели должны изменять свое положение в соответствии с законами физики реального мира. Модельные вагоны рассматриваются [3] как псевдофизические конструкции элементов с упругими и жёсткими связями, обладающие определённой инерцией движения и способные под действием различных сил перемещаться по виртуальным железнодорожным путям. Вращательное движение колёс подвижного состава по аналогии с реальными физическими процессами преобразуется в поступательное движение вагона.

Моделирование любого технологического процесса связано с реализацией некоторого ряда операций, наследующих контент друг друга [4]. Переход операции O_i в технологически связанную O_{i+1} определяет алгоритм модельной технологии, обеспечивающий передачу достигнутого состояния объекта на момент завершения операции O_i .

**Классификация модельных схем прототипирования технологических процессов
железнодорожной станции**

Модель уровня	Внешний вид объектов	Функциональные возможности	Ограничения	Возможные области применения
Нулевого	Реалистичное 3D-изображение путей и вагонов	Изменение состояния объектов под влиянием постоянных циклических воздействий среды окружения	Отсутствие учёта влияния факторов нерегулярного действия	Интерактивные технологии обучения, применение в качестве анимационных иллюстраций в электронных учебниках
Начального	Формирование информационных 3D-объектов станции	Интегральная оценка влияния множественных факторов на состояние объектов	Отсутствие оценки обособленного влияния значимых факторов нерегулярного действия на состояние объектов	Исследования зависимости влияния значимых факторов нерегулярного действия на состояние объектов; разработка методики верификации моделей начального уровня
Регуляционного	Высокореалистичный по форме и адекватный по содержанию модельный мир в динамике функционирующих процессов	Применение регулятора равновесия модельной системы с элементами адаптивной корректировки	Отсутствие полноценного механизма адаптации к резким воздействиям, способным вывести систему из области устойчивого равновесия	Изучение свойств объектов модельной среды, адекватной реальной технической системе
Репродуктивного	Устойчиво функционирующая модель в автономном режиме с высокой достоверностью прототипированных процессов	Поведенческие функции модельной среды, обеспечивающие реконструкцию технологических процессов в эффективном режиме широкого диапазона действия	Ограничение эффективности поведенческих функций модельной среды в мажорных условиях	Изучение возможностей реакции модели в нормальных условиях реконструкции технологии
Конструктивного	Появление в модельной системе технически усовершенствованных и новых объектов	Самовоспроизводящая среда новых возможностей прототипирующей системы на основе использования полиморфных алгоритмических структур	Невозможность полной верификации прототипируемых технологических процессов при любых условиях функционирования	Трансформация модельного мира в физически осязаемый посредством технологий трёхмерной печати информационных объектов с функционированием их в самодостаточном режиме

в следующую позицию. Поэтому для каждой последующей операции формируется определённый прогнозный образ её состояния, достигаемого объектом ко времени t . Технологический процесс, протекающий за время T_k , разделяется на кванты так, что $T_k = N_k \cdot \Delta t$, где N_k – число расчётных точек на временной шкале процесса; Δt – период времени между двумя смежными квантами. При этом принято, что изменение состояния объекта происходит только в моменты, кратные Δt . По мере увеличения числа квантов N_k и уменьшения расстояния Δt между ними визуализируемый результат изменения положения объектов на соответствующей 3D-модели становится более плавным и реалистичным. При особо динамичных процессах (например, роспуск ва-

гонов с горки) период времени Δt может быть переменным и обратно пропорциональным скорости протекания технологической операции.

Если технологические операции выполняются в штатном режиме и имеют циклический характер, то изменение состояния объектов, определяемое как перемещение вагонов по путям, можно связывать с фиксированным воздействием сил тяги различного рода (локомотивов, погрузо-разгрузочных механизмов, лебёдок и др.) и тормозящим влиянием сил сопротивления.

Модельные реконструкции физики функционирования технической системы. Модель системы с оценкой влияния различных факторов рассматривается как среда, прототипирующая реальные процессы





с соответствующей достоверностью. Адекватность реконструкции виртуального мира информационных образов реальным техническим структурам зависит от точности расчётов влияния сил различной природы. Поэтому различные модельные аналогии реконструкции многочисленных регулярных и нерегулярных воздействий и их причинно-следственных связей будут иметь различную точность воссоздания физических и технологических эффектов (таблица 1).

Особое значение приобретает перенесение результатов расчётных состояний в область 3D-инсталляций, поскольку появляется возможность наблюдать изменение состояний объектов в масштабах достаточно совершенной копии прототипированной реальной системы.

Модель нулевого уровня. Реализация такой модели подразумевает учёт влияния регулярных внутренних и внешних факторов различной природы. В этом случае технологические операции, повторяемые через заданные интервалы времени (прибытие поездов, расформирование, подача вагонов под грузовые операции и др.), являются определяющими, а сопутствующее множественное воздействие факторов учитывается некоторым поправочным коэффициентом. Расчёт сводится к нахождению величин перемещения объектов под действием фиксированной силы, исходящий от идентифицируемого объекта.

Основным объектом данной модели выступает вагон, обладающий такими свойствами, как размеры, масса, скорость. При моделировании движения вагона учитывается действие сил тяги и сопротивления, обеспечивающих определённое результирующее воздействие на расчётный объект и способствующих перемещению подвижного состава по модельному железнодорожному пути с переменной скоростью.

Все изменения состояния объектов в модели нулевого уровня определяются повторяющимися операциями, которые выполняются в полном соответствии с регламентной технологией железнодорожной станции (прием и отправление поездов, погрузка и выгрузка вагонов на складе грузового терминала и т.д.). Модельный образ грузовой операции представляет собой простую динамическую картину заполнения вагона или его выгрузки штучным,

насыпным, наливным или иным грузом в зависимости от продолжительности и характера операции.

Модель начального уровня. Модельный вагон рассматривается как инфообъект, обладающий рядом дополнительных свойств, характеризующих его в системах взаимодействия «вагон—путь», «вагон—груз», «вагон—локомотив» и др. К минимальному набору свойств, характерному для модели нулевого уровня, добавляются иные значимые свойства железнодорожного пути (параметры рельсошпальной решетки, верхнего и нижнего строений, текущее состояние, сроки выполнения ремонтов, наличие дефектов и т.д.). Тандемная связка «вагон—путь» позволяет рассчитывать внутренние напряжения и деформации верхнего строения от ударных нагрузок, передаваемых движущимся подвижным составом.

Характерная особенность начального уровня модели — расчёт состояний связанных объектов, влияющих друг на друга в процессе взаимодействия. Превалирующим объектом является вагон, взаимодействующий с железнодорожным путем, локомотивом, грузом. Здания и сооружения присутствуют в данной модели, но в качестве антуражных объектов. Из интегрального воздействия прочих факторов вычлняются эффекты, отражающие контакт вагонов с элементами пути.

Модель регуляционного уровня. В реальной системе существенное влияние на происходящие процессы оказывают другие сторонние силы различного происхождения (нагрузка от порывов ветра, температурные эффекты, дефекты колёсных пар вагонов и рельсов, деформация пути и т.д.). Эти влияния формируют среду флуктуационного воздействия факторов, которые вместе с силами тяги и сопротивления определяют характер выполнения технологических операций. В модели регуляционного уровня присутствие флуктуационного компонента демонстрируют расчёты вариативных сил нерегулярного действия. Интегральная картина сторонних воздействий модели начального уровня разлагается на составляющие с исследованием характеристик окружения ключевых исполнителей технологического процесса, определением точек их сопряжения и выявлением индивидуаль-

ного влияния. Наличие информации о предстоящих погодных условиях, состоянии вагонов прибывающих поездов, текущем состоянии пути позволяет формировать прогнозный график флуктуационных воздействий, корректирующий заданный ход технологических операций.

В реальной технической системе существует своя регламентная норма, своеобразный формально установленный (институционный) штамп состояния объектов, характеризуемый положением на временной оси развёртывания технологической операции. Подобный технологический шаблон обычно не приносит желаемого эффекта в силу ряда несистемных факторов. Поэтому целевое силовое воздействие на объект, приводящее к изменению его состояния, может рассматриваться как некий импульс, идентичный совокупному многофакторному влиянию внешней среды.

Модель регуляционного уровня содержит контур обратной связи. Если при конкретном сочетании значений параметров некоторый достигаемый режим работы модели был признан неудовлетворительным (приводит к опасным ситуациям, сопровождается выходом устройств из строя и т.д.), то в последующих циклах такой режим будет исключен.

Модель репродуктивного уровня развивает контуры обратной связи, формируя отказоустойчивые сочетания значений параметров функционирования объектов и обеспечивая растущую полноту настраиваемых поведенческих реакций модельной системы. В процессе работы накапливается интеллектуальная база знаний, позволяющая совершенствовать и оптимизировать процессные режимы с формированием модельного институционного штампа состояния объектов с возможными отклонениями. В базе знаний содержатся многопараметрические связные конструкции по зависимым друг от друга значениям состояния не только одного объекта (гомогенные структуры), но и нескольких объектов (гетерогенные структуры) — например, вагона и пути, вагона, пути и груза. Гетерогенные конструкции особенно важны для модели репродуктивного уровня. Они помогают формировать новые эффективные режимы работы стан-

ции, отсутствующие в практике реальных технических систем.

Модель конструктивного уровня обладает развитыми информационными средствами адаптации к внешним воздействиям с подстройкой системы технологического обеспечения под условия технологической операции. При этом активизируются возможности модельной среды, направленные на нейтрализацию негативного влияния среды. Например, программный анализ показывает, что сила ветра является существенным фактором, действие которого приводит к значительным экономическим потерям при расформировании вагонов на горке. Конструктивный алгоритм модели в ответ проектирует защитное сооружение с последующим вводом его в эксплуатацию прототипирующего образа технической системы.

Кроме того, в модели возможно использование мер, непосредственно воздействующих на причины возникновения негативных влияний. То же ветровое воздействие на процесс роспуска вагонов с горки может быть исключено и иными, внешними по отношению к железнодорожным станциям, средствами. Например, с помощью климатических станций, которые гасят воздушные потоки на подходах к промышленным центрам и городам. Так как речь идет о модельных мерах, в алгоритм работы подобных мегаструктур на уровне конструирования процессов и объектов могут закладываться режимы глобальной оптимизации с выходом реконструктивной среды за пределы границ отдельного пункта транспорта.

Модель конструктивного уровня позволяет проводить коррекцию негативного влияния среды всякий раз при появлении повторяющихся отрицательных процессов, приводящих к значительным затратам. Введение новых объектов в модельную систему производится только тогда, когда расчётами доказывается возможность снижения общих потерь экономического или иного характера и обеспечения более безопасного функционирования всей реконструктивной среды. В противном случае интеллектуальная модельная среда ищет рациональные варианты изменения технологии, минимизирующие то или иное негативное воздействие.



Таким образом, модель конструктивного уровня в активе своих возможностей имеет потенциал объектной и процессной реконструкций. Объектная реконструкция развивает модельную среду, расширяя численный состав объектов, дополняет существующий вариативный ресурс в архитектуре модельной среды. Процессная реконструкция не менее сложна, ибо приводит к изменению технологии, являясь мощным продуктивным средством нелокальной оптимизации. Комбинированное использование объектной и процессной реконструкций в моделях высокой интеллектуальности повышает шанс прототипировать развивающие среды, сделать реально прогрессирующими проектируемые и используемые технические системы.

ВЫВОДЫ

Модели функционирующей железнодорожной станции могут формироваться как ряд связанных последовательных программных модификаций. Модель нулевого уровня реконструирует только значимые технические и технологические свойства объектов, определяя общую картину развития процессов. Последующие уровни наследуют информационные образы предыдущих с развитием среды взаимодействия объектов в направлении адекватности функционалу прототипируемых образов. Благодаря механизму адаптации и использованию обширной базы знаний повышается точность отражения происходящих технологических процессов.

Актуализация модельных технологических процессов обеспечивается посредством сопоставления достигнутых состояний прототипированных объектов по контрольным точкам цикла развертывания реальных технологических операций. Эти точки могут быть фиксированными или изменяться в зависимости от характера сложности выполняемых операций.

Реалистичность модельных структур подчеркивается 3D-интерпретацией результатов всех вычислительных процедур. Представление итоговых состояний объектов в виде трёхмерной реконструкции формиру-

ет визуальный образ, создает эрзац-структуру реальной станции, копируя значимые свойства моделируемых объектов. Наличие в моделях мониторинных и адаптивных контуров подстройки приближает реконструкцию к реальным техническим системам, функционирующим в циклическом режиме сбалансированных состояний объектов и диапазонах, разрешённых физическими законами и технологическими требованиями.

Моделирование пространственно-временных изменений объектов и процессов на железнодорожной станции затрагивает необходимость воспроизведения сложных нелинейных явлений с множеством влияющих факторов системного и внесистемного характера. Поэтому реконструировать все события, происходящие на реальной станции, невозможно. Речь идет о прототипировании только значимых операций. Достоверность таких моделей следует определять как способность информационной среды реплицировать операции, регламентированные технологическим процессом станции, и корректно рассчитывать возможные положения объектов как следствия действия определённых факторов.

Воспроизведение работы железнодорожной станции в адекватном модельном аналоге с различной точностью реконструируемых физических процессов существенно расширяет возможности сферы прогнозирования отказов технических средств, оценки уровня безопасности выполняемых технологических операций при наступлении мажорных обстоятельств, а также проектирования более совершенных способов организации производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоткин И. М. Математическое моделирование технологических процессов. — М.: Либроком, 2011. — 416 с.
2. Моделирование технологических процессов. [Электронный ресурс]: Mode of access: http://life-prog.ru/1_11797_modelirovanie-tehnologicheskikh-protsessov.html. Доступ 27.10.2017.
3. Головнич А. К. Физические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта. — 2015. — № 4. — С. 25–34.
4. Головнич А. К. Технологические свойства объектов инженерной модели 3D-станции // Мир транспорта. — 2016. — № 2. — С. 34–42. ●

Координаты автора: **Головнич А. К.** – golovnich_alex@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 04.10.2017, принята к публикации 27.10.2017.

MODELS OF STATIONS WITH FUNCTIONALITY OF PROTOTYPES OF PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

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

ABSTRACT

Possibilities of model reconstructions of railway stations of different complexity level with the reproduction of technology of their operation on the basis of algorithms of correct physics of processes are considered. Realistic construction of models is emphasized by a 3D interpretation of the results of computational procedures,

with the help of which a visual image is formed, an ersatz structure of the station is created, and the meaningful properties of the prototyped objects are copied. At the same time, the space-time changes accompanying the modeling correlate with a set of nonlinear phenomena and a multitude of factors of a systemic and non-systemic nature.

Keywords: system, 3D station model, prototype, technology, physical processes, nonlinear phenomena, failure prediction.

Background. *The fulfillment of any technological operation is associated with the account of complex influence of various external and internal factors [1]. Therefore, for correct model interpretation of station technology, an important role is played by correct reflection of the bonds of interacting objects [2]. Objects in such a model must change their position in accordance with the laws of real-world physics. Model cars are considered [3] as pseudo-physical constructions of elements with elastic and rigid connections, possessing a certain inertia of motion and capable of moving under different forces through virtual railway tracks. Rotational movement of wheels of rolling stock, by analogy with real physical processes, is transformed into a progressive movement of a car.*

Modeling of any technological process is connected with the realization of a number of operations inheriting the content of each other [4]. The transition of the operation O_i to the technologically connected operation O_{i+1} is determined by the algorithm of the model technology that ensures the transfer of the achieved state of the object at the time of the completion of the operation O_i to the next position. Therefore, for each subsequent operation, a prediction image of its state, reached by the object at time t , is formed. The technological process that takes place during time T_k is divided into quanta so that $T_k = N_k \cdot \Delta t$, where N_k is the number of calculated points on the time scale of the process; Δt is the period of time between two adjacent quanta. It is assumed that the change in the state of the object occurs only at times that are multiples of Δt . As the number of quanta N_k increases and the distance Δt decreases between them, the visualized result of changing the position of objects on the corresponding 3D model becomes smoother and more realistic. In particularly dynamic processes (for example, the dissolution of cars from a hump), the period of time Δt can be variable and inversely proportional to the speed of the technological process.

If the technological operations are performed in a regular mode and have a cyclic character, then the change in the state of objects, defined as movement of cars along the tracks, can be associated with a fixed effect of traction forces of various types (locomotives, loading and unloading mechanisms, winches, etc.) and the inhibitory effect of the forces of resistance.

Objective. *The objective of the author is to consider models of stations with functionality of prototypes of physical and technological processes.*

Methods. *The author uses general scientific and engineering methods, comparative analysis, mathematical apparatus, simulation.*

Results.

Model reconstruction of the physics of technical system functioning. *A model of a system with an estimate of the influence of various factors is considered as an environment prototyping real processes with appropriate credibility. The adequacy of reconstruction of the virtual world of information images to real technical structures depends on accuracy of calculations of the influence of forces of different nature. Therefore, various model analogies for reconstruction of many regular and irregular effects and their cause-effect relationships will have different accuracy in reconstruction of physical and technological effects (Table 1).*

Of particular importance is the transfer of the results of the calculated states to the 3D installations, since it becomes possible to observe the change in the state of objects on the scale of a sufficiently perfect copy of the prototype real system.

The zero-level model. *The realization of such a model implies taking into account the influence of regular internal and external factors of a different nature. In this case, technological operations, repeated at specified intervals (arrival of trains, dissolution, delivery of cars for cargo operations, etc.) are decisive, and the accompanying multi-factor impact of factors is taken into account through some correction factor. The calculation is reduced to finding the values of displacement of objects under the action of a fixed force, proceeding from the identified object.*

The main object of this model is a car with such properties as dimensions, mass, speed. When modeling the motion of the car, the action of traction and resistance forces are taken into account, which provide a certain resultant effect on the design object and facilitate the movement of rolling stock along a model railway track with variable speed.

All changes in the state of objects in the zero-level model are determined by repetitive operations, which are performed in full accordance with the regulatory technology of the railway station (reception and departure of trains, loading and unloading of cars in the warehouse of a freight terminal, etc.). The model image of a cargo operation is a simple dynamic picture of filling of a car or its unloading with piece, bulk, bulk or other cargo, depending on the duration and nature of the operation.

The initial-level model. *The model car is considered as an info-object with a number of additional properties that characterize it in the systems of interaction «car-track», «car-cargo», «car-locomotive», etc. To the minimal set of properties characteristic for the zero-level model, other significant properties of the railway track are added (parameters*



Classification of model schemes for prototyping technological processes of the railway station

Model of the level	Appearance of objects	Functionality	Restrictions	Possible areas of application
Zero	Realistic 3D image of tracks and cars	Change in the state of objects under the influence of constant cyclic influences of the surrounding environment	Lack of consideration of the influence of factors of irregular action	Interactive learning technologies, application as animation illustrations in electronic textbooks
Initial	Forming of information 3D objects of the station	Integral assessment of the influence of multiple factors on the state of objects	No evaluation of the isolated influence of significant factors of irregular action on the state of objects	Studying dependence of the influence of significant factors of the irregular effect on the state of objects; development of methods of verification of initial-level models
Regulatory	Highly realistic in form and adequate in terms of content a model world in the dynamics of functioning processes	Application of the equilibrium regulator of the model system with elements of adaptive correction	The lack of a full-value mechanism of adaptation to sharp impacts, capable of removing the system from the region of stable equilibrium	Studying the properties of objects in the model environment, an adequate real technical system
Reproductive	Stably functioning model in autonomous mode with high reliability of prototyped processes	Behavioral functions of the model environment ensuring reconstruction of technological processes in the effective mode of a wide range of actions	Restriction of efficiency of the behavioral functions of the model medium under the major conditions	Studying the possibilities of the model reaction under normal conditions of technology reconstruction
Constructional	Appearance in the modern system of technically advanced and new objects	Self-reproducing environment of new capabilities of the prototyping system based on the use of polymorphic algorithmic structures	The impossibility of complete verification of prototyped technological processes under any conditions of functioning	Transformation of the model world into a physically tangible environment by means of technologies of three-dimensional printing of informational objects with their functioning in a self-sufficient mode

of the rail-sleeper grid, track superstructure and substructure, current condition, repair schedule, defects, etc.). The tandem bunch «car-track» allows to calculate the internal stresses and deformations of the track superstructure from shock loads transmitted by moving rolling stock.

A characteristic feature of the initial-level model is the calculation of the states of related objects that affect each other in the process of interaction. The prevailing object is a car that interacts with a railway track, a locomotive, cargo. Buildings and structures are present in this model, but as entourage objects. From the integral impact of other factors, the effects that reflect the contact of cars with track elements are identified.

The model of the regulatory level. In the real system, other external forces of different origin (load from gusts, temperature effects, defects in wheel sets of cars and rails, deformation of the track, etc.) exert a significant influence on the processes taking place. These influences form the environment of the fluctuation effect of factors, which together with the forces of traction and resistance determine the nature of performance of technological operations. In the model of the regulatory level, the presence of the fluctuation component is demonstrated by calculations of the variational forces of irregular action. The integral picture of the external influences of the initial-level model is decomposed into components with the study of the characteristics of the environment of the key performers of the technological process, the determination of their conjugation points and the identification of individual influence. The availability of

information on upcoming weather conditions, the condition of cars of arriving trains, the current state of the track allows to generate a forecasted fluctuation effects chart that corrects the specified course of technological operations.

In a real technical system, there is a regulatory norm, a kind of formally established (institutional) stamp of the state of objects, characterized by the position on the time axis of the deployment of the technological operation. Such a technological template usually does not bring the desired effect due to a number of non-systemic factors. Therefore, the target force influence on the object, leading to a change in its state, can be considered as a kind of impulse identical to the combined multifactorial influence of the external environment.

The regulatory level model contains a feedback loop. If, with a specific combination of parameter values, some achieved mode of work of the model was considered unsatisfactory (leads to dangerous situations, accompanied by the failure of devices, etc.), then in subsequent cycles this mode will be excluded.

The model of the reproductive level develops the feedback loops, forming fault-tolerant combinations of the values of the parameters of the functioning of objects and ensuring the growing completeness of the customized behavioral responses of the model system. In the process of work, the intellectual knowledge base accumulates, allowing to improve and optimize process modes with the formation of a model institutional stamp of the state of objects with possible deviations. The knowledge base contains multiparameter connected constructions with state-dependent values of not only

one object (homogeneous structures), but also several objects (heterogeneous structures) – for example, car and track, car, track and cargo. Heterogeneous structures are especially important for the reproductive model. They help to form new effective modes of station operation, which are absent in the practice of real technical systems.

The model of the constructive level has developed information means of adaptation to external influences with the adjustment of the system of technological support to the conditions of the technological operation. At the same time, the capabilities of the model environment, aimed at neutralizing the negative influence of the environment, are activated. For example, a program analysis shows that the strength of the wind is an important factor, the effect of which leads to significant economic losses during the dissolution of cars on the hump. The constructive algorithm of the model in response projects a protective structure with its subsequent commissioning of the prototyping image of the technical system.

In addition, the model can use measures that directly affect the causes of the occurrence of negative influences. The same wind impact on the process of the dissolution of cars from a hump can be ruled out by other means external to the railway stations. For example, with the help of climate stations, which extinguish air flows on the approaches to industrial centers and cities. Since we are talking about model measures, in the algorithm of the work of such megastructures at the level of designing processes and objects, global optimization regimes can be laid down with the release of the reconstructed environment beyond the boundaries of a separate transport point.

The model of the constructive level allows to correct the negative influence of the environment every time when repeated negative processes occur, resulting in significant costs. The introduction of new objects into the model system is only carried out when the calculations prove the possibility of reducing the overall losses of economic or other nature and ensuring more safe functioning of the entire reconstructive environment. Otherwise, the intelligent model environment seeks rational options for changing technology, minimizing any negative impact.

Thus, the constructive level model has the potential of object and process reconstruction. Object reconstruction is developing the model environment, expanding the numerical composition of objects, complements the existing variable resource in the architecture of the model environment. Process reconstruction is no less complicated, because it leads to a change in technology, being a powerful productive tool of non-local optimization. The combined use of object and process reconstructions in models of high intellectuality increases the chance to prototype developing environments, making projected and used technical systems really progressing.

Conclusions. Models of a functioning railway station can be formed as a series of coherent sequential program modifications. The zero-level model reconstructs only significant technical and technological properties of objects, determining the

overall picture of the development of processes. The following levels inherit the information images of the previous ones with the development of the interaction medium of objects in the direction of adequacy to the functional of prototyped images. Thanks to the mechanism of adaptation and use of an extensive knowledge base, the accuracy of reflecting the current technological processes is increased.

Actualization of model technological processes is provided by means of comparing the achieved states of prototyped objects to control points of the deployment cycle of real technological operations. These points can be fixed or vary depending on the nature of the complexity of the operations performed.

The realism of model structures is emphasized by the 3D interpretation of the results of all computational procedures. The representation of the final states of objects in the form of a three-dimensional reconstruction forms a visual image, creates an ersatz structure of the real station, copying the significant properties of the objects being modeled. The presence in the models of monitor and adaptive tuning circuits brings the reconstruction closer to real technical systems that function in a cyclic mode of balanced states of objects and ranges that are allowed by physical laws and technological requirements.

Simulation of space-time changes in objects and processes at the railway station affects the need to reproduce complex nonlinear phenomena with a multitude of influencing factors of systemic and extra-systemic nature. Therefore, it is impossible to reconstruct all events occurring at a real station. It is about prototyping only significant operations. The reliability of such models should be defined as the ability of the information environment to replicate operations regulated by the technological process of the station, and correctly calculate possible positions of objects as consequences of certain factors.

Reproduction of the work of the railway station in an adequate model analog with various accuracy of the reconstructed physical processes significantly expands the scope of forecasting failures of technical means, assessing the level of safety of the technological operations performed in the event of major circumstances, and also designing better ways of organizing production.

REFERENCES

1. Fedotkin, I. M. Mathematical modeling of technological processes [*Metodicheskoe modelirovanie tehnologicheskikh protsessov*]. Moscow, Librokom publ., 2011, 416 p.
2. Modeling of technological processes [*Modelirovanie tehnologicheskikh protsessov*]. [Electronic resource]: http://life-prog.ru/l_11797_modelirovanie-tehnologicheskikh-protsessov.html. Last accessed 27.10.2017.
3. Golovnich, A. K. Physical properties of objects of 3D station engineering model. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 4, pp. 25–34.
4. Golovnich, A. K. Technological properties of 3D station engineering model. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 2, pp. 34–42. ●

Information about the author:

Golovnich, Alexander K. – D.Sc. (Eng), head of the department of Transport nodes of Belarusian State Transport University, Gomel, Belarus, golovnich_alex@mail.ru.

Article received 04.10.2017, accepted 27.10.2017.



Инженерия и моделирование оптимального маневрирования судов с вихревыми двигателями



Николай ОСТРОУХОВ
Nikolai N. OSTROUKHOV

Екатерина ЧУМАКОВА
Ekaterina V. CHUMAKOVA



Остроухов Николай Николаевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры прикладной математики, информационных технологий и электротехники МАИ, Москва, Россия.
Чумакова Екатерина Витальевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики, информационных технологий и электротехники МАИ, Москва, Россия.

Engineering and Modelling of Optimal Maneuvering of Ships with Vortex Propulsion Units

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 22)

В статье представлено расчётно-теоретическое моделирование процессов маневрирования судов, оснащённых вихревыми двигателями, обоснованы гидродинамические принципы манёвра при изменении режимов генераторов вихрей и кинетической энергии, показаны способы раскрутки воды в зоне замкнутого течения («присоединённой массы») при переходе судна из состояния покоя в режим устоявшегося движения.

Предложены принципиальная схема дополнительного устройства к вихревым двигателям и алгоритмы компьютерного моделирования его использования для различных вариантов маневрирования.

Описаны преимущества судов с генераторами вихревых пар, в том числе тороидальных вихрей (термиков), эффективность двигателей которых увеличивается с ростом их габаритов.

Ключевые слова: водный транспорт, вихревые двигатели, кинетическая энергия, надводное судно, подводное (тороидальное) судно, лобовое сопротивление, течение в окрестности вихревой пары, лопатка, ротор, моделирование, оптимальный манёвр.

Преимущества вихревых двигателей [1–3] наиболее полно реализуются в установившемся режиме движения судов, т.е. с постоянной по значению и направлению скоростью. Такие суда практически не испытывают лобового сопротивления и потребляемая ими мощность на несколько порядков меньше, чем у судов, выполненных по традиционной схеме «корпус–двигатель», располагаемых друг за другом [4].

Природа преимуществ судов, описанных в [1], состоит в том, что двигатель не «проталкивает» корпус судна и себя сквозь воду или воздух, а будучи генератором вихревой пары [4] и погружённым в области замкнутого течения в окрестности этой пары, перемещается вместе с ней.

Отсутствие же лобового сопротивления при этом объясняется тем, что во всем пространстве вокруг вихревой пары реализуется течение с непрерывным распределением скорости (без скачков) [5–7]. Мощность, необходимая на поддержание такого течения и, собственно, на движение судна, обусловлена только диссипативными потерями, т.е. на вязкое трение на поверхности (границе) «генератор вихря – среда». Сле-

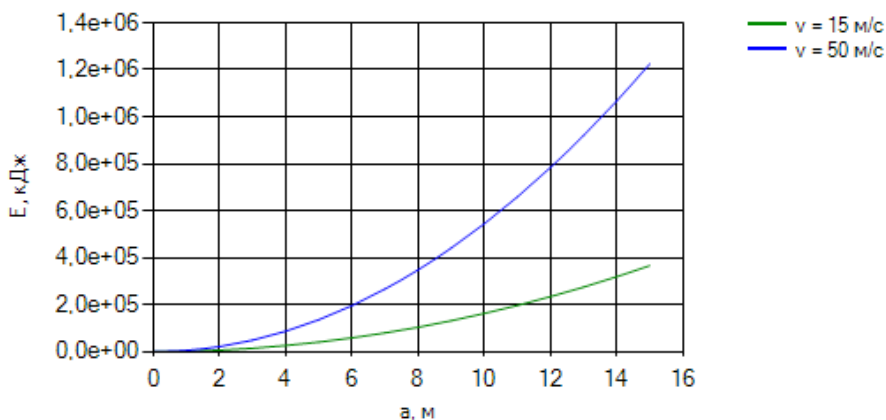


Рис. 1. Зависимость удельной (на погонный метр генератора) кинетической энергии «присоединённой массы» от радиуса генератора вихря.

дует напомнить, что у надводных судов с вихревыми движителями корпус располагается над поверхностью воды, а плавучесть судна обеспечивается объёмом генераторов вихрей, погруженных в воду.

Прочный корпус подводного судна имеет форму пустотелого герметичного тора, а его движителем и генератором вихря является сравнительно тонкостенная тороидальная оболочка, эквидистантная наружной поверхности корпуса и установленная с возможностью вращения относительно корпуса. Поскольку линейная скорость наружных поверхностей генераторов имеет кавитационные ограничения [1, 8], определяемые абсолютным давлением в водной среде, подводные суда с вихревыми движителями могут развивать скорость, существенно превышающую скорость надводных.

Очевидно, что масса воды (воздуха в случае дирижабля) в области замкнутого течения обладает кинетической энергией
$$E = \frac{\rho}{2} \oint_{\Omega} v(r)^2 d\Omega, \quad (1)$$
 где Ω – «присоединённый объём» воды, т.е. объём области замкнутого течения.

Для оценки E можно использовать соотношение

$$E = Dv^2, \quad (1')$$

где D – водоизмещение судна (кг), v – скорость его поступательного движения в установившемся режиме.

Указанная кинетическая энергия сообщается от генератора вихря присоединённой массе в течение всего времени от запу-

ска приводного движителя до выхода судна на установившийся режим. Значение E может быть весьма велико, причем тем больше, чем больше размер (водоизмещение) судна, так что генератор вихря, рассчитанный только на компенсацию диссипативных потерь, может сообщить эту энергию «присоединённой массе» за очень большое, возможно даже неприемлемое, время [1].

Из сказанного понятна необходимость разработки методов и устройств минимизации времени выхода на установившийся режим вихревых движителей судов.

1. Схемы изменения режимов вращения генераторов вихрей, обеспечивающих маневрирование судов, и потребные для этого энергозатраты.

Поскольку вектор скорости \vec{V} движения судна однозначно определяется конфигурацией течения «присоединённой массы» воды в замкнутой области, наиболее естественным способом воздействия на вектор представляется изменение характера непосредственно течения.

Вполне очевидно, что для изменения скорости движения на противоположную достаточно изменения на противоположные угловых скоростей вращения всех генераторов вихрей, что легко реализуемо как для надводных, так и подводных судов. Схемы изменения вращения роторов для коррекции вектора скорости на углы, отличные от π , для надводных судов с двумя роторными парами и для подводных судов представлены в таблице 1.



Сводная таблица изменений режимов вращения генераторов вихрей

Тип судна		Исходный режим	Переходный режим	Установившийся режим (после маневра)	Вектор скорости после маневра
		a	b	c	
Надводное судно	Поворот судна и вектора скорости на угол $\pi/2$				$V^* = V \exp\left(i\frac{\pi}{2}\right)$
	Поворот судна и вектора скорости на угол ϕ				$V^* = V \exp(i\phi)$ $\phi = k\omega\tau$
Подводное судно	Поворот судна и вектора скорости на угол ϕ				$V^* = V \exp(i\phi)$ $\phi = k\omega\tau$

Изменение направления вектора \vec{V} на угол $\pi/2$ (таблица 1, строка I) достигается изменением на противоположные вращений двух роторов, расположенных по диагонали, т.е. роторов различных вихревых. При таком маневре корпус надводного судна не поворачивается и в результате движется «бокком». Пространственная ориентация судна, включая систему роторов генераторов вихрей, не изменяется.

Поворот вектора скорости на угол от 0 до $\pi/2$ (таблица 1, строка II) достигается включением на некоторое время τ вращения всех роторов в одном направлении. При таком режиме судно, как целое, приобретает угловую скорость вращения ω^* , встречную к скоростям вращения роторов ω . Для более точной регулировки (ω^*) в одну сторону можно вращать не все, а любое не скомпенсированное число роторов. В результате судно разворачивается на угол $\phi = \omega^*\tau$.

Поскольку вектор скорости подводного (тороидального) судна ориентирован перпендикулярно срединной плоскости тора, для поворота вектора \vec{V} на любой угол, отличный от π , следует менять ориентацию срединной плоскости. Для этого достаточно изменить режим вращения диаметрально противоположных секций вращающейся оболочки подводного судна (таблица 1, строка III). Поворот судна, как целого, на определённый угол является протяжённым во времени процессом, в отличие от маневрирования с изменением направления вектора \vec{V} на углы π и $\pi/2$, представляющих собой набор отдельных дискретных действий (остановка и раскрутка роторов).

Маневр с поворотом на углы $0 \leq \phi < \pi/2$ надводных и на произвольные углы подводных судов осложняется необходимостью учёта инерционности, состоящей в том, что режим вращения роторов, инициирующий поворот судна, требуется за-

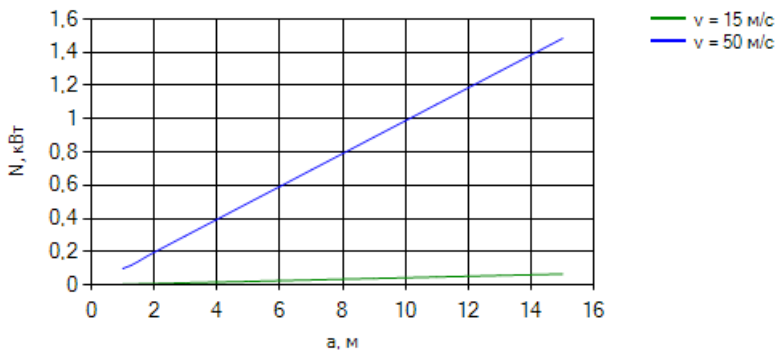


Рис. 2. Зависимость удельной (на погонный метр генератора вихря) мощности, передаваемой среде гладким ротором генератора вихря от радиуса генератора вихря.

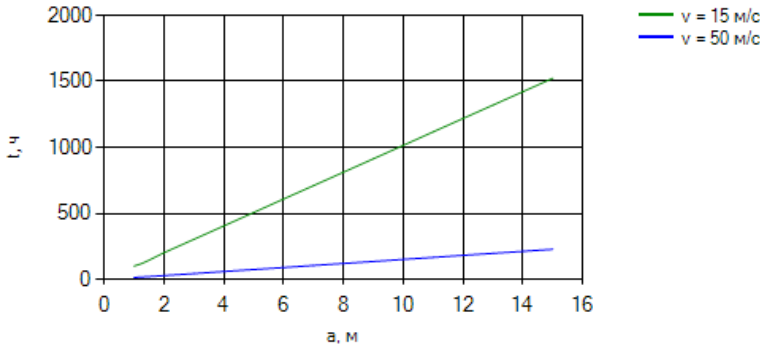


Рис. 3. Оценка времени раскрутки «присоединённой массы» гладким ротором.

медлять или прекращать до достижения заданного угла поворота, чтобы этот угол достигался вращением по инерции.

Энергозатраты на маневр в первом приближении равны удвоенной величине кинетической энергии в области замкнутого течения генераторов всех вихревых пар. Это обусловлено тем, что для сокращения времени маневра любое изменение режима вращения предполагает сначала принудительное прекращение вращения воды, установившегося до начала маневра, а затем раскрутку в новом направлении.

2. *Предельные оценки времени формирования замкнутого течения.*

Исходными данными для предельных оценок времени формирования замкнутого течения в окрестности вихревого движителя являются кинетическая энергия присоединенной массы среды в установившемся режиме E и мощность P, передаваемая среде от генератора вихря, выполненного по нескольким (по крайней мере, двум) конструктивным схемам.

Минимальная мощность, передаваемая жидкости, соответствует случаю гладкого цилиндрического ротора диаметра $d = 2a$, вращающегося в воде с угловой скоростью ω . Оценка сверху этой мощности – случай вращения в неподвижной воде.

Сила, действующая на один погонный метр ротора [9]:

$$F_{mp} = \mu 2\pi a \text{grad } u, \quad (2)$$

где μ – динамическая вязкость жидкости, а максимальный градиент скорости определяется следующим образом [10]:

$$\text{grad } u = \frac{v_{\max}}{\delta}. \quad (3)$$

Толщина погранслоя δ оценивается из соотношения

$$\delta = \frac{L}{\sqrt{\text{Re}}}, \quad (4)$$

где L – характерный линейный размер обтекаемого тела, Re – число Рейнольдса, которое определяется формулой

$$\text{Re} = \frac{2\pi a \rho u}{\mu}. \quad (5)$$

Однако величина $\text{grad } u$ уменьшается пропорционально расстоянию удаления от поверхности ротора, поэтому в качестве средней оценки примем $\text{grad } u = \frac{v_{\max}}{a}$.

Мощность, затрачиваемая на стадии раскрутки роторов, можно оценить из следующего соотношения:

$$N = F_{mp} v_{\max} = \mu 2\pi a \text{grad } u. \quad (6)$$

На рис. 2 представлена зависимость от радиуса ротора мощности, передаваемой



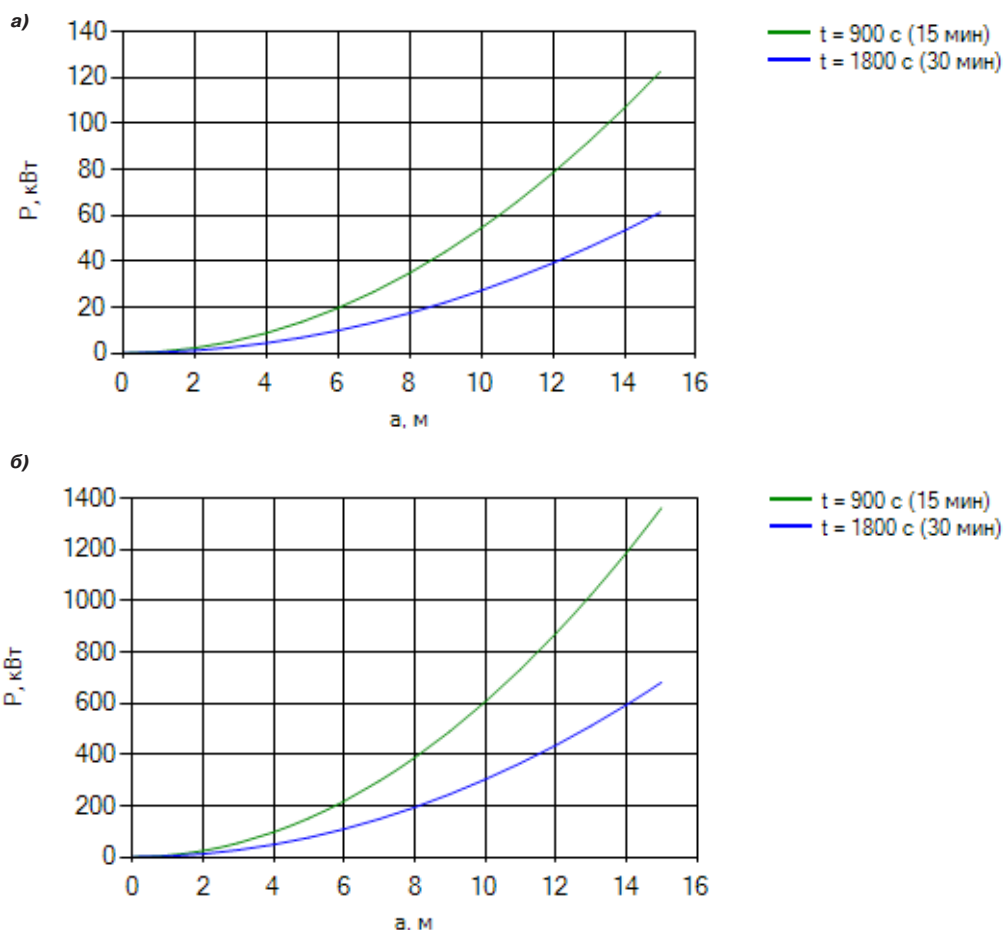


Рис. 4. Зависимость затрачиваемой мощности от радиуса ротора при заданном времени раскрутки (а – для надводного судна, б – для подводного судна).

неподвижной воде, а на рис. 3 – оценка времени раскрутки «присоединённой массы», $t = E/N$. Видно, что такой вариант практически неприемлем.

Другую оценку мощности, обеспечивающую раскрутку «присоединённой массы», можно сделать, задавшись приемлемым временем t , необходимым для начала движения, порядка 30 минут. На рис. 4 представлены расчётные зависимости потребной мощности для времени разгона 15 и 30 минут.

Простейший способ передачи такой увеличенной мощности – введение в конструкцию одной или нескольких лопаток. В случае одной лопатки, ориентированной в радиальном направлении ротора, при этом длинной, равной длине, образующей ротор, сила, действующая на неё при вращении ротора в неподвижной воде, составляет:

$$F_n = \frac{\rho v^2(r) S}{2}, \quad (7)$$

где $v(r)$ – местная линейная скорость лопатки, равная ωr ; r – радиальная координата лопатки; S – её площадь. Соответственно максимальная мощность, передаваемая лопаткой воде:

$$P = F_n v(r) = \frac{\rho v^3(r) S}{2}. \quad (8)$$

На рис. 5 представлены зависимости ширины одной лопатки, способной передать воде ранее определённую мощность $L(P)$, для различных радиусов роторов.

Можно показать, что мощность, передаваемая лопаткой, т.е. потребная на перестройку течения воды в области замкнутого течения, по крайней мере, на порядок меньше мощности, необходимой судну традиционной раздельной компоновки «корпус–двигатель» на преодоление ло-

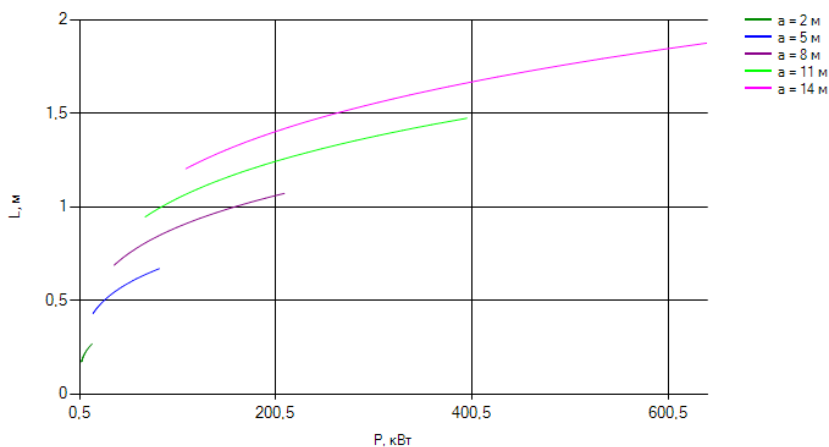


Рис. 5. Зависимость ширины продольной лопадки от мощности необходимой для разгона «присоединённой массы».

бового сопротивления с поперечным сечением корпуса порядка a^2 , и оценивается величиной отношения ширины лопадки к этому поперечному размеру — s/a .

3. Управляемый блок выдвигающихся лопаток с регулируемым углом атаки.

Лопатка с размерами, определенными в предыдущем разделе, передают воде рассчитанную мощность только непосредственно в момент запуска вращения ротора, когда вода неподвижна относительно лопадки и скоростной напор определяется скоростью движения лопадки. По мере разгона воды скорость лопадки относительно неё уменьшается на скорость воды и соответственно уменьшаются скоростной напор среды и мощность, передаваемая воде. Компенсировать снижение скоростного напора увеличением скорости лопадки нельзя, ибо линейная скорость лопадки не должна существенно отличаться от местной скорости воды в установившемся режиме. Наиболее очевидным способом увеличения передаваемой мощности в условиях непрерывно уменьшающейся разности скоростей лопадки и воды является увеличение эффективной площади лопадки. Кроме того, сравнительно ясно, что радиус вращения лопадки не должен оставаться неизменным в течение всего времени раскрутки «присоединённой массы», поскольку передача импульса непосредственно лопадкой отдельным слоям воды эффективнее, нежели передача этого импульса от одного из роторов вследствие вязкости. Другими словами, эффективная

раскрутка присоединенной массы каким-либо механическим устройством неизменной конфигурации невозможна.

На рис. 6 описана принципиальная схема управляемого блока выдвигающихся лопаток с регулируемым углом атаки.

В исходном состоянии лопадки, выполненные в форме длинных и сравнительно толстых пластин, располагаются в углублениях (пазах) внешней поверхности ротора генератора вихревой пары, так что одна их боковых поверхностей находится заподлицо с цилиндрической поверхностью ротора (рис. 7).

Каждая из лопадок закреплена на конце выдвигающего штока с возможностью поворота. Длина хода штока в радиальном направлении несколько (приблизительно на ширину лопадки) меньше расстояния от поверхности ротора до ближайшей границы области замкнутого течения.

Раскрутка «присоединённой массы» описанным блоком лопаток осуществляется следующим образом. Для привода ротора с блоком лопаток используется двигатель фиксированной мощности, задаваемой по времени раскрутки. Оболочка ротора приводится во вращение с расчётной угловой скоростью ω_0 . Программно-управляемый механизм выдвижения штоков поворачивает лопадки так, чтобы эффективная площадь обтекания последней соответствовала расчётной ширине одиночной лопадки, определенной в п. 2 (вариант — лопадка ориентируется либо по силе сопротивления, либо по мощности). Скорость выдвижения ло-



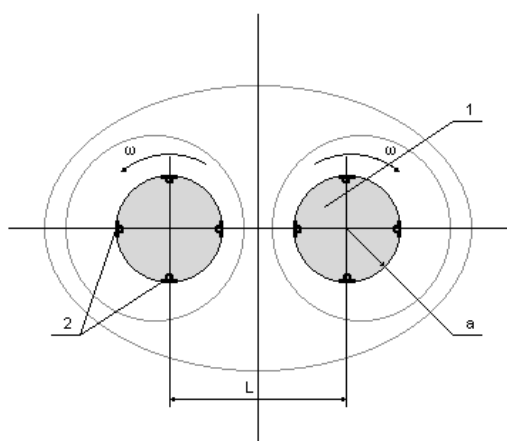


Рис. 6. Принципиальная схема управляемого блока выдвижных лопаток:
 1 – ротор генератора вихря, 2 – лопатки в режиме установившегося движения, а – радиус ротора, L – расстояние между роторами.

патки и последующего втягивания определяется по задаваемому времени раскрутки t : половину времени – на выдвижение и столько же – на возврат.

В процессе раскрутки угловая скорость вращения ротора изменяется по закону $\omega = \omega \cdot a/r$, где r – мгновенное значение радиуса, где находится центр лопатки.

Управление описанным блоком лопаток осуществляется на основе сравнения программных (расчётных) значений мощности, расходуемой на разгон воды, положения и ориентации лопаток, угловой скорости вращения ротора, скорости воды в различных точках области замкнутого течения и их фактических (измеренных) значений.

4. Разработка программного обеспечения моделирования механизма раскрутки «присоединённого объёма» среды.

Приведенные ранее графики являются справедливыми для узкого класса судов с определенными габаритными характеристиками. Очевидно, что нужен инструментарий в виде программного обеспечения, позволяющий получать оценочные характеристики выхода на стационарный (крейсерский) режим исходя из задаваемого типа судна (надводного или подводного) и его габаритных характеристик (водоизмещения). На основании изложенного математического аппарата можно формировать алгоритмическую последовательность вычисления характеристик, которые можно использовать в управлении судном. На

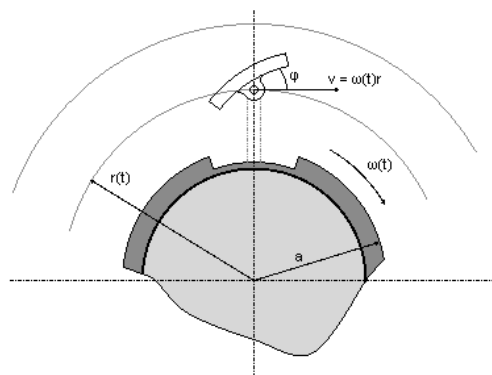


Рис. 7. Схема ротора с выдвижной лопаткой.

рис. 8 приведено окно разрабатываемого приложения.

Программное управление должно заключаться в том, что на основе полученных с датчиков измерений либо силе, действующей на лопатку, либо мощности, затрачиваемой на движение лопатки в воде, определяется эффективная ширина лопатки, отвечающая углу атаки в каждый момент времени раскрутки воды.

Для каждого размера судна находится ширина лопатки, достаточная для разгона судна за минимальное время. Эта ширина может оказаться неприемлемой для конструкции ротора, так как ширина лопатки должна быть много меньше радиуса ротора ($L \ll a$). Если по оценкам это условие не выполняется (при недостаточной мощности), надо использовать несколько лопаток в конструкции ротора, что позволит уменьшить их ширину. Причём в процессе управления следует учитывать синхронность их выдвижения и изменения углов атаки каждой для оптимального расхода мощности, затрачиваемой при раскрутке «присоединённой массы» воды.

ВЫВОДЫ

Выполнено расчётно-теоретическое моделирование процессов маневрирования водных судов с вихревыми движителями:

- сформулированы гидродинамические принципы маневрирования судов посредством изменения режимов вращения отдельных элементов генераторов вихрей;

- показано, что для эффективного использования вихревых движителей крупногабаритных подводных и надводных судов необходимо принятие специальных мер для

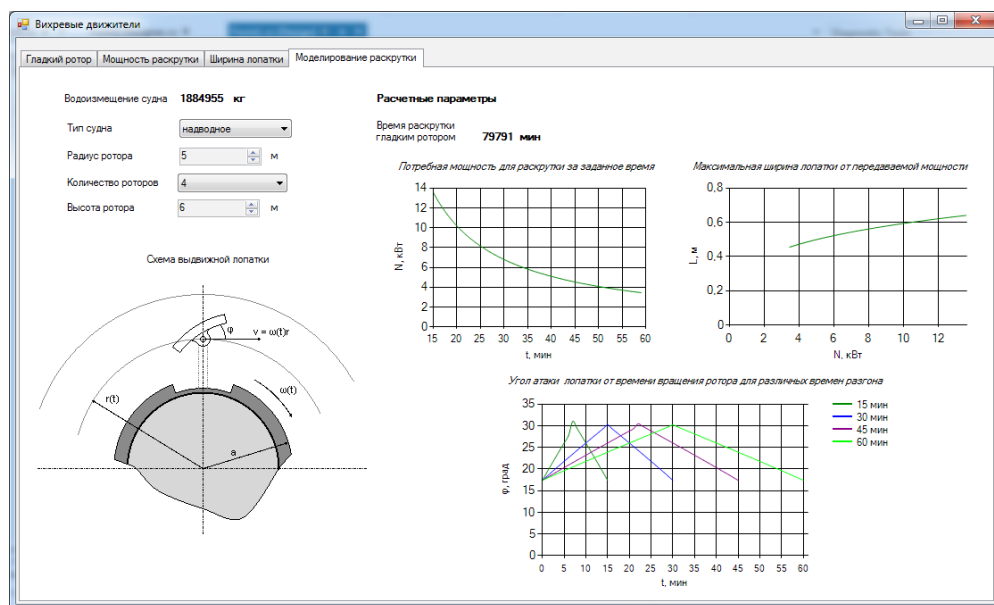


Рис. 8. Окно приложения, моделирующего алгоритм механизма раскрутки «присоединённого объёма» среды.

обеспечения разгона (раскрутки) воды в области замкнутого течения («присоединённой массы») за заранее задаваемое и приемлемое время, что, в свою очередь, требует реализации режима работы движителя, существенно отличного от его нагрузки при движении судна с установившейся скоростью;

— для судов с вихревыми движителями обоснована необходимость использования специальных устройств для раскрутки воды в области замкнутого течения («присоединённой массы») при переходе судна из состояния покоя в режим установившегося движения;

— предложена конструктивная схема управляемого блока выдвигаемых лопаток с регулируемым углом атаки, монтируемого на роторе генератора вихрей, обеспечивающая изменение режима течения «присоединённой массы» воды за задаваемое время;

— показано, что мощность, потребная для совершения маневров судов с вихревыми движителями (нужная в сравнительно малые промежутки времени), не превышает мощности, необходимой для преодоления лобового сопротивления судов традиционной компоновки того же водоизмещения;

— разработано программное обеспечение для оценки режима раскрутки «присоединённого объёма» среды; моделирование распределения скорости воды в области замкнутого течения позволило сформировать управляющие зависимости — значения углов атаки лопатки от заданного времени изменения режима течения «присоединённой массы» воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Остроухов Н. Н., Чумакова Е. В. Вихревые движители водных и воздушных судов // Мир транспорта. — 2016. — № 6. — С. 86–91.
2. Недоруб С. А., Остроухов Н. Н. Движитель транспортного средства. Патент СССР № 1533948, заяв. № 4286395/27–11 от 17.07.1987. Публ. 07.01.1990.
3. Остроухов Н. Н., Чумакова Е. В. Подводное или воздушное (дирижабль) судно. Заявка на изобретение № 2017122033 от 22.06.2017.
4. Симанович А. И. Конструкция корпуса промышленных судов. — М.: Мир, 2005. — 584 с.
5. Седов Л. И. Механика сплошной среды. Том 2. — М.: Наука, 1970. — 568 с.
6. Ламб Г. Гидродинамика: Пер. с англ. — М.: ОГИЗ, 1947. — 929 с.
7. Faber T. E. Fluid Fluid Dynamics for Physicists. Cambridge University Press, 1995.
8. Sir Thomson W. (Lord Kelvin). The translatory velocity of circular vortex ring // Phil. Mag. (4). — 1867. — Vol. 33. — Pp. 511–512.
9. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика. — Часть 1. — М., 1963. — 584 с.
10. Schlichting H. Boundary-layer theory. New York: McGraw-Hill, 1979. 817 p.

Координаты авторов: **Остроухов Н. Н.** – vtvnukde@mail.ru, **Чумакова Е. В.** – ekat.v.ch@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 24.08.2017, принята к публикации 21.10.2017.



ENGINEERING AND MODELING OF OPTIMAL MANEUVERING OF VESSELS WITH VORTEX PROPULSION UNITS

Ostroukhov, Nikolai N., Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia.
Chumakova, Ekaterina V., Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The paper proposes a schematic diagram of an additional device for vortex propulsion units of vessels and algorithms for computer simulation of their use for various maneuvering options.

The paper describes the advantages of vessels with propulsion units in the form of generators of vortex pairs, including toroidal vortices (thermals), the efficiency of propulsion units of which increases with the increase in their dimensions. A comprehensive analysis of the specifics of maneuvering of such vessels is presented. Practical inapplicability of traditional vessels' devices for changing the course of the vessel and unacceptable duration of reaching

steady-state modes and the stopping process when using only regular vortex generators are shown.

A sequence of actions with vortex generators is described for the main types of maneuvers. In the paper, a schematic diagram of an additional device (with an estimation of its physical dimensions) is proposed to the vortex propulsion units of vessels, which ensures unwinding or braking of the «attached» mass for a predetermined time with minimal loss of power. Algorithms for computer simulation of the change in the nature of the flow in the closed flow region are developed using the proposed additional acceleration device. It is shown that the algorithms implemented in the work can be used in the control of a real vessel.

Keywords: water transport, water vessels and aircraft with vortex propulsion units, surface and underwater (toroidal) vessels, flow in the vicinity of the vortex pair, drag, steady and transient modes, attached mass of water, blade, rotor.

Background. The development of the procedures of technical implementation of maneuvers of vessels with vortex propulsion units, including start of motion with the output to the steady-state mode, reverse process up to the stop of the vessel, change in the course from the conditions of pre-established time and minimal power consumed and principal non-use of traditional vessels' steering devices, as well as predesign of technical devices, which implement maneuvering.

Advantages of vortex propulsion units [1–3] are implemented to the fullest extent in the steady-state mode of vessels' motion, i.e. at speed constant in value and direction. Such vessels are almost not subject to drag and power consumed by them is some orders lower than the same of vessels, made using a traditional scheme «body–propulsion unit», located one after another [4].

The nature of advantages of vessels described in [1], is that the propulsion unit does not «push» the vessel's body and itself through water or air, but being a generator of a vortex pair [4] and immersed in areas of closed flows in the vicinity of this pair, moves together with it.

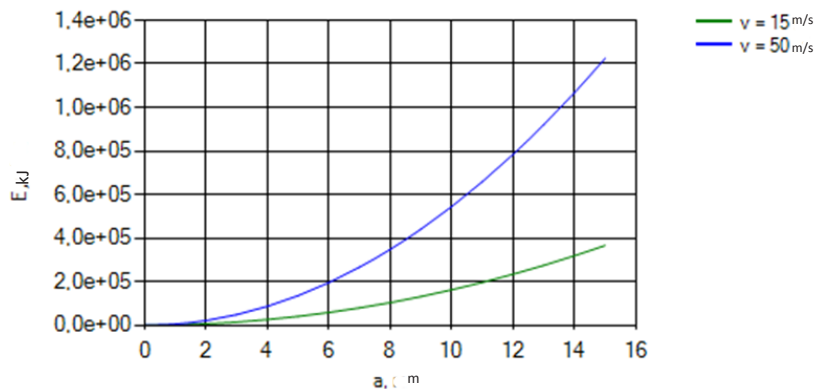
The absence of drag is explained by the fact that in the entire space around the vortex pair the flow with

continuous distribution of speed (without jumps) is realized [5–7]. The power to keep such flow and motion of vessels is due to the dissipative losses, i.e. for viscous friction on the surface (at the border) «vortex generator – medium». It should be noted that in surface vessels with vortex propulsion units the body is located above water and floatage of the vessel is ensured by the volume of vortex generators, immersed in water.

The rugged body of the submarine vessel is in the form of a hollow sealed torus, and its propulsion unit and vortex generator is a comparatively thin-walled toroidal shell, equidistant to the outer surface of the body and rotatable mounted relative to the body. Since the linear speed of the outer surfaces of the generators has cavitation limitations [1, 8], determined by the absolute pressure in the water environment, submarine vessels with vortex propellers can develop a speed much higher than the speed of the surface ones.

It is obvious that the mass of water (air in the case of an airship) in the closed flow region has kinetic energy

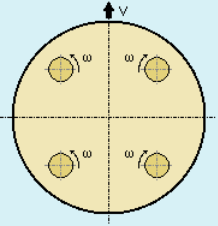
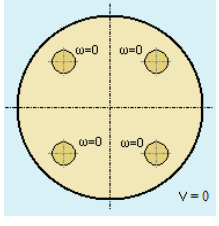
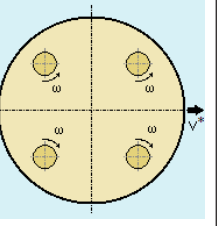
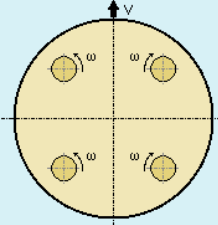
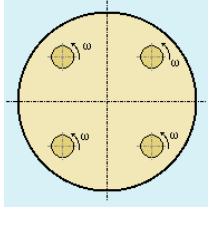
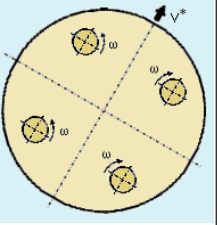
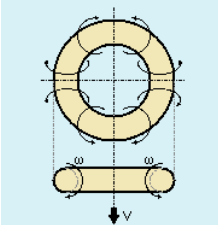
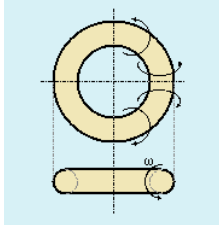
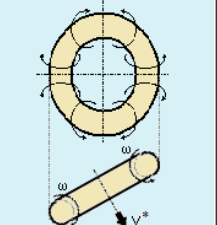
$$E = \frac{\rho}{2} \int_{\Omega} v(r)^2 d\Omega, \quad (1)$$



Pic. 1. Dependence of the specific (per generator's linear meter) kinetic energy of the «attached» mass on the radius of the vortex generator.

Table 1

Summary table of change in rotation modes of vortex generators

Vessel's type		Initial mode	Transient mode	Steady-state mode (after maneuver)	Speed vector after maneuver
		a	b	c	
Surface vessel	Vessel's rotation and speed vector by angle $\pi/2$ I				$V^* = V \exp\left(i \frac{\pi}{2}\right)$
	Vessel's rotation and speed vector by angle ϕ II				$V^* = V \exp(i\phi)$ $\phi = k\omega\tau$
Underwater vessel	Vessel's rotation and speed vector by angle ϕ III				$V^* = V \exp(i\phi)$ $\phi = k\omega\tau$

where Ω – attached volume of water, i.e. volume of the closed flow region.

To estimate E it is possible to use

$$E = Dv^2, \quad (1')$$

where D – displacement of the vessel (kg), v – speed of its translational motion in the steady state.

Said kinetic energy is transmitted from the vortex generator to the attached mass during the entire time from the start of the drive propeller to the exit of the vessel to the steady state. The value of E can be very large, and the larger the size (displacement) of the ship, so that the vortex generator, designed only to compensate for the dissipative losses, can transmit this energy to the attached mass for a very large, possibly almost unacceptable, time [1].

From what has been said, it is clear that it is necessary to develop methods and devices for minimizing the time to reach the steady-state mode of vortex propulsors of vessels.

From what has been said, it is clear that it is necessary to develop methods and devices for minimizing the time to reach the steady-state mode of vortex propulsion units of vessels.

Objective. The objective of the authors is to consider different aspects of engineering and modeling of optimal maneuvering of vessels with vortex propulsion units.

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

Results.

1. Schemes for changing the rotational regimes of the vortex generators that provide maneuvering of vessels, and the energy consumed for this.

Since the speed vector \vec{V} of the vessel is uniquely determined by the configuration of the flow of the «attached mass» of water in the closed region, the most natural way of affecting the vector is a change in the nature of the flow itself.

It is quite obvious that to change the speed of motion to the opposite one, it is sufficient to change the rotational speed of all the vortex generators to the opposite angular velocities, which is easily realized for both surface and underwater vessels. Schemes for changing rotor rotation for the correction of the velocity vector at angles other than π for surface vessels with two rotor pairs and for underwater vessels are presented in Table 1.

A change in the direction of the vector \vec{V} by an angle $\pi/2$ (Table 1, line I) is achieved by reversing the rotation of two rotors arranged diagonally, i.e. rotors of various vortex. With this maneuver, the body of the surface vessel does not rotate and as a result moves «sideways». The spatial orientation of the vessel,



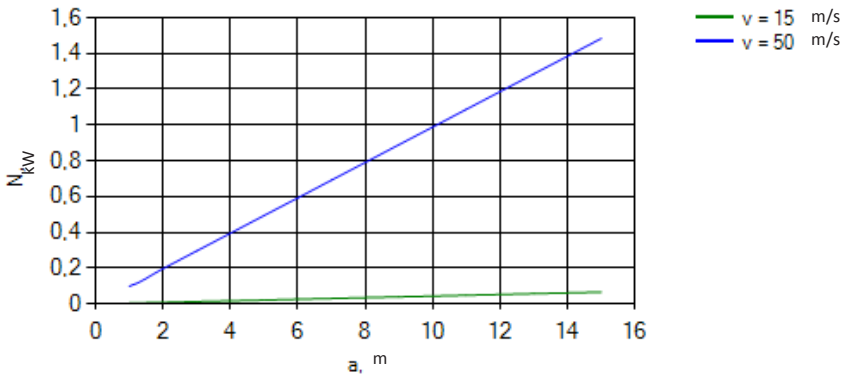


Fig. 2. Dependence of the specific (per running meter of the vortex generator) power transmitted to the medium by the smooth rotor of the vortex generator on the radius of the vortex generator.

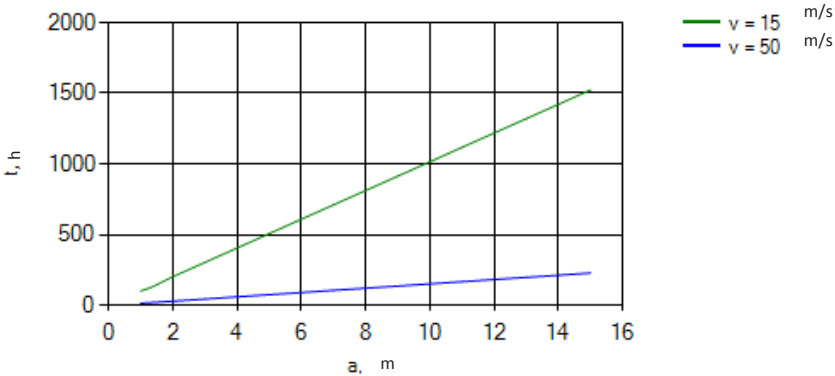


Fig. 3. Estimation of time of unwinding of the attached mass by a smooth rotor.

including the rotor system of the vortex generators, does not change.

Rotation of the speed vector by an angle from 0 to $\pi/2$ (Table 1, line II) is achieved by turning all rotors in the same direction for some time τ . In this mode, the vessel, as a whole, acquires the angular speed of rotation ω^* , which is opposite to the rotor speeds ω . For more precise adjustment (ω^*) in one direction, not all, but any uncompensated number of rotors can be rotated. As a result, the vessel turns on an angle $\varphi = \omega^* t$.

Since the speed vector of the underwater vessel (toroidal) vessel is oriented perpendicular to the median plane of the torus, to rotate the vector \vec{V} by any angle other than π , the orientation of the median plane should be changed. To do this, it is sufficient to change the rotation mode of the diametrically opposite sections of the rotating shell of the underwater vessel (Table 1, line III). Rotation of a vessel as a whole by a certain angle is a time-consuming process, in contrast to maneuvering with a change in the direction of the vector \vec{V} at angles π and $\pi/2$, representing a set of discrete individual actions (stopping and spinning of the rotors).

The maneuver with rotation to angles $0 \leq \varphi < \pi/2$ of surface and to arbitrary angles of underwater vessels is complicated by the need to take into account the inertia that the rotational mode of the rotors initiating the turn of the vessel must be slowed down or stopped before reaching a given angle of rotation so that this rotation angle to be achieved by inertia.

Energy costs per maneuver in the first approximation are equal to twice the value of the kinetic energy in the region of closed flow of generators of all vortex pairs. This is due to the fact that to reduce the time of maneuver, any change in the rotation mode implies first a forced stop of the rotation of water established before the start of the maneuver, and then unwinding in a new direction.

2. Limit estimates of a closed flow formation time.

The initial data for the limit estimates of the formation time of a closed flow in the vicinity of a vortex propulsion unit are the kinetic energy of the attached mass of the medium in the steady-state mode E and the power P transmitted to the medium from the vortex generator performed by several (at least two) design schemes.

The minimum power transmitted to the liquid corresponds to the case of a smooth cylindrical rotor of diameter $d = 2a$ rotating in water with angular speed ω . An estimate from above of this power is the case of rotation in immobile water.

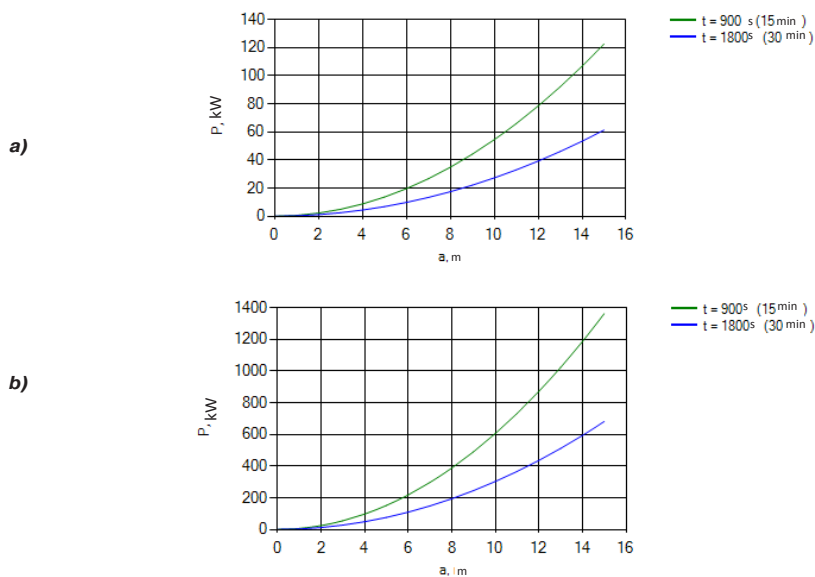
Force acting on one running meter of the rotor [9]:

$$F_m = \mu 2\pi a \text{ grad } u, \tag{2}$$

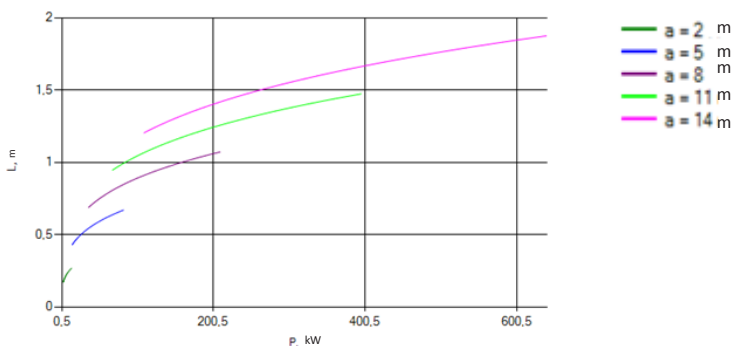
where μ – dynamic viscosity of the fluid, and the maximum speed gradient is defined as follows [10]:

$$\text{grad } u = \frac{v_{\max}}{\delta}. \tag{3}$$

The thickness of the boundary layer δ is estimated from relation



Pic. 4. Dependence of the power consumed on the radius of the rotor for a given unwinding time (a – for a surface vessel, b – for an underwater vessel).



Pic. 5. Dependence of width of the longitudinal blade on the power required to accelerate the attached mass.

$$\delta = \frac{L}{\sqrt{Re}}, \quad (4)$$

where L – characteristic linear dimension of the streamlined body, Re – Reynolds number, which is defined by formula

$$Re = \frac{2\pi a \rho u}{\mu}. \quad (5)$$

However the value $grad u$ decreases in proportion to the distance from the rotor surface, so we take as an average estimate $grad u = \frac{v_{max}}{a}$.

The power consumed at the stage of unwinding of rotors can be estimated from the following relationship:

$$N = F_{mp} v_{max} = \mu 2\pi a grad u. \quad (6)$$

Pic. 2 depicts the dependence of the power transmitted to the immobile water on the rotor radius, and Pic. 3 – estimation of the unwinding time of the attached mass $t = E/N$. It can be seen that this option is practically unacceptable.

Another estimation of the power that ensures the unwinding of the attached mass can be made by setting an acceptable time t , which is necessary to

start motion, on the order of 30 minutes. Pic. 4 shows the calculated dependencies of the required power for acceleration time of 15 and 30 minutes.

The simplest way to transfer such increased power is to introduce one or more blades into the design. In the case of a single blade oriented in the radial direction of the rotor, while the length of the rotor forming a length equal to the length, the force acting on it when the rotor rotates in immobile water is:

$$F_{bl} = \frac{\rho v^2(r)}{2} S, \quad (7)$$

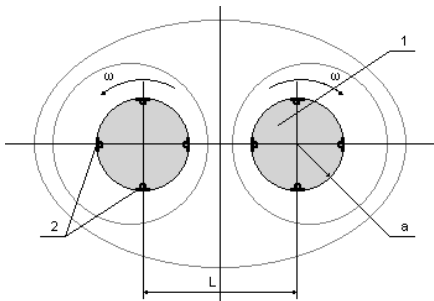
where $v(r)$ – local linear speed of a blade, equal to ωr ; r – radial coordinate of a blade; S – its area. Accordingly, maximum power transmitted by a blade to water:

$$P = F_{bl} v(r) = \frac{\rho v^3(r)}{2} S. \quad (8)$$

Pic. 5 shows the dependence of width of one blade, capable of transmitting the previously determined power $L(P)$ to water, for different radii of rotors.

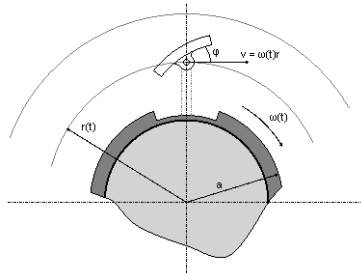
It can be shown that the power transmitted by the blade, i.e. the amount of water required for reconstructing the flow of water in the closed flow region is at least an order of magnitude less than the power required for a traditional split design «body-propulsion unit» to overcome drag with a cross section





Pic. 6. Schematic diagram of the controlled block of retractable blades:

1 – rotor of the vortex generator, 2 – blades in the steady-state motion mode, a – rotor radius, L – distance between the rotors.



Pic. 7. Scheme of a rotor with a retractable blade.

of the body of the order of a^2 and is estimated by the ratio of the width of the blade to this transverse dimension, i.e. s/a .

1. Controlled block of retractable vanes with adjustable angle of attack.

The blade with the dimensions defined in the previous section only transmits the calculated power to water only at the moment of starting the rotation of the rotor when water is stationary relative to the blade and the speed head is determined by the speed of blade motion. As water disperses,

speed of the blade relative to it decreases by the speed of water and, accordingly, the speed head of the medium and the power transmitted to the water decrease. It is impossible to compensate for the decrease in the speed head by increasing the speed of the blade, since the linear speed of the blade should not differ significantly from the local water speed in the steady state. The most obvious way to increase the transmitted power in a continuously decreasing difference in blade and water speeds is to increase the effective area of the blade. In addition, it is relatively clear that the radius of rotation of the blade should not remain unchanged during the entire unwinding time of the attached mass, since the transmission of the impulse directly by the blade to the individual layers of water is more effective than the transmission of this pulse from one of the rotors due to viscosity. In other words, the effective unwinding of the attached mass by any mechanical device of invariable configuration is impossible.

Pic. 6 is a schematic diagram of a controlled set of retractable blades with an adjustable angle of attack.

In the initial state, the blades, made in the form of long and relatively thick plates, are located in the recesses (grooves) of the outer surface of the rotor of the vortex generator, so that one of their lateral surfaces is flush with the cylindrical surface of the rotor (Pic. 7).

Each of the blades is fastened to the end of the retractable rod. The rod length in the radial direction is somewhat (approximately the width of the blade) less than the distance from the rotor surface to the nearest boundary of the closed flow region.

Unwinding of the «attached mass» by the described blade block is carried out as follows. To drive the rotor with a blade block, a fixed-power motor is used, which is set by the time of unwinding. The rotor shell is driven into rotation with a calculated angular velocity ω_0 . The software-controlled mechanism for extension of the rods rotates the blades so that the effective flow area of the latter corresponds to the design width of the single blade defined in point 2 (option – the blade is

Dead weight 1884955 kg

Type of ship

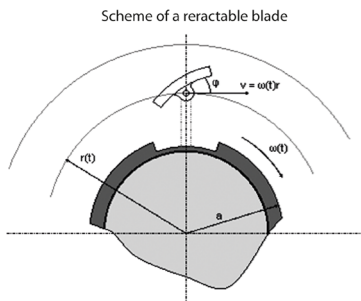
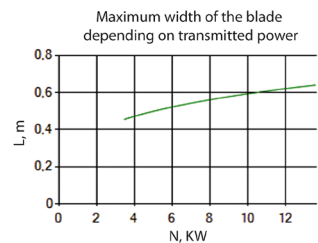
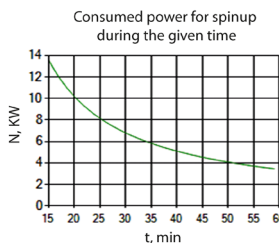
Radius of the rotor m

Number of rotors

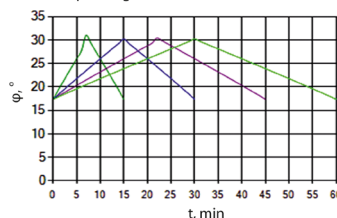
Height of the rotor m

Design parameters

Time of spinup of smooth rotor 79791 min



Incidence of blade depending on time of rotor rotation for different time of spinup



Pic. 8. The window of the application, which simulates the algorithm of the mechanism of unwinding of the «attached volume» of the medium.

oriented either by force of resistance or by power). The speed of blade extension and subsequent retraction is determined by the set up time t : half the time – for extension and the same for return.

During the unwinding process, the rotor's angular velocity changes according to the law $\omega = \omega_0 \cdot a/r$, where r is the instantaneous value of the radius where the center of the blade is.

The control of the described blade block is made by comparing the program (calculated) power values used for water dispersal, the position and orientation of the blades, the angular rotational speed of the rotor, the water velocity at various points in the closed flow region, and their actual (measured) values.

2. Development of software for modeling the mechanism of unwinding of the «attached volume» of the medium.

The above graphs are valid for a narrow class of vessels with certain overall characteristics. Obviously, a tool kit in the form of software is needed that allows to obtain estimated characteristics of the output to a stationary (cruising) mode based on a given type of vessel (surface or underwater) and its overall dimensions (displacement). On the basis of the stated mathematical apparatus, it is possible to form an algorithmic sequence of calculation of characteristics that can be used in vessel's control. Pic. 8 shows the window of the application being developed.

Programmed control should be based on the fact that the effective width of the blade, corresponding to the angle of attack at each instant of water unwinding time, is determined on the basis of the measurements obtained from the sensors or the force acting on the blade or the power expended on the blade movement in water.

For each vessel size there is a blade width sufficient for the vessel's acceleration in a minimum time. This width may be unacceptable for the design of the rotor, since the width of the blade should be much less than the radius of the rotor ($L \ll a$). If this condition is not estimated (with insufficient power), it is necessary to use several blades in the rotor design, which will reduce their width. At the same time, in the control process, one should take into account the synchronism of their extension and the change in the angles of attack of each for the optimal power consumption for unwinding of the attached mass of water.

Conclusions.

The computational and theoretical modeling of the maneuvering processes of water vessels with vortex propulsion units was performed:

- hydrodynamic principles of vessel's maneuvering by changing the rotation modes of individual elements of the vortex generators are formulated;

- it is shown that for effective use of vortex propulsion units for large-sized underwater and surface vessels, special measures are necessary to ensure the dispersal of water in the closed flow region («attached mass») in a predetermined and acceptable time, which

in turn requires implementation of the operating mode of the propulsion unit, which is substantially different from its load when the vessel moves at a steady speed;

- for vessels with vortex propulsion units, the necessity of using special devices for unwinding of water in the closed flow area («attached mass») is justified when the vessel moves from a resting state to a steady-state mode;

- a constructive scheme of a controlled block of retractable blades with a variable angle of attack mounted on the rotor of the vortex generator is provided, which ensures a change in the flow regime of the «attached mass» of water for a given time;

- it is shown that the power required to perform maneuvers of vessels with vortex propulsion units (necessary in relatively short intervals of time) does not exceed the power necessary to overcome the drag of traditional layout vessels of the same displacement;

- software was developed to evaluate the mode of unwinding of the «attached volume» of the medium; simulation of distribution of water speed in the closed flow region made it possible to form control dependences – the values of the blade's attack angles from the predetermined time of the change in the flow regime of the «attached mass» of water.

REFERENCES

1. Ostroukhov, N. N., Chumakova, E. V. Vortex Propulsion Units of Sea Vessels and Aircrafts. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 6, pp. 86–91.
2. Nedorub, S. A., Ostroukhov, N. N. Propulsion unit of a transport vehicle. USSR patent No. 1533948, appl. No. 4286395/27–11 dd. 17.07.1987. Publ. 07.01.1990 [*Dvizhitel' transportnogo sredstva. Patent SSSR № 1533948, zayv. № 4286395/27–11 ot 17.07.1987. Publ. 07.01.1990*].
3. Ostroukhov, N. N., Chumakova, E. V. Underwater or air (airship) vessel. Application for invention № 2017122033dd. 22.06.2017 [*Podvodnoe ili vozdušnoe (dirizhabl') sudno. Zayavka na izobretenie № 2017122033 ot 22.06.2017*].
4. Simanovich, A. I. Design of a body of a commercial vessel [*Konstruktziya korpusa promyslovyyh sudov*]. Moscow, Mir publ., 2005, 584 p.
5. Sedov, L. I. Continuum mechanics. Vol. 2 [*Mehanika sploshnoi sredy. Tom 2*]. Moscow, Nauka publ., 1970, 568 p.
6. Lamb, H. Hydrodynamics [*Gidrodinamika. Transl. from English*]. Moscow, OGIZ publ., 1947, 929 p.
7. Faber, T. E. Fluid Fluid Dynamics for Physicists. Cambridge University Press, 1995.
8. Sir Thomson W. (Lord Kelvin). The translatory velocity of circular vortex ring. *Phil. Mag.* (4), 1867, Vol. 33, pp. 511–512.
9. Kochin, N. E., Kibel, I. A., Roze, N. V. Theoretical hydromechanics. Part 1 [*Teoreticheskaya gidromekhanika. Chast' I*]. Moscow, 1963, 584 p.
10. Schlichting, H. Boundary-layer theory. New York: McGraw-Hill, 1979, 817 p. ●

Information about the authors:

Ostroukhov, Nikolai N. – Ph.D. (Physics and Mathematics), senior researcher, associate professor at the department of applied mathematics, IT and electrical engineering of Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia, vtvnukde@mail.ru,

Chumakova, Ekaterina V. – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor at the department of applied mathematics, IT and electrical engineering of Moscow Aviation Institute (National Research University) (MAI), Moscow, Russia, ekat.v.ch@rambler.ru.

Article received 24.08.2017, accepted 21.10.2017.



Параметризация исполнительных элементов перекачивающих электромеханических преобразователей



Константин КИМ
Konstantin K. KIM

Алексей ПРОСОЛОВИЧ
Aleksey A. PROSOLOVICH



Юлия КОЛОШЕНКО
Yuliya V. KOLOSHENKO

Ким Константин Константинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия.
Просолович Алексей Александрович – доцент Комсомольского-на-Амуре государственного университета, Комсомольск-на-Амуре, Россия.
Колошенко Юлия Борисовна – старший преподаватель КнАГУ, Комсомольск-на-Амуре, Россия.

Parameterization of Actuating Elements of Pumping Electromechanical Converters

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 37)

Рассматривается вопрос об обоснованности выбора параметров исполнительного элемента теплогенерирующих перекачивающих устройств с лопастными конструкциями. Эти устройства характеризуются низким гидравлическим сопротивлением рабочего канала, отсутствием традиционных опор и герметизирующих деталей, широким диапазоном конструктивных модификаций повышенной эффективности. Их особенностью является то, что несущим элементом выступает не традиционный вал, а наружная поверхность исполнительного механизма. В статье показано, какими именно параметрами используемых элементов обеспечиваются моделирование и управление процессами теплопередачи.

Ключевые слова: транспортная энергосистема, теплогенерирующее перекачивающее устройство, исполнительный элемент, параметры, 3D-модель, независимое управление.

Перекачивающие устройства с лопастными исполнительными элементами широко используются в промышленных и транспортных энергосистемах. Традиционно они представлены центробежными, осевыми или диагональными насосами, вентиляторами и компрессорами, агрегатированными с регулируемыми приводными электродвигателями. При этом, несмотря на такие достоинства, как существенное снижение гидравлического сопротивления рабочего канала, отсутствие опор и герметизирующих деталей, расширенный диапазон конструктивных модификаций повышенной эффективности, лишь незначительная часть лопастных устройств несущим элементом имеет не традиционный вал, а наружную поверхность исполнительного механизма. И это стало возможным только после появления принципиально нового типа функционально совмещённых перекачивающих электромеханических преобразователей (ПЭП), у которых исполнительный элемент является неотъемлемой частью приводного механизма [1–3].

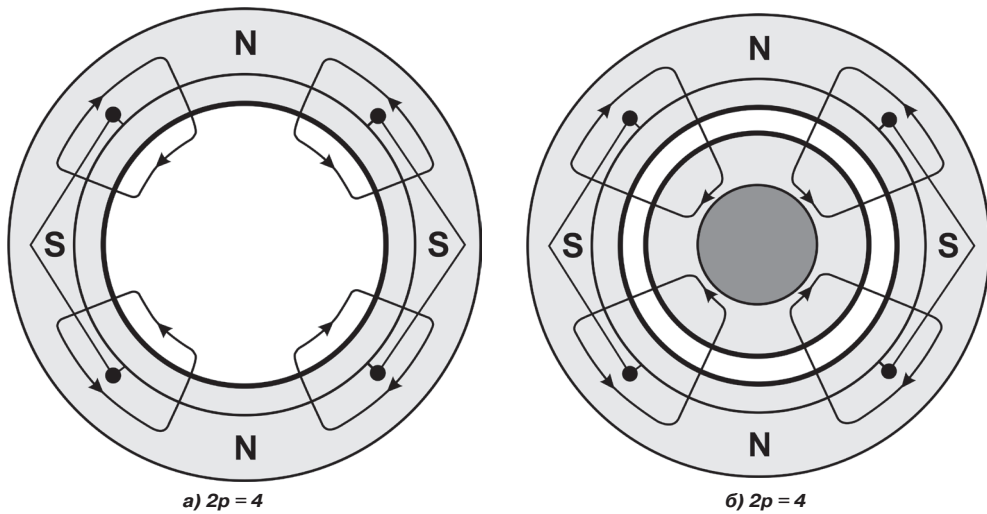


Рис. 1. Силовые линии магнитного поля при отсутствии (а) и наличии (б) внутреннего ферромагнитопровода.

ОТ ОБЩЕГО К ЧАСТНОМУ

Основной особенностью ПЭП как устройства для перемещения нагреваемой среды является чрезвычайно малое гидравлическое сопротивление, обусловленное отсутствием вала и классических подшипниковых узлов. В то же время такая конструкция при отсутствии внутреннего ферромагнитопровода характеризуется

значительным намагничивающим реактивным током и потребляемой мощностью, приводящим к нагреву герметичного статора ПЭП, что связано с повышенным магнитным сопротивлением намагничивающего контура и таким распределением электромагнитного поля, при котором большая часть его силовых линий проходит по немагнитному участку внутри устройст-

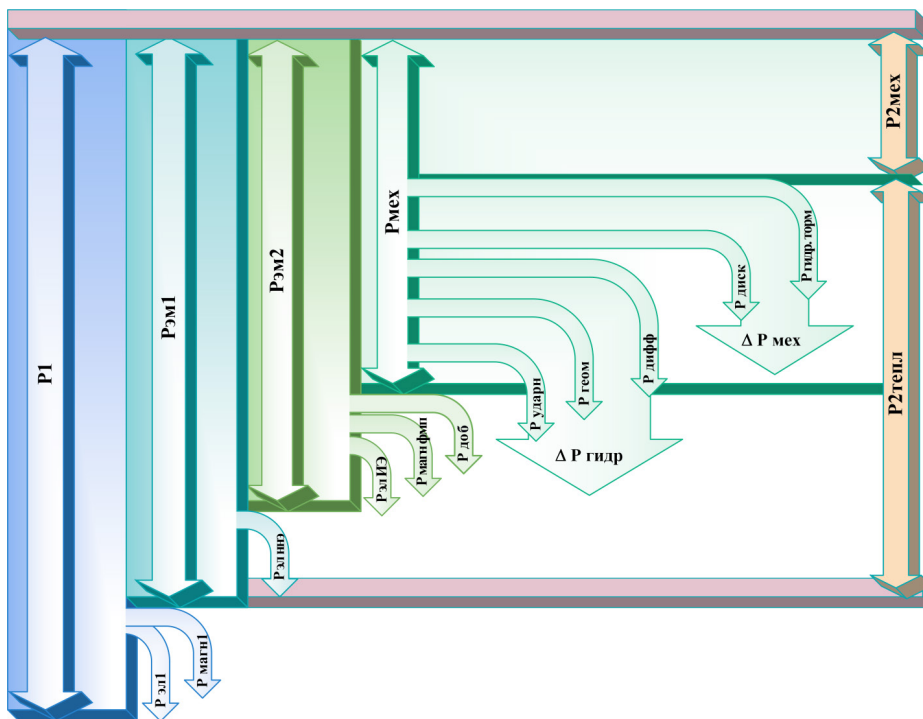


Рис. 2. Энергетическая диаграмма ПЭП.

ва. На рис. 1 для сравнения показано распределение магнитного поля во внутренней области ПЭП (а) и асинхронного двигателя (б) для четырёхполюсного исполнения.

Принцип действия ПЭП, поясняющий преобразование энергии в рассматриваемом совмещённом устройстве, основан на анализе процессов, характерных для традиционных электромеханических преобразователей.

На рис. 2 приведена энергетическая диаграмма ПЭП, на которой проиллюстрировано преобразование и распределение мощностей с выделением всех составляющих потерь, определяющих эффективность устройства.

Из диаграммы видно, что выходная мощность ПЭП представляет сумму тепловой и механической мощностей и определяется потребляемой мощностью P_1 . При этом мощность, идущая на перемещение и нагрев рабочей среды, составляет разность между P_1 и всеми потерями, за исключением электрических в первичной обмотке $P_{эл1}$ и магнитных — в стали герметичного магнитопровода $P_{магн1}$. Механическая мощность $P_{2мех}$ обеспечивает перемещение рабочей среды с заданными параметрами напора и производительности, а тепловая $P_{2тепл}$ — её нагрев до требуемой температуры. В установившихся режимах работы при скорости вращения исполнительного элемента, близкой к синхронной (n_1), тепловые параметры ПЭП будут определяться, главным образом параметрами неподвижного нагревательного элемента, в то время как исполнительный отразит производительность (расход) и давление (напор).

Перекачивающие электромеханические преобразователи конструктивно объединяют приводные, передаточные и исполнительные механизмы и при этом не имеют механических трансмиссий, редукторов, мультипликаторов, вариаторов и уплотнений. Совмещение выполняемых ими функций без ухудшения эксплуатационных характеристик делает их перспективными при реконструкции и замене существующего оборудования.

Анализ научных источников [4–8] показывает, что основные исследования ПЭП направлены на комплексное обеспечение их эксплуатационной надёжности, а вопросы проектирования и оптимизации па-

раметров непосредственно исполнительных элементов (ИЭ) преобразователей остаются на втором плане из-за отсутствия адекватных математических моделей процессов массопереноса при взаимосвязанном учёте электромагнитных, гидравлических, тепловых, механических воздействий.

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Параметризация исполнительных элементов, позволяющая установить их основные геометрические соотношения, предполагает несколько этапов:

1. Предварительное определение конфигураций и объёмов зон с различными типами течения жидкости на основе теории пограничного слоя.

2. Параметризация модели, одновременно обеспечивающей точность отображения тепловых и гидравлических процессов и ограничивающей сложность математических представлений, необходимых для её анализа.

3. Построение трёхмерной геометрической твёрдотельной параметрической модели.

4. Задание начальных и граничных условий, ограничений-равенств, ограничений-неравенств, критериев оптимизации.

5. Обеспечение возможности организации итерационного вычислительного эксперимента на основе экспертных оценок субоптимальных параметров исполнительного элемента.

6. Проведение вычислительного эксперимента на базе виртуальной трёхмерной модели.

7. Определение весовых коэффициентов проектных параметров.

8. Проверка адекватности модели сравнением результатов вычислительного и натурального экспериментов.

Анализ гидродинамических условий применительно к исполнительным элементам ПЭП показывает, что априорное задание точных начальных и граничных условий невозможно из-за сложности распределения элементов потока перекачиваемой среды, обусловленной неравномерностью профиля скоростей потока, его турбулентностью, образованием неучитываемых разрывных течений, застойных зон, циркуляций, температурных градиентов и свя-

занных с ними течений, междуфазовыми процессами тепломассообмена.

Параметризация исполнительного элемента может быть выполнена с использованием смешанной модели, описывающей совокупность взаимосвязанных областей потока с различными характеристиками [9–11]. Модель применима как для простых идеализированных режимов течения (смещения, вытеснения, вытеснения с диффузией), так и для сложных (частично несмешиваемых, обратно-циркуляционных, струйных потоков). Основное условие применения модели идеального смешивания – требуемая интенсивность перемешивания обеспечивается автоматически вследствие наличия вращающегося исполнительного элемента. Модель идеального вытеснения предполагает поршневой характер течения среды и отсутствие перемешивания потока. При этом время движения среды определяется отношением объёма внутреннего канала ПЭП к объёмному расходу, как в трубчатых теплообменных аппаратах при турбулентном течении жидкости с равномерным профилем скорости.

Идентификация характерных целевых областей тепломассообмена, показанная на рис. 3, произведена на основе анализа процессов идеального смешивания (интенсивность циркуляции потока приводит к равномерному перемешиванию поступающей и находящейся в канале среды с радиальной скоростью \bar{v}_r) и идеального вытеснения (поток состоит из равномерно движущихся с одинаковой осевой скоростью \bar{v}_z частиц перемещаемой среды).

Смешанная модель позволяет рассматривать два условно независимых процесса: нагрев и перемещение среды, причём процесс перемещения является определяющим как интенсивность теплоотвода от стенки канала, так и производительность ПЭП.

ВЫБОР ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЭ

Предварительный выбор основных проектных параметров исполнительного элемента, характеризующих процесс массопереноса в ПЭП, может быть сделан с помощью модели идеализированного однофазного и одноступенчатого источника

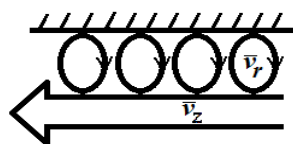


Рис. 3. Комбинированная модель тепломассообмена.

механической мощности, имеющего бесконечно большое число плоских лопастей единичной толщины, перемещающих физическую среду. Такая модель соответствует конструкции в виде совокупности двух статических торцевых колец, соединяющих напорные лопасти, с переменным числом лопастей, вариацией геометрических размеров и углов входа/выхода потока.

На этом этапе главенствует методика определения скоростей однотипных технических устройств для перемещения жидкости и газов, основанная на использовании уравнения Эйлера, позволяющего рассчитать напорные характеристики лопастного устройства по известному распределению скоростей в рабочем канале:

$$gH = u_2 v_{2u} - u_1 v_{1u},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор, м; u_1 – тангенциальная скорость на входе лопасти, м/с; u_2 – тангенциальная скорость на выходе элемента – лопасти ИЭ, м/с; v_{1u} – тангенциальная составляющая абсолютной скорости на входе, м/с; v_{2u} – тангенциальная составляющая абсолютной скорости на выходе, м/с.

Для перехода к реальному элементу необходимо учесть:

- число лопастей ИЭ, которое зависит от функционального назначения ПЭП (низко-, средне-, высоконапорное) и составляет для низконапорных устройств не более 10–12;

- проектные параметры: наружный диаметр ИЭ – d ; длина ИЭ – l ; толщина ИЭ – t ; количество колец ИЭ – n_k ; количество рёбер ИЭ – n_p ; ширина кольца ИЭ – w_k ; ширина ребра ИЭ – w_p ; длина лопасти – l_n ; толщина лопасти – t_n ; высота лопасти – h_n ; количество лопастей – n_n ; угол установки лопасти – α ; диаметр внутреннего ферромагнитопровода (ФМ) – d_ϕ ; длина ФМ – l_ϕ ; толщина ФМ – t_ϕ (рис. 4);

- объёмные, гидравлические и механические потери.



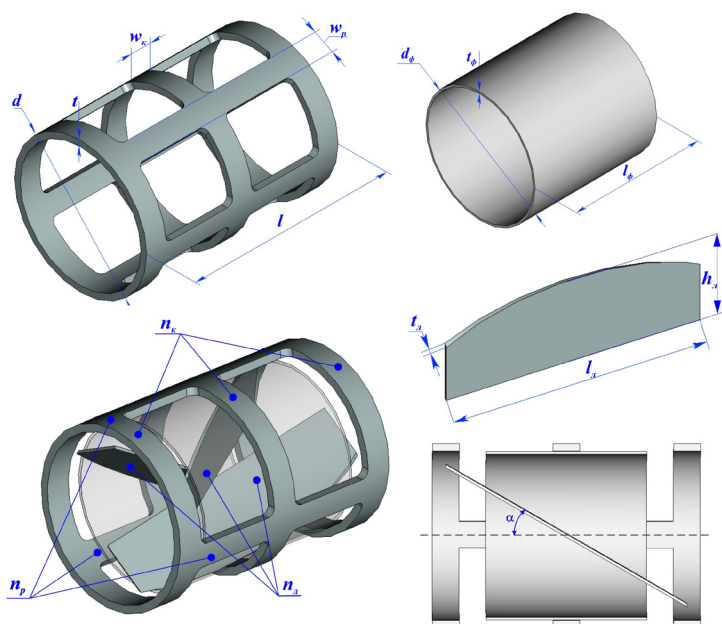


Рис. 4. К выбору проектных параметров ИЭ ПЭП.

СОЗДАНИЕ 3D-МОДЕЛИ

Предварительный выбор проектных параметров ИЭ позволяет перейти к этапу создания трёхмерной твёрдотельной параметрической модели ИЭ. Отсутствие априорной информации о значимости отдельных параметров обуславливает необходимость исследования и оценки их влияния на его выходные характеристики на основе теории планирования эксперимента.

Нахождение субоптимального варианта ИЭ требует создания его гибкой вариативной геометрической модели. Эта задача решается с использованием технологии параметризации на базе системы автоматизированного проектирования T-FLEX CAD.

Реализация проекта параметрической 3D-модели начинается с 3D-фрагментов отдельных деталей ИЭ. Процесс моделирования разбивается на два этапа:

1. Создание геометрии проектируемого объекта (построение профилей, выполнение операций 3D-моделирования, позиционирование деталей в сборочной модели).
2. Задание параметров проектируемого объекта (линейные, угловые размеры, количество элементов) и их значений (чисел, переменных, выражений).

Модель сборочной единицы «исполнительный элемент» включает фрагменты: корпус ИЭ, ферромагнитопровод, лопасть и позволяет реализовать в T-FLEX CAD возможность управления геометрической

формой элементов сборки. Передача значений параметров выполняется при помощи внешних переменных фрагмента (например, диаметр, длина, толщина корпуса ИЭ, диаметр, длина, толщина ФМ, длина, высота лопасти); количеством элементов сборки (например, количеством рёбер и колец корпуса ИЭ, количеством лопастей); положением элементов сборки (например, углом наклона лопастей).

Проектные параметры при параметризации элементов сборочной модели ИЭ делятся на две группы. К группе основных переменных относятся: наружный диаметр — d ; длина — l ; толщина — t ; количество колец — n_k ; количество рёбер — n_p ; ширина кольца — w_k ; ширина ребра ИЭ — w_p . В группу вспомогательных переменных корпуса ИЭ входят: угол кармана — $alfa_karm$ и длина выталкивания — dl_vyt .

При формировании трёхмерной сборочной параметрической модели ИЭ обеспечивается связь внешних переменных деталей (3D-фрагментов) с переменными сборочной единицы. Таким образом, параметры сборочной единицы автоматически изменяют параметры 3D-фрагментов в зависимости от значений входных данных. Параметризация позволяет получить различные конструктивные варианты ИЭ и перейти к оценке влияния размерных соотношений на процесс теплообмена в целевых областях.

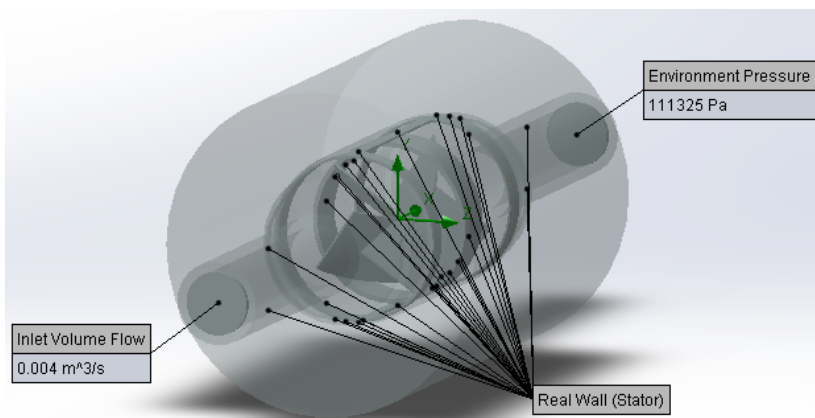


Рис. 5. Задание граничных условий.

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ И УСЛОВИЯ-ОГРАНИЧЕНИЯ

Факторы, ограничивающие выбор значений параметров ИЭ, определяются совокупностью процессов, протекающих в ПЭП, и его конструктивными особенностями. Анализ процессов тепломассопереноса показывает, что критериями выбора параметров могут служить:

- для электромагнитных процессов — допустимая плотность тока и допустимое значение индукции в элементах магнитной цепи, определяемые с учётом условий теплообмена с рабочей средой;
- для механических процессов — предел прочности элементов конструкции в статических и динамических режимах;
- для гидравлических процессов — минимальное гидравлическое сопротивление, создаваемое исполнительным элементом;
- для тепловых процессов — обеспечение допустимых значений температуры рабочей среды на выходе канала.

В качестве граничных условий задаются входной объёмный расход (Inlet Volume Flow 0,004 м³/с) и давление на выходе (Environment Pressure 111325 Па), для канала (Stator) граничное условие — Real Wall (рис. 5).

Исходя из конфигурации областей моделирования и рекомендаций, приведённых в [1], можно ограничить диапазоны варьирования отдельных параметров ИЭ.

Так, наружный диаметр и длина ИЭ выбираются из условий:

$$d < D_1; l < l_1,$$

где D_1 , l_1 — внутренний диаметр и длина канала.

Толщина ИЭ определяется условиями минимального гидравлического сопротив-

ления и необходимой механической прочности:

$$0 < t \leq k_n \cdot t_{\text{доп}},$$

где k_n — коэффициент надёжности, учитывающий конструктивные особенности и технологию производства ИЭ, принимаемый по общемашиностроительным методикам и составляющий 1,1–1,2 для сплошного цилиндра; $t_{\text{доп}}$ — минимальная толщина ИЭ, получаемая с учётом пределов механической прочности.

Количество торцевых колец ИЭ принимается $n_k = 2$, исходя из условия замыкания вторичного тока ПЭП. При необходимости повышения механической прочности ИЭ и обеспечения возможности размещения напорных лопастей n_k может быть увеличено, но это не должно приводить к ухудшению условий теплообмена при движении рабочей среды относительно стенки канала.

Ширина рёбер w_p и колец w_k ИЭ выбираются по допустимой плотности тока в условиях вынужденной конвекции, с учётом механических нагрузок и по результатам гидравлического расчёта.

Количество рёбер n_p выбирается из условия:

$$n_p = \frac{M_2}{(l - 2w_k)w_p t \cdot \sigma_{\text{доп}}},$$

где M_2 — вращающий момент, приложенный к ИЭ; $\sigma_{\text{доп}}$ — допустимый предел прочности материала.

Длина лопасти l_l ограничивается величиной угла установки α и внутренним диаметром ФМ и выбирается в диапазоне $0 < l_l \leq l_{l,\text{max}}$.



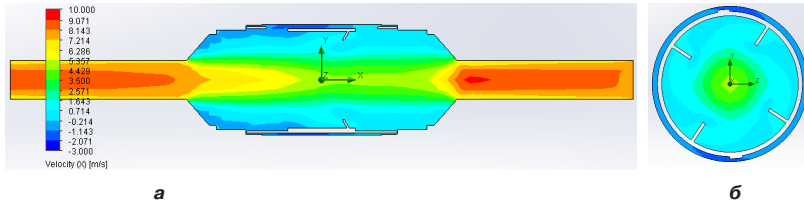


Рис. 6. Визуализация результата расчёта поля скоростей в продольном (а) и поперечном сечении (б) канала.

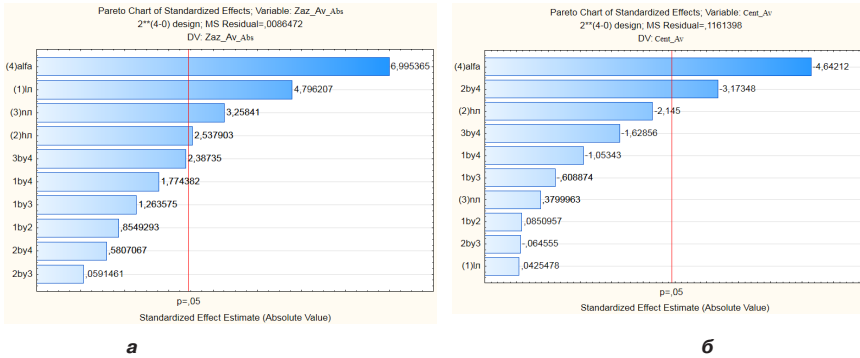


Рис. 7. Диаграммы Парето.

Диапазон вариации угла установки лопасти $\alpha - 0-45^\circ$.

Толщина лопасти выбирается в соответствии с минимальным гидравлическим сопротивлением и необходимой механической прочностью:

$$0 < t_{л} \leq k_n \cdot t_{доп},$$

где $t_{доп}$ – минимальная толщина лопасти, получаемая с учётом пределов прочности материала и результатов механического расчёта лопасти.

Высота лопасти ограничивается внутренним диаметром ФМ $h_{л} < 0,5d_{\phi}$.

Наружный диаметр и длина ФМ должны удовлетворять условиям $d_{\phi} < d - t; 0 < l_{\phi} < l - 2w_{к}$.

Толщина внутреннего ферромагнитопровода, определяющая его внутренний диаметр и соответственно гидравлическое сопротивление проточной части, предварительно выбирается равной минимальной ширине зуба статора $t_{\phi} = b_{\zeta}$.

Минимальное количество лопастей выбирается из условия симметрии $n_{л} \geq 2$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ

Процесс моделирования перемещения рабочей среды визуализируется в виде поля скоростей с использованием CFD (computational fluid dynamics) технологий

на базе модуля Flow Simulation системы SolidWorks [12]. Вариация геометрии ИЭ осуществляется автоматически программой для параметрического моделирования. Значения параметров определяются исходя из плана полнофакторного эксперимента. Количество получаемых файлов соответствует числу опытов в плане эксперимента. Файлы параметров используются при обновлении геометрической модели ИЭ.

Пример результатов расчёта поля скоростей в продольном (а) и поперечном сечении (б) для целевой зоны идеального вытеснения канала показан на рис. 6.

Для предварительной оценки влияния проектных параметров ИЭ на среднюю скорость перемещения среды берётся средневзвешенное значение скорости по графическому отображению поля скоростей.

На основании диаграмм Парето определяются значимые факторы: для целевой зоны идеального смешивания – угол установки лопасти α , длина лопасти $l_{л}$, количество лопастей $n_{л}$, высота лопасти $h_{л}$ (рис. 7а); для целевой зоны идеального вытеснения – угол установки лопасти α и совместное влияние α и $h_{л}$ (рис. 7б).

На рис. 8а,б,в показаны поверхности отклика для значимых факторов $\alpha, l_{л}, n_{л}$ в целевой зоне идеального смешивания.

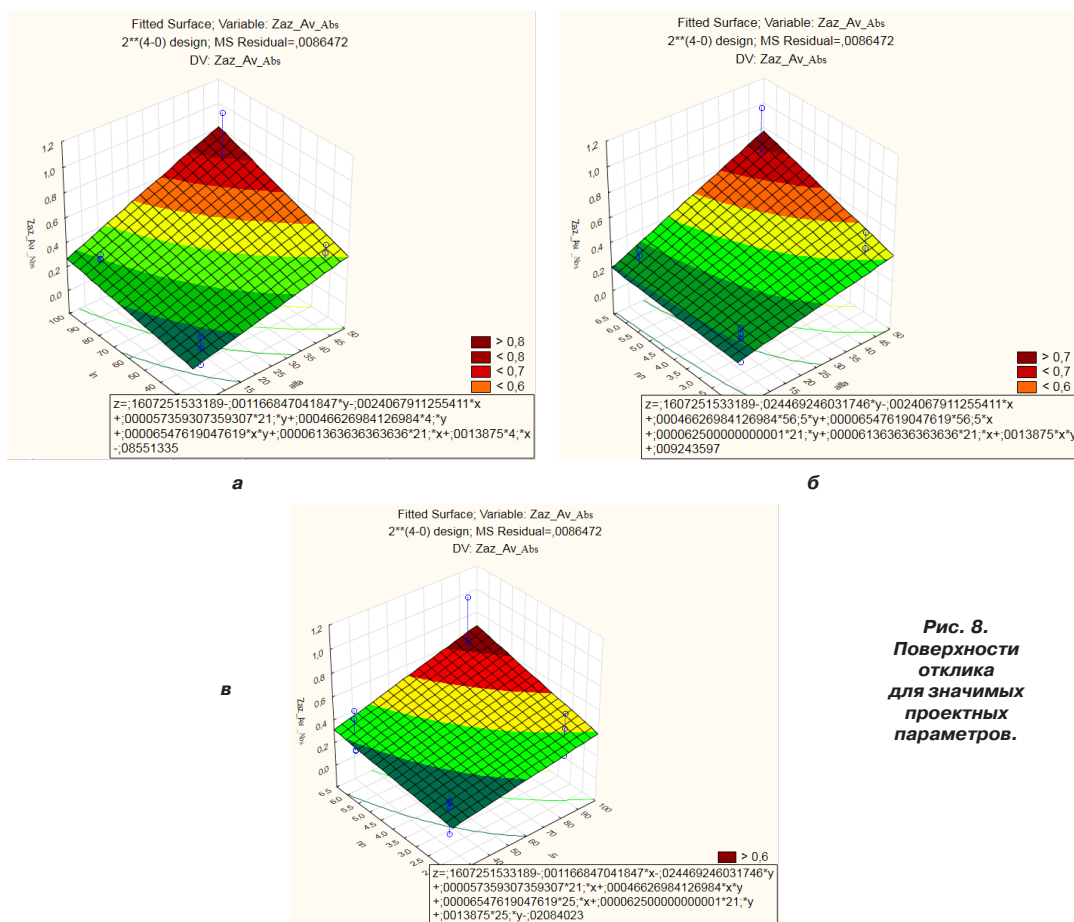


Рис. 8.
Поверхности отклика для значимых проектных параметров.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗНАЧИМЫХ ПАРАМЕТРОВ

Представленные в виде поверхностей отклика на рис. 8 результаты моделирования позволяют провести анализ влияния значимых проектных параметров на величину осевой составляющей скорости перемещения рабочей среды.

Основной значимый параметр – высота лопасти h_d , нелинейно связанная с осевой составляющей $Cent_{Av}$ (рис. 9, построен для доверительного интервала).

Начальное увеличение скорости объясняется увеличением площади лопастей и незначительным перекрытием лопастями центра рабочего канала. Выбор значений h_d , превышающих критическое значение (18 мм), приводит к уменьшению скорости и снижению производительности ПЭП.

Следующим по значимости является угол установки лопасти α , одновременно влияющий на процессы теплообмена, что не позволяет его использовать для

раздельного управления выходными параметрами преобразователя.

В меньшей степени на процесс массообмена влияет длина лопасти l_d , которая оказывается третьим по значимости параметром.

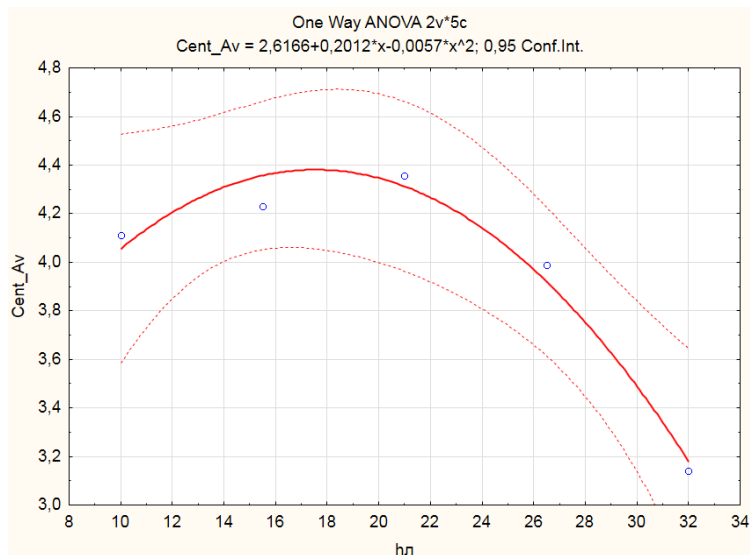
Количество лопастей n_d на основном этапе исследований оказалось незначимым, однако при дальнейшем моделировании совместный учёт количества лопастей и угла наклона лопасти $n_d + \alpha$ сделал параметр пятым по значимости. При угле установки 45° количество лопастей n_d стало четвёртым в параметрическом рейтинге.

Толщина корпуса ИЭ t оказалась наиболее значимым параметром для зоны идеального смешивания, в которой параметр t и осевая составляющая скорости обратно коррелированы.

В целом анализ влияния значимых параметров показывает, что для раздельного управления можно использовать: в зоне идеального смешивания – t, l_d, n_d , в зоне идеального вытеснения – h_d .



Рис. 9. Зависимость осевой составляющей скорости рабочей среды от высоты лопасти.



ВЫВОДЫ

1. Область исследования перекачивающих электромеханических преобразователей может быть представлена двумя несвязанными подобластями: идеального смешивания и идеального вытеснения.

2. Осевая составляющая скорости в канале является функционалом для определения производительности преобразователя и его теплового состояния.

3. Априорно основными проектными параметрами исполнительного элемента выступают его наружный диаметр, длина и толщина, количество и ширина колец и рёбер, длина, толщина, высота, угол установки и количество лопастей, размеры внутреннего ферромагнитопровода.

4. Параметры исполнительного элемента по значимости распределены следующим образом: высота лопасти, угол её установки, длина лопасти, количество лопастей, толщина корпуса.

5. Независимое управление процессом теплопередачи обеспечивают параметры — t , l_d , n_d , процессом перемещения — h_d .

ЛИТЕРАТУРА

1. Kim K. K., Karpova N. S., Prichodchenko O. V. Analysis of the influence of design factors on the winding reliability of heating electromechanical transducers // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2013. — Вып. 2. — С. 26–31.

2. Kim K. K., Иванов С. Н., Шпилев М. А., Ткачук А. А., Кулиниченко Н. Ю. Энергосберегающая система электроотопления // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2013. — Вып. 1. — С. 84–89.

3. Kim K. K., Мартыанов М. В., Иванов С. Н., Просолович А. А. Постановка задачи исследования устойчивости теплоотвода в элементах герметичных электромеханических преобразователей // Учёные записки КНАГТУ. — 2015. — № III-1. — С. 26–31.

4. Kim K. K., Иванов С. Н. Некоторые вопросы определения показателей надёжности теплогенерирующих электромеханических преобразователей // Известия вузов. Электромеханика. — 2008. — № 6. — С. 13–17.

5. Иванов С. Н. Проектирование элементов электротехнических комплексов для систем отопления транспортного назначения // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2010. — Вып. 3. — С. 105–114.

6. Иванов С. Н., Kim K. K., Голоколос Д. А., Карпова Н. С. Анализ влияния конструктивных факторов на надёжность герметичных электромеханических преобразователей // Учёные записки КНАГТУ — 2013. — № IV-1. — С. 29–34.

7. Иванов С. Н., Уханов С. В. Определение параметров теплогенерирующих электромеханических преобразователей // Энергоснабжение и водоподготовка. — 2009. — № 1. — С. 56–61.

8. Иванов С. Н., Kim K. K., Уханов С. В. Основы проектирования гидроэлектродинамических теплогенераторов // Электро. — 2008. — № 4. — С. 14–16.

9. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача: Учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1975. — 488 с.

10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя: Пер. с нем. — М.: Наука, 1974. — 712 с.

11. Деменок С. Л. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в трубах и каналах: Монография. — СПб.: Н-ПромБюро, 2012. — 304 с.

12. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 448 с. ●

Координаты авторов: **Ким К. К.** — kimkk@inbox.ru, **Просолович А. А.** — prosolovich.aa@email.knastu.ru, **Колошенко Ю. Б.** — koloshenko.yb@email.knastu.ru.

Статья поступила в редакцию 12.07.2017, принята к публикации 06.10.2017.

PARAMETERIZATION OF ACTUATING ELEMENTS OF PUMPING ELECTROMECHANICAL CONVERTERS

Kim, Konstantin K., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.
Prosolovich, Aleksey A., Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia.
Koloshenko, Yuliya B., Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia.

ABSTRACT

The question of validity of the choice of an actuating element of heat-generating pumping devices with blade structures is considered. These devices are characterized by low hydraulic resistance of a working channel, absence of support and sealing

parts, a wide range of design modifications of increased efficiency. Their feature is that the supporting element is not the traditional shaft, but the outer surface of the actuating element. The article shows what parameters of the elements used ensure modeling and control of heat transfer processes.

Keywords: transport power system, heat-generating transfer device, actuating element, parameters, 3D model, independent control.

Background. Pumping devices with blade actuating elements are widely used in industrial and transport power systems. Traditionally, they are represented by centrifugal, axial or diagonal pumps, fans and compressors, aggregated with adjustable drive motors. However, despite such advantages as a significant reduction in hydraulic resistance of the working channel, the lack of supports and sealing parts, an expanded range of design modifications of increased efficiency, only in a small part of blade devices a bearing element is not a traditional shaft, but the outer surface of the actuating element. And this became possible only after the appearance of a fundamentally new type of functionally combined pumping electromechanical converters (PEC), in which the actuating element is an integral part of the drive mechanism [1–3].

Objective. The objective of the authors is to consider parameterization of actuating elements of pumping electromechanical converters.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, simulation, comparative analysis.

Results.

From general to specific

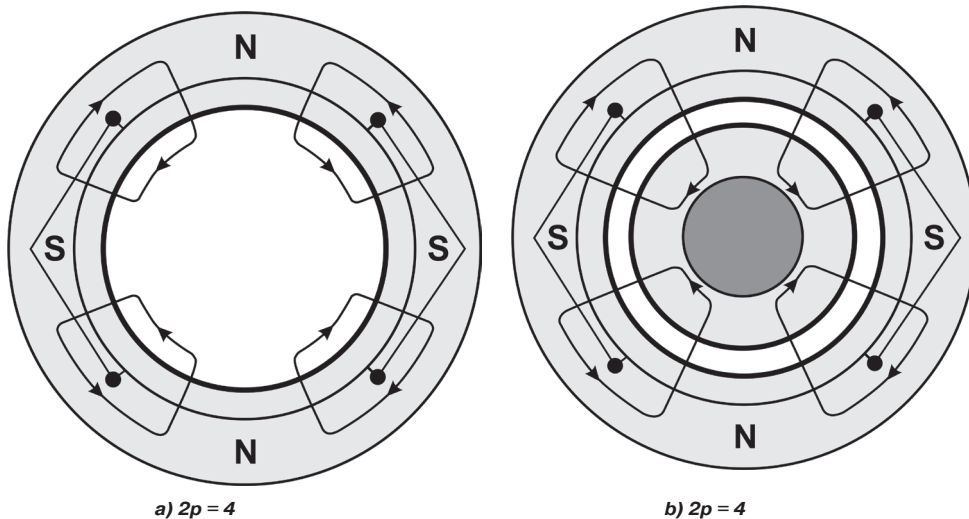
The main feature of PEC as a device for transfer of the heated medium is an extremely low hydraulic resistance due to the lack of a shaft and classical

bearing assemblies. At the same time, such a design, in the absence of an internal ferromagnetic conductor, is characterized by a significant magnetizing reactive current and power consumption, leading to heating of the hermetically sealed stator of PEC, which is associated with an increased magnetic resistance of the magnetizing circuit and distribution of the electromagnetic field in which a large part of its power lines passes through a non-magnetic section inside the device. Pic. 1 shows for comparison, the distribution of the magnetic field in the inner region of PEC (a) and the induction motor (b) for a four-pole version.

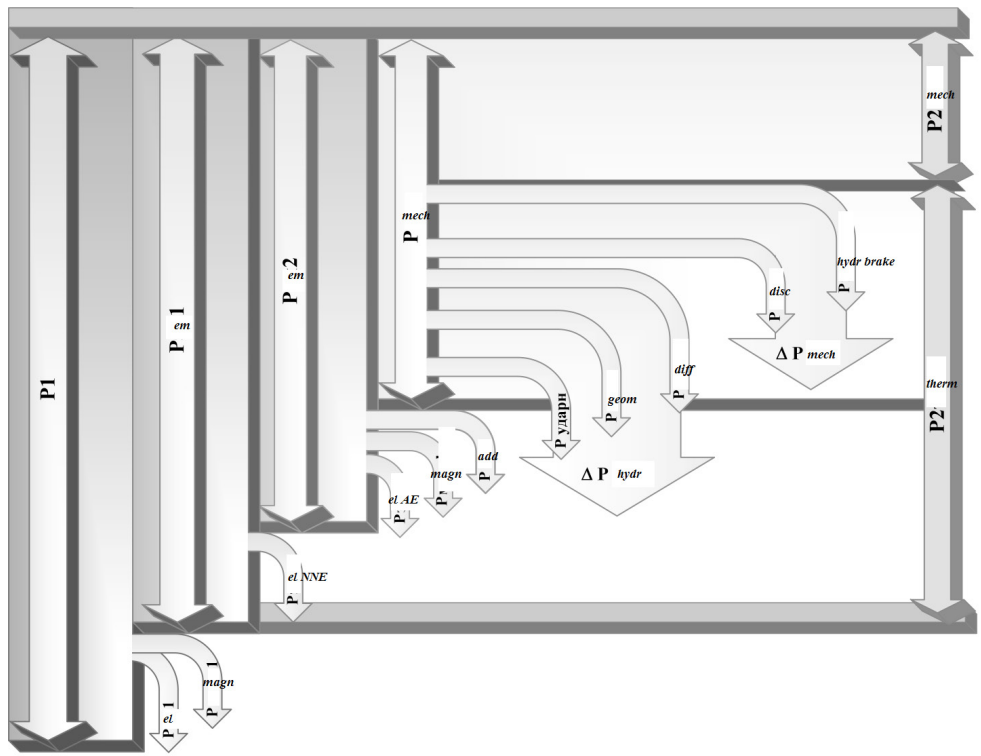
The principle of PEC operation, which explains energy conversion in the considered combined device, is based on the analysis of processes typical for traditional electromechanical converters.

Pic. 2 shows the energy diagram of PEC, which illustrates conversion and distribution of power with allocation of all components of losses that determine efficiency of the device.

It can be seen from the diagram that the output power of PEC represents the sum of thermal and mechanical powers and is determined by power consumption P_1 . In this case, the power going to move and heat the working medium is the difference between P_1 and all losses, except for electrical losses in the primary winding P_{el1} and magnetic losses in the



Pic. 1. Field lines of the magnetic field in absence (a) and presence (b) of the internal ferromagnet.



Pic. 2. Energy diagram of PEC.

steel of the tight magnetic core P_{magn1} . Mechanical power P_{2mech} provides movement of a working environment with the set parameters of pressure and productivity, and thermal P_{2therm} – its heating to the demanded temperature. In steady-state operation modes at a speed of rotation of the actuating element close to synchronous (n_s), the thermal parameters of PEC will be determined mainly by the parameters of the stationary heating element, while the actuator reflects productivity (flow rate) and pressure (head).

Pumping electromechanical converters constructively integrate drive, transmission and actuating mechanisms and at the same time do not have mechanical transmissions, reducers, multipliers, variators and seals. The combination of the functions performed by them without deteriorating the performance characteristics makes them promising for reconstruction and replacement of existing equipment.

Analysis of scientific sources [4–8] shows that the main research of PEC is aimed at comprehensive maintenance of their operational reliability, and the issues of designing and optimizing the parameters of

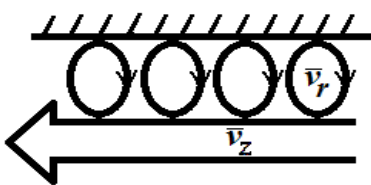
the direct actuating elements (AE) of converters remain in the background because of the lack of adequate mathematical models of mass transfer processes with an interconnected accounting for electromagnetic, hydraulic, thermal, mechanical effects.

Algorithm of identification

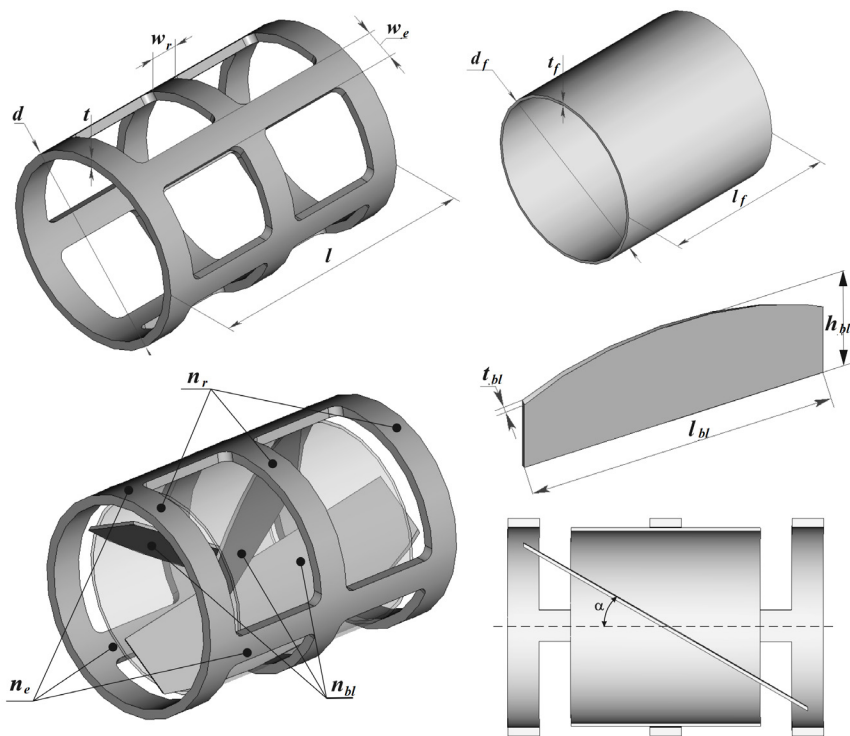
Parameterization of actuating elements, which allows to establish their basic geometric relationships, involves several stages:

1. Preliminary determination of configurations and volumes of zones with different types of fluid flow based on the theory of the boundary layer.
2. Parameterization of the model, which simultaneously ensures the accuracy of mapping of thermal and hydraulic processes and limits the complexity of mathematical representations necessary for its analysis.
3. Construction of a three-dimensional geometric solid-state parametric model.
4. Assignment of initial and boundary conditions, constraints-equalities, constraints-inequalities, optimization criteria.
5. Ensuring the possibility of organizing an iterative computational experiment on the basis of expert assessments of the suboptimal parameters of the actuating element.
6. Conducting a computational experiment on the basis of a virtual three-dimensional model.
7. Determination of the weight coefficients of design parameters.
8. Testing the adequacy of the model by comparing the results of computational and full-scale experiments.

Analysis of the hydrodynamic conditions with respect to the actuating elements of PEC shows that



Pic. 3. Combined heat and mass transfer model.



Pic. 4. To a selection of design parameters of AE of PEC.

the a priori specification of the exact initial and boundary conditions is impossible because of the complexity of the distribution of the flow elements of the pumped medium due to the unevenness of the flow velocity profile, its turbulence, the formation of unrecognizable discontinuous currents, stagnant zones, and associated currents, interphase heat and mass transfer processes.

Parameterization of the actuating element can be performed using a mixed model describing a set of interconnected flow areas with different characteristics [9–11]. The model is applicable both for simple idealized flow regimes (mixing, displacement, displacement with diffusion), and for complex (partially immiscible, back-circulating, jet streams). The main condition for using the ideal mixing model is that the required mixing intensity is provided automatically due to the presence of a rotating actuating element. The model of ideal displacement presupposes the piston nature of the flow of the medium and the absence of flow mixing. In this case, the time of motion of the medium is determined by the ratio of the volume of the internal channel of PEC to the volumetric flow, as in tubular heat exchangers in the turbulent flow of a fluid with a uniform velocity profile.

Identification of characteristic heat and mass transfer target areas, shown in Pic. 3, is made on the basis of the analysis of the processes of ideal mixing (the intensity of the circulation of the flow leads to uniform mixing of the incoming and channeled medium with radial velocity \bar{v}_r) and ideal displacement (the flow consists of particles of the transported medium moving uniformly at the same axial velocity \bar{v}_z).

The mixed model allows to consider two conditionally independent processes: heating and

displacement of the medium, the process of displacement being the determining factor for both the intensity of the heat removal from the channel wall and the performance of PEC.

Selection of design parameters of AE

Preliminary selection of the basic design parameters of the actuating element that characterize the mass transfer process in PEC can be done with the help of the model of an idealized single-flow and single-stage mechanical power source having an infinitely large number of flat blades of a single thickness that move the physical medium. Such a model corresponds to a design in the form of a set of two static end rings connecting the pressure blades, with a variable number of blades, a variation in the geometric dimensions, and the angles of inlet / outlet of the flow.

At this stage, the technique for determining the velocities of the same type of technical devices for moving liquids and gases is based on the use of the Euler equation, which makes it possible to calculate the pressure characteristics of a blade device from the known speed distribution in the working channel:

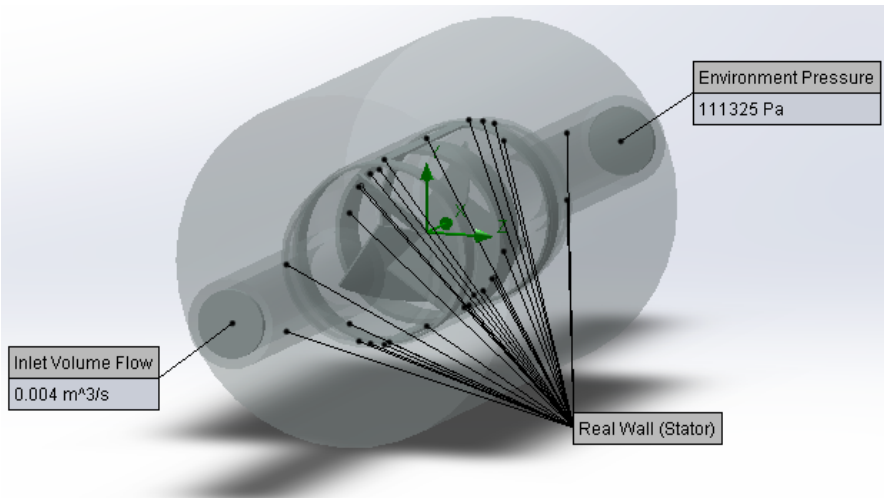
$$gH = u_2 v_{2u} - u_1 v_{1u},$$

where g – acceleration due to gravity, m/s^2 ; H – head, m ; u_1 – tangential velocity at the blade inlet, m/s ; u_2 – tangential velocity at the output of the element – blade of AE, m/s ; v_{1u} – tangential component of the absolute velocity at the input, m/s ; v_{2u} – tangential component of the absolute velocity at the output, m/s .

To go to the real element, it is necessary to take into account:

- the number of AE blades, which depends on the functional purpose of PEC (low-, medium-, high-pressure) and for low-pressure devices it is no more than 10–12;
- design parameters: outer diameter of AE – d ; length of AE – l ; thickness of AE – t ; number of rings





Pic. 5. Setting of boundary conditions.

of AE – n_r ; number of edges of AE – n_e ; width of the ring of AE – w_r ; width of the edge of AE – w_e ; blade length – l_{bp} ; blade thickness – t_{bp} ; blade height – h_{bp} ; number of blades – n_{bp} ; blade angle – α ; the diameter of the internal ferromagnetic conductor (FM) – d_f ; the length of FM – l_f ; thickness of FM – t_f (Pic. 4);

- volumetric, hydraulic and mechanical losses.

Creating a 3D Model

Preliminary selection of design parameters of AE allows to proceed to the stage of creation of a three-dimensional solid-state parametric model of AE. The absence of a priori information on significance of individual parameters necessitates the study and evaluation of their influence on its output characteristics on the basis of the theory of experimental design.

Finding a suboptimal version of AE requires the creation of its flexible variational geometric model. This task is solved using the technology of parameterization based on the computer-aided design system T-FLEX CAD.

The implementation of the parametric 3D model project begins with 3D fragments of the individual AE parts. The modeling process is divided into two stages:

1. Creation of the geometry of the projected object (profile construction, 3D modeling operations, positioning of parts in the assembly model).
2. Specification of parameters of the projected object (linear, angular dimensions, number of elements) and their values (numbers, variables, expressions).

The model of the «actuating element» assembly unit includes the fragments: the body of AE, the ferromagnetic conductor, the blade and allows to control the geometric shape of the assembly elements

in T-FLEX CAD. Parameter values are transferred using the external variables of the fragment (for example, diameter, length, thickness of the body of AE, diameter, length, thickness of FM, length, blade height); the number of assembly elements (for example, the number of edges and rings of the body of AE, the number of blades); position of the assembly elements (for example, the angle of inclination of the blades).

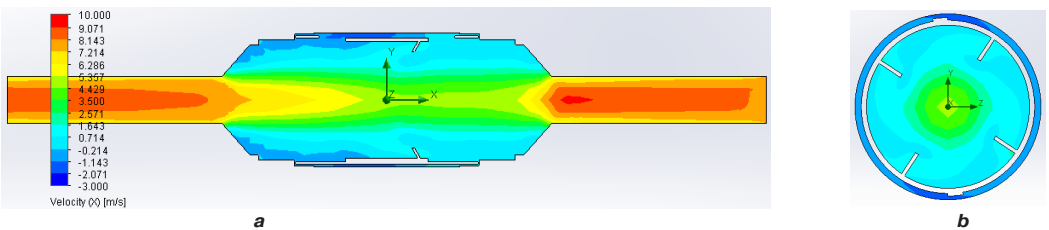
The design parameters for parameterization of the elements of the assembly model of AE are divided into two groups. The group of basic variables include: outer diameter – d ; length – l ; thickness – t ; number of rings – n_r ; number of edges – n_e ; width of the ring – w_r ; width of the edge of AE – w_e . The group of auxiliary variables of the body of AE includes: pocket angle – α_{karm} and ejection length – dl_{vyt} .

When forming a three-dimensional assembly parametric model of AE, the external variables (3D fragments) are linked with the variables of the assembly unit. Thus, the parameters of the assembly unit automatically change the parameters of the 3D fragments depending on the values of the input data. Parameterization allows obtaining various constructive variants of AE and proceeding to an assessment of the influence of dimensional relationships on the process of heat and mass transfer in the target areas.

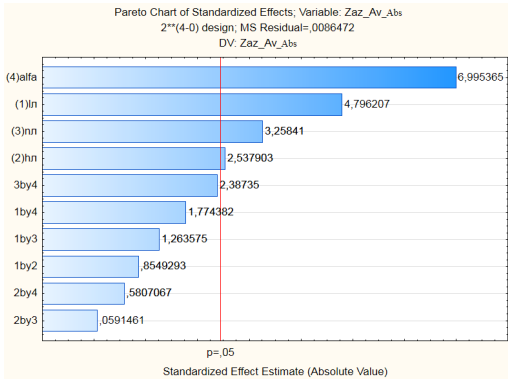
Boundary conditions and constraint conditions

The factors limiting the choice of AE parameter values are determined by the set of processes occurring in the PEC and its design features. Analysis of the processes of heat and mass transfer shows that the criteria for selecting parameters can be:

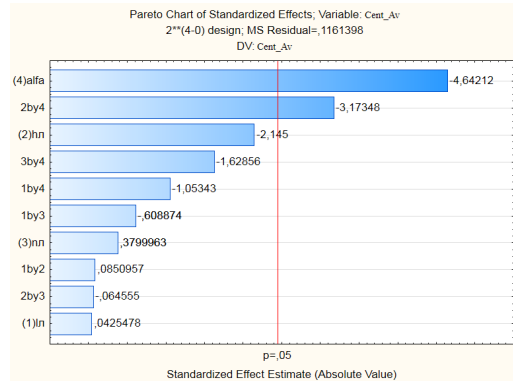
- for electromagnetic processes – the permissible current density and the permissible value of induction in the elements of the magnetic circuit, determined



Pic. 6. Visualization of the result of calculating the velocity field in the longitudinal (a) and cross sections (b) of the channel.

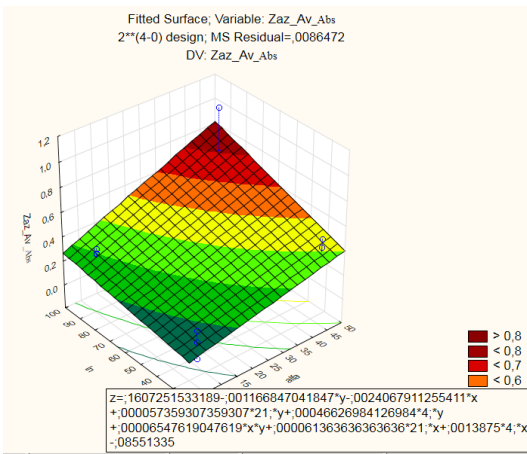


a

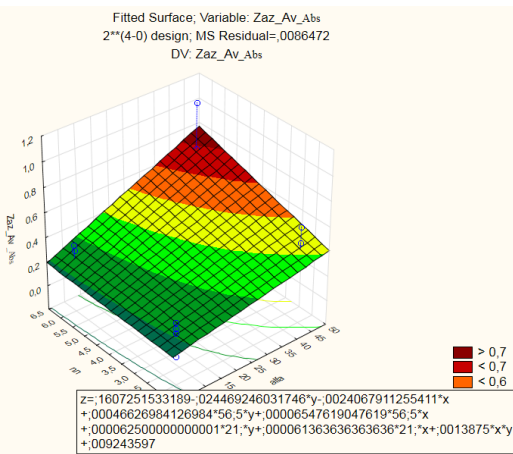


b

Pic. 7. Pareto diagrams.

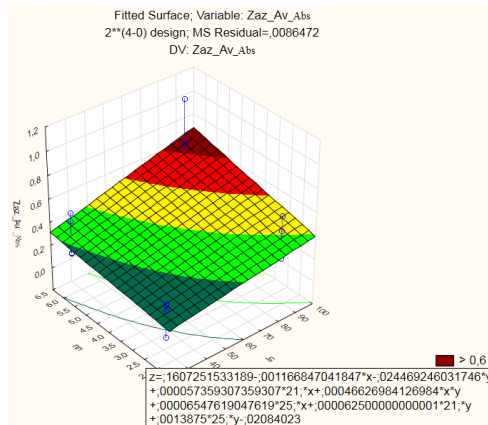


a



b

c



Pic. 8. Response surfaces for significant design parameters.

taking into account the conditions of heat exchange with the working medium;

- for mechanical processes – the ultimate strength of structural elements in static and dynamic modes;

- for hydraulic processes – the minimum hydraulic resistance created by the actuating element;

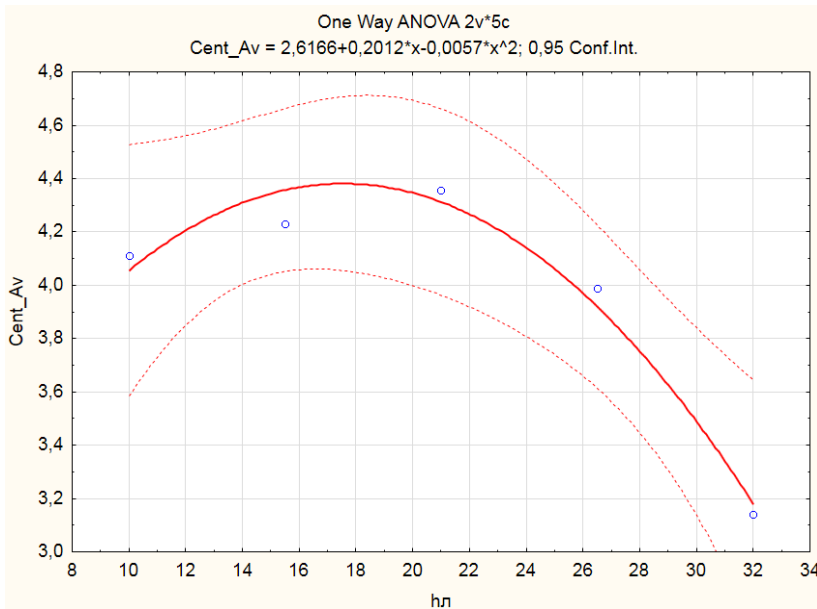
- for thermal processes – ensuring the permissible values of the temperature of the working medium at the outlet of the channel.

The input volumetric flow is set as the boundary conditions (Inlet Volume Flow 0.004 m³ / s) and the outlet pressure (Environment Pressure 111325 Pa); for the channel (Stator), the boundary condition is Real Wall (Pic. 5).

Based on the configuration of the modeling areas and recommendations given in [1], it is possible to limit the ranges of variation of individual AE parameters.

Thus, the outer diameter and length of AE are selected from the following conditions:





Pic. 9. Dependence of the axial component of the velocity of the working medium on the blade height.

$d < D_r; l < l_r$,
 where D_r, l_r – internal diameter and length of the channel.

The thickness of AE is determined by the conditions of the minimum hydraulic resistance and the necessary mechanical strength:

$0 < t \leq k_r \cdot t_{add}$
 where k_r – coefficient of reliability, taking into account the design features and technology of production of AE, adopted by general machine-building techniques and is 1,1–1,2 for a solid cylinder; t_{add} – minimum thickness of AE, obtained taking into account the limits of mechanical strength.

The number of end rings of AE is assumed to be $n_r = 2$, based on the condition of shorting the secondary current of PEC. If it is necessary to increase the mechanical strength of AE and to ensure the possibility of placing pressure blades, n_r can be increased, but this should not lead to a deterioration of the heat transfer conditions when the working medium moves relative to the channel wall.

The widths of the edges w_e and rings w_r of AE are chosen from the permissible current density in forced convection conditions, taking into account mechanical loads and the results of hydraulic calculation.

The number of edges n_e is chosen from the condition:

$$n_e = \frac{M_2}{(l - 2w_r)w_e \cdot t \cdot \sigma_{add}}$$

where M_2 – torque applied to AE; σ_{add} – permissible ultimate strength of the material.

The length of the blade l_{bl} is limited by the value of the installation angle α and the internal diameter of the FM and is selected in the range $0 < l_{bl} \leq l_{bl,max}$.

The range of variation of the blade angle α – 0–45°.

The thickness of the blade is selected in accordance with the minimum hydraulic resistance and the necessary mechanical strength:

$0 < t_{bl} \leq k_r \cdot t_{add}$
 where t_{add} – minimum thickness of the blade, obtained

taking into account the strength limits of the material and the results of the mechanical calculation of the blade.

The height of the blade is limited by the internal diameter of the FM $h_{bl} < 0,5d_f$.

The outer diameter and length of the FM must satisfy the conditions $d_o < d + t$; $0 < l < l - 2w_r$.

The thickness of the internal ferromagnetic conductor, which determines its internal diameter and, accordingly, the hydraulic resistance of the flowing part, is preliminarily selected equal to the minimum width of the stator tooth $t_f = b_z$.

The minimum number of blades is chosen from the symmetry condition $n_{bl} \geq 2$.

Modeling the velocity field

The process of modeling the movement of the working environment is visualized as a velocity field using the CFD (computational fluid dynamics) of technologies based on the SolidWorks Flow Simulation module [12]. Variations in the geometry of AE are carried out automatically by the program for parametric modeling. The values of the parameters are determined from the plan of the full-factor experiment. The number of files obtained corresponds to the number of tests in the experiment. Parameter files are used when updating the geometry model of AE.

An example of the results of calculating the velocity field in the longitudinal (a) and cross sections (b) for the target zone of ideal channel displacement is shown in Pic. 6.

For a preliminary assessment of the effect of the design parameters of AE on the average velocity of the medium moving, a weighted average velocity value is taken from the graphical display of the velocity field.

Based on the Pareto diagrams, significant factors are determined: for the target zone of ideal mixing, the blade mounting angle α , blade length l_{bl} , number of blades n_{bl} , blade height h_{bl} (Pic. 7a); for the target zone of ideal displacement – the angle of installation of the blade α and the joint influence of α and h_{bl} (Pic. 7b).

Pic. 8a, b, c show the response surfaces for significant factors α, l_{bl}, n_{bl} in the target zone of ideal mixing.

Analysis of influence of significant parameters

Represented in the form of response surfaces in Pic. 8 the results of the simulation allow us to analyze the influence of significant design parameters on the magnitude of the axial component of the displacement velocity of the working medium.

The main significant parameter is the height of the blade h_{bp} , nonlinearly related to the axial component $Cent_{Av}$ (Pic. 9, constructed for the confidence interval).

The initial increase in speed is explained by the increase in the area of the blades and the insignificant overlapping of the working channel by the blades. The choice of values of h_{bp} exceeding the critical value (18 mm) leads to a decrease in the speed and a decrease in the performance of PEC.

The next important is the angle of the blade α , which simultaneously influences the heat and mass transfer processes, which does not allow it to be used for separate control of the output parameters of the converter.

To a less extent, the mass exchange process is influenced by the length of the blade l_{bp} , which turns out to be the third most important parameter.

The number of blades n_{bp} at the main stage of the study turned out to be an insignificant parameter, however, with further simulation, the joint calculation of the number of blades and the inclination angle of the blade $n_{bp} + \alpha$ made the parameter the fifth most important. With an angle of 45° , the number of blades n_{bp} became the fourth in the parametric rating.

The thickness of the body of AE t was the most significant parameter for the ideal mixing zone, in which the parameter t and the axial velocity component are inversely correlated.

On the whole, the analysis of the influence of significant parameters shows that for separate control of the output parameters of the PEC it is possible to use: in the zone of ideal mixing – t , l_{bp} , n_{bp} , in the zone of ideal displacement – h_{bp} .

Conclusions.

1. The area of research of pumping electro-mechanical converters can be represented by two unconnected sub-areas: ideal mixing and ideal displacement.

2. The axial velocity component in the channel is a functional for determining the capacity of the converter and its thermal state.

3. A priori, the main design parameters of the actuating element are its outer diameter, length and thickness, the number and width of the rings and edges, length, thickness, height, installation angle and number of blades, and the dimensions of the internal ferromagnetic conductor.

4. The parameters of the actuating element in terms of their significance are distributed as follows: blade height, installation angle, blade length, number of blades, body thickness.

5. Independent control of the process of heat transfer is provided by the parameters – t , l_{bp} , n_{bp} the process of displacement – h_{bp} .

REFERENCES

1. Kim K. K., Karpova N. S., Prichodchenko O. V. Analysis of the influence of design factors on the winding reliability of heating electromechanical transducers. *Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija*, 2013, Iss. 2, pp. 26–31.
2. Kim, K. K., Ivanov, S. N., Shpilev, M. A., Tkachuk, A. A., Kulinichenko, N. Yu. Energy-saving electric heating system [*Energoberegajushhaja sistema elektrootopenija*]. *Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija*, 2013, Iss. 1, pp. 84–89.
3. Kim, K. K., Martyanov, M. V., Ivanov, S. N., Prosolovich, A. A. Statement of the problem of stability study of the heat sink in the elements of hermetic electromechanical converters [*Postanovka zadachi issledovanija ustojchivosti teplotivoda v elementah germetichnyh elektromehaničeskikh preobrazovatelej*]. *Uchenye zapiski KnAGTU*, 2015, Iss. III-1, pp. 26–31.
4. Kim, K. K., Ivanov, S. N. Some questions of definition of reliability indicators of heat-generating electromechanical converters [*Nekotorye voprosy opredelenija pokazatelej nadezhnosti teplogenerirujushhih elektromehaničeskikh preobrazovatelej*]. *Izvestija vuzov. Elektromehaničeskaja*, 2008, Iss. 6, pp. 13–17.
5. Ivanov, S. N. Designing elements of electrotechnical complexes for heating systems of transport purpose [*Proektirovanie elementov elektrotehničeskikh kompleksov dlja sistem otopenija transportnogo naznachenija*]. *Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija*, 2010, Iss. 3, pp. 105–114.
6. Ivanov, S. N., Kim, K. K., Golokolos, D. A., Karpova, N. S. Analysis of the influence of structural factors on reliability of hermetic electromechanical converters [*Analiz vlijanija konstrukcionnyh faktorov na nadezhnost' germetichnyh elektromehaničeskikh preobrazovatelej*]. *Uchenye zapiski KnAGTU*, 2013, Iss. IV-1, pp. 29–34.
7. Ivanov, S. N., Ukhanov, S. V. Determining the parameters of heat-generating electromechanical converters [*Opredelenie parametrov teplogenerirujushhih elektromehaničeskikh preobrazovatelej*]. *Energosnabzhenie i vodopodgotovka*, 2009, Iss. 1, pp. 56–61.
8. Ivanov, S. N., Kim, K. K., Ukhanov, S. V. Basis for the design of hydroelectrodynamical heat generators [*Osnovy proektirovanija gidroelektrodinamičeskikh teplogeneratorov*]. *Elektro*, 2008, Iss. 4, pp. 14–16.
9. Isachenko, V. P., Osipova, V. A., Sukomel, A. S. Heat Transfer: Textbook [*Teploperedacha: Učebnik*]. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Energia publ., 1975, 488 p.
10. Schlichting, G. The theory of the boundary layer [Transl. from German: *Teorija pograničnogo sloja*]. Moscow, Nauka publ., 1974, 712 p.
11. Demenok, S. L. Heat exchange and hydraulic resistance in pipes and channels: Monograph. [*Teploobmen i gidravličeskoe soprotivlenie v trubah i kanalach: Monografija*]. St. Petersburg, N-PromBjuro publ., 2012, 304 p.
12. Alyamovsky, A. A. SolidWorks Simulation. How to solve practical problems [*SolidWorks Simulation. Kak reshat' praktičeskie zadachi*]. St. Petersburg, BHV-Peterburg, 2012, 448 p. ●

Information about the authors:

Kim, Konstantin K. – D.Sc. (Eng), professor, head of the department of Theoretical Foundations of Electrical Engineering, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, kimkk@inbox.ru,

Prosolovich, Aleksey A. – associate professor of Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia, prosolovich.aa@email.knastu.ru,

Koloshenko, Yuliya B. – senior lecturer of Komsomolsk-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia, koloshenko.yb@email.knastu.ru.

Article received 12.07.2017, accepted 06.10.2017.





НОВЫЙ ВОЛНОВОЙ РАДАР

Благодаря «волновому радару», разработанному исследователем Делфтского технического университета Петером Наайхеном, все находящиеся в море суда могут увидеть, не ударит ли их в следующие пять минут опасная волна и как их корабль отреагирует на это.

По словам П. Наайхена, «в какой-то степени волновая обстановка на море может быть предсказана и сейчас, но, к сожалению, недостаточно точно. Исходя из того, что вы хотите чётко знать, когда и где волны ударят, от таких прогнозов мало пользы». «Сравните это с прогнозом погоды, который предсказывает тридцатипроцентную вероятность дождя в стране. Вы не будете чётко знать, где и когда выпадут осадки. Дождевой радар работает намного более определённее в отношении времени и места и поэтому намного более полезен. Разработанный волновой радар можно сравнить с существующими дождевыми радарными».

Большое преимущество в том, что большинство судов имеют на борту все необходимое электронное оборудование для

прогнозирования волн, поэтому новая технология не требует больших вложений. «Мы используем навигационную РЛС судна, которая указывает местоположение других судов и береговой линии. При этом сейчас радар получает намного больше информации, чем нужно для этого, например, о расположении волн».

Радар испускает электромагнитные волны, которые отражаются от морских волн, и затем отражённый сигнал принимается антенной. Такая информация сейчас отфильтровывается, поскольку она не представляет интереса для капитана. «Мы же извлекаем эту необработанную информацию и можем анализировать её с помощью интеллектуального алгоритма. То есть, по существу, мы используем побочный продукт».

По материалам новостей Делфтского технического университета 9.10.2017 г.: <https://www.tudelft.nl/en/2017/tu-delft/new-wave-radar-predicts-exactly-when-it-is-dangerous-at-sea/>.

NEW WAVE RADAR

Thanks to the «wave radar» developed by TU Delft researcher Peter Naaijen, everyone at sea can see whether they will be hit by dangerous waves in the next five minutes and how their vessel will respond to this.

«To some extent, wave conditions at sea can already be predicted, although unfortunately not so precisely. And seeing that you want to know exactly when and where the waves will hit, such predictions are of little use», says Peter Naaijen. «Compare it with a weather forecast that predicts a thirty per cent chance of rain for the country; you will not know exactly when and where that will fall. A rain radar is much more specific with regard to time and place, and therefore often more useful. The wave radar that has been developed is comparable to existing rain radars».

A big advantage is that most ships now have all the hardware on board to be able to predict waves, so that the new technology does not

require major investments. «We use the ship's navigation radar. This currently indicates where other vessels are and the exact position of the coastline. But, actually, the radar receives much more information than that, such as where all the waves are».

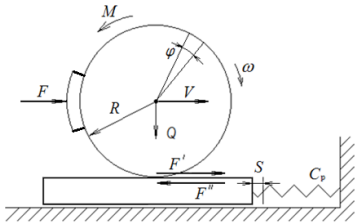
The radar emits electromagnetic waves that reflect off the sea waves, which are then received by the antenna. This information is currently filtered out, because it is not interesting for the ship's captain. «We actually extract this raw radar data so we can analyse it with smart algorithms. In essence we are using a waste product».

Retrieved and compiled from the news of TU Delft of October 6, 2017. Original source : <https://www.tudelft.nl/en/2017/tu-delft/new-wave-radar-predicts-exactly-when-it-is-dangerous-at-sea/>.

T

КОЛЕСО-РЕЛЬС 46

*Тормозной момент успевае
обрати последствиями.*



ЗОНА МОСТОВ 54

*Оптимальность конструкций,
соразмерность нагрузки.*

КОНТЕЙНЕРЫ 68

*Самопогрузка
и саморазгрузка.*

МЕТРОПОЛИТЕН 76

*Способных к рекуперации
всё больше.*

АВТОМОБИЛЬ 86

*Электроника помогает
рулить механике.*

WHEEL-RAIL 46

*Braking torque gives time
for consequences.*

BRIDGE AREA 54

*Optimum design, balanced
load.*

CONTAINERS 68

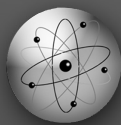
Self-loading and off-loading.

METRO 76

*More and more rolling stock
units are capable to regenerate
energy.*

ROAD VEHICLE 86

Electronics assists mechanics.





Волнообразный износ рельсов при торможении



Сергей КАРГАПОЛЬЦЕВ
Sergey K. KARGAPOLTSEV

Пётр НОВОСЕЛЬЦЕВ
Petr V. NOVOSELTSEV



Юрий КУПЦОВ
Yuri A. KUPTSOV

Каргапольцев Сергей Константинович – доктор технических наук, профессор Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск, Россия.
Новосельцев Пётр Викторович – кандидат технических наук, доцент Улан-Удэнского института железнодорожного транспорта – филиала ИрГУПС, Улан-Удэ, Россия.
Купцов Юрий Алексеевич – старший преподаватель УУИЖТ, Улан-Удэ, Россия

Rail Corrugation in the Process of Braking
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 51)

В процессе исследования определено, что основной причиной волнообразного износа следует признать колебание угловой скорости колёсной пары вагона при её торможении. При этом за один период происходит попеременно два события – упругое взаимодействие колеса и рельса и проскальзывание их относительно друг друга, из-за чего возникает трение и образуется впадина. Длина волны волнообразного износа увеличивается с увеличением скорости движения поезда, величины тормозного момента. Для снижения интенсивности износа рекомендуется увеличивать жёсткость рельсового пути, уменьшать тормозной момент и подбирать оптимальные параметры подвески.

Ключевые слова: железная дорога, волнообразный износ рельсов, колёсная пара, коэффициент сцепления, тормозной момент, продольная жёсткость пути, угловая скорость, проскальзывание, трение.

Согласно статистическим данным, поездная нагрузка (по пропуску тоннажа), выдерживаемая рельсом в течение срока его службы, варьируется от 100 млн до 2,5 млрд т брутто [1, 2]. Причиной такого широкого диапазона (25-кратного) в ресурсе рельсов становится, как правило, неудовлетворительная динамика системы «подвижной состав–путь» [3].

Анализ показывает, что максимальные величины динамических добавок давления колеса на рельс, возникающих при движении подвижного состава, создаются на 90 % за счёт неровностей пути [4–6]. Волнообразный износ поражает от 10 до 30 % рельсовых путей. По своей форме волнообразный износ делится на два характерных вида: короткие волны от 0,03 до 0,08 метра, отличающиеся наличием светлых горбов с чередующимися тёмными впадинами, и длинные волны (от 0,2 до 2 метров).

Зарождение волнообразного износа рельсов, по мнению ряда авторов [7, 8], связано:

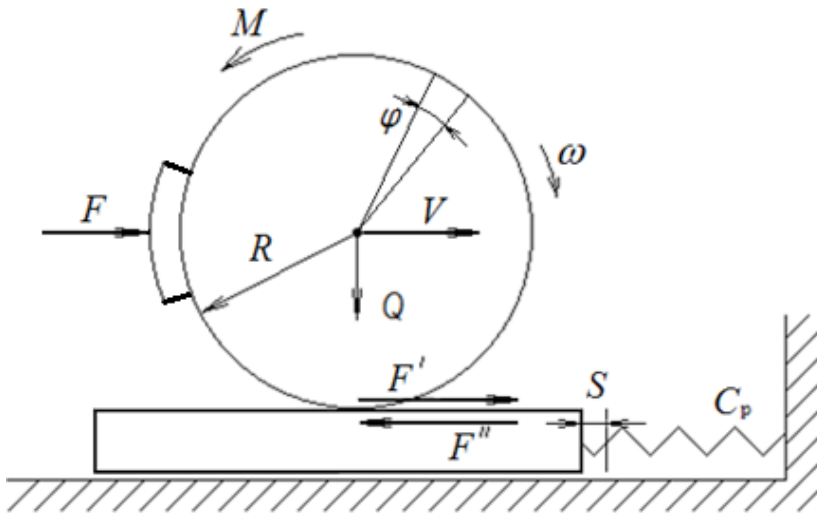


Рис. 1. Расчётная схема торможения колёсной пары.

– с неравномерностью распределения твёрдости металла по глубине и длине рельса;

- с остаточными напряжениями;
- с образованием неровностей на головке рельса при прокатке и холодной правке;
- с возникновением вертикальных толчков;
- с проскальзыванием колёс вагонов (особенно в кривых участках);
- с неравноупругостью подрельсового основания.

Названные причины, тем не менее, не дают ответа на главные вопросы:

- почему волнообразный износ не на всех участках?
- почему он имеет периодический характер?
- почему длина волны на различных участках различна?
- почему такой износ возникает не только на кривых, но и на прямых участках пути?

Попытаемся дать ответы на эти вопросы.

Рассмотрим процесс служебного торможения подвижного состава железных дорог, вызванного прижатием тормозной колодки к поверхности катания колеса. При этом колесо продолжает вращаться, но из-за трения возникают силы при взаимодействии колодки и колеса, а также колеса с рельсом.

Угловая скорость колеса ω_0 согласована с линейной скоростью V центра колеса, равной скорости вагона:

$$\omega_0 = \frac{V}{R}, \quad (1)$$

где R – радиус колеса (м).

При торможении согласование по уравнению (1) становится невозможным; замедление вращения колеса идет интенсивнее, чем замедление вагона.

Процесс взаимодействия колёсной пары и рельсового пути при торможении происходит следующим образом (рис. 1):

– под действием тормозного момента M угловая скорость ω_0 колёсной пары уменьшается;

– со стороны колеса на рельс действует сила сцепления F' :

$$F' = Q \cdot \psi, \quad (2)$$

где Q – вертикальная нагрузка от веса подвижного состава, приходящаяся на колесо, ψ – коэффициент сцепления;

– под действием силы F' совершается деформация рельсового пути, вследствие чего в рельсе возникает сила упругости:

$$F'' = C_p \cdot S, \quad (3)$$

где C_p – продольная жёсткость пути (Н/м); S – продольная деформация пути (м); и эта сила упругости благодаря сцеплению колеса и рельса действует на колёсную пару:

$$F'' = C_p \cdot \phi_1 \cdot R, \quad (4)$$

где ϕ_1 – дополнительное малое угловое перемещение при колебании колёсной пары;

– в случае, когда сила упругости превышает силу сцепления, возникает проскальзывание; со стороны рельса на колёсную пару будет действовать сила трения движения:



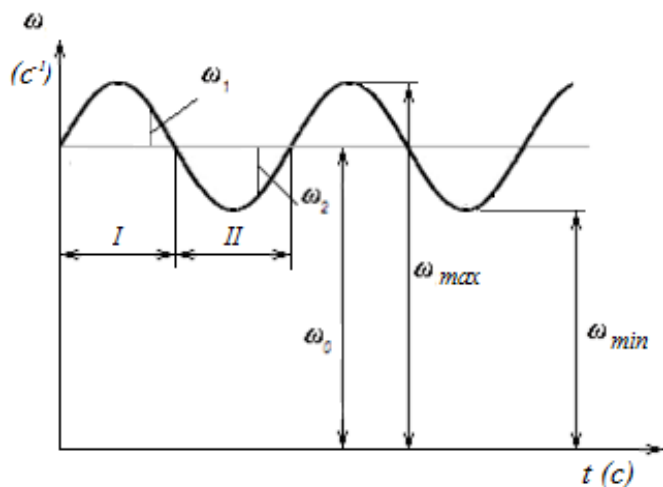


Рис. 2. График изменения угловой скорости колёсной пары при установившемся режиме торможения.

$$F = Q \cdot f, \tag{5}$$

где f — коэффициент трения движения, который меньше коэффициента сцепления между колесом и рельсом: $f < \psi$.

Во время срыва сцепления и возникающего проскальзывания угловая скорость $\omega = \omega_0 + \omega_2$ колёсной пары уменьшается. При проскальзывании продольная сила, действующая со стороны колеса, снижается, и энергия сжатия, накопленная в рельсе, заставляет его двигаться в противоположном направлении скольжению. Как известно, при сухом трении коэффициент трения уменьшается с увеличением скорости проскальзывания, что способствует скольжению колеса по рельсу. Когда накопленная в рельсе энергия деформации уменьшается, и за счёт силы упругости рельс движется обратно, взаимное проскальзывание снижается и восстанавливается сцепление колеса с рельсом. Сила, действующая на колесо со стороны рельса, увеличивается, и угловая скорость вращения колёсной пары уменьшается.

При этом колесо проскальзывает относительно тормозной колодки с изменяющейся по периодическому закону скоростью. В этой колебательной системе тоже имеется определённая жёсткость.

В результате столь сложного взаимодействия возникают колебательные движения колеса и рельса с периодическим проскальзыванием.

На рис. 2 представлен график изменения угловой скорости вращения колёсной пары в некоторый малый промежуток времени, когда уменьшение угловой скорости враще-

ния колеса ω_0 незначительно. Здесь ω_1 — изменение угловой скорости колёсной пары в режиме малых колебаний при упругом взаимодействии с рельсом; ω_2 — изменение угловой скорости колёсной пары в режиме малых колебаний при проскальзывании.

Рельсовый путь в режиме малых колебаний колёсной пары при торможении состава является упругой связью, то есть колёсная пара и рельсовый путь составляют колебательную систему. Дифференциальное уравнение этой системы при упругом взаимодействии:

$$\frac{d^2\varphi_1}{dt^2} + K_1^2 \cdot \varphi_1 = \frac{M}{J}, \tag{6}$$

где φ_1 — угол поворота колёсной пары при малых колебаниях в период упругого взаимодействия; J — осевой момент инерции колёсной пары ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$).

В данном уравнении K_1 есть собственная частота колебаний системы «колёсная пара — рельсовый путь»:

$$K_1^2 = \frac{C_p \cdot R^2}{J}. \tag{7}$$

Как видно из уравнения (7), K_1 зависит от продольной жёсткости C_p рельсового пути; при её уменьшении собственная частота K_1 уменьшается. Величина C_p при ухудшении технического состояния рельсового пути снижается.

Решение дифференциального уравнения (6) имеет вид:

$$\varphi_1 = \frac{M}{J \cdot K_1^2} \cdot (1 - \cos K_1 \cdot t). \tag{8}$$

Уравнение (6) справедливо до тех пор, пока сила сцепления колеса с рельсом

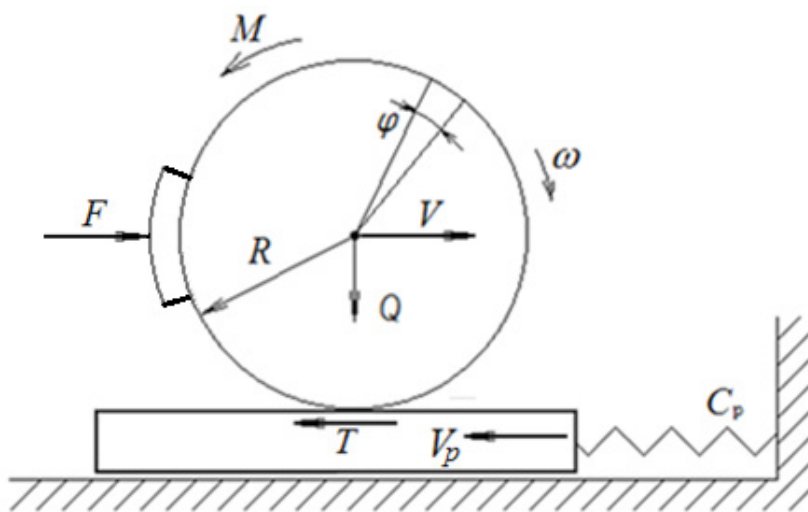


Рис. 3. Расчётная схема системы «колёсная пара – рельсовый путь» в процессе проскальзывания.

больше силы упругости рельсового пути. Это выражается неравенством:

$$Q \cdot \psi \geq C_p \cdot \varphi_1 \cdot R. \quad (9)$$

В противном случае происходит срыв сцепления и возникает проскальзывание. Из уравнения (9) находим угол, при котором вероятен срыв сцепления:

$$\varphi_1 = \frac{Q \cdot \psi}{C_p \cdot R}. \quad (10)$$

Подставив (9) в (8), получим условие равновесия в системе «колёсная пара – рельсовый путь»:

$$\frac{Q \cdot \psi}{C_p \cdot R} = \frac{M}{J \cdot K_1^2} (1 - \cos K_1 t). \quad (11)$$

Время t_1 , когда может произойти срыв сцепления:

$$t_1 = \frac{1}{K_1} \arccos \left(1 - \frac{Q \cdot \psi \cdot J \cdot K_1^2}{C_p \cdot R \cdot M} \right). \quad (12)$$

Рассмотрим пример, в котором дано: $Q = 22 \cdot 10^4$ Н; $\psi = 0,3$; $J = 400$ кг·м²; $C_p = 125 \cdot 10^6$ Н/м; $R = 0,5$ м; $M = 2,5 \cdot 10^4$ Н/м. Следует определить время упругого взаимодействия колёсной пары и рельса.

Предварительно вычислим собственную частоту K_1 по формуле (9):

$$K_1 = \sqrt{\frac{125 \cdot 10^6 \cdot 0,5^2}{400}} = 279 \text{ с}^{-1}.$$

Затем время по формуле (12):

$$t_1 = 0,00677 \text{ с}.$$

Точка, лежащая на ободу колеса, за время $t_1 = 0,00677$ с пройдёт путь:

$$\Delta S_1 = V \cdot t_1,$$

где V – скорость движения поезда (м/с), ΔS_1 – часть рельсового пути, на котором происходит его упругое взаимодействие с колёсной парой, и одновременно она же является частью длины волны волнообразного износа.

В нашем примере при $V = 10$ м/с: $\Delta S_1 = 10 \cdot 0,00677 = 0,0677$ м.

Угловая скорость проскальзывания колёсной пары при движении её в режиме малых колебаний в момент времени t_1 равна:

$$\omega_1 = \dot{\varphi}_1 = \frac{M}{J \cdot K_1} \sin K_1 t_1.$$

В нашем примере при $t_1 = 0,00677$ с:

$$\omega_1 = \frac{2,5 \cdot 10^4}{400 \cdot 279} \sin(279 \cdot 0,00677) = 0,21 \text{ с}^{-1}.$$

После срыва сцепления на колёсную пару действует тормозной момент M и силы трения скольжения со стороны рельса. При этом рельс вращает колёсную пару по направлению движения поезда (рис. 3).

На рис. 3 сила трения движения:

$$T = Q \cdot f, \quad (13)$$

где f – коэффициент трения движения, который меньше коэффициента сцепления; V_p – скорость обратного движения рельса.

Дифференциальное уравнение движения колёсной пары вагона при её работе в режиме проскальзывания:

$$J \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} = M - Q \cdot f \cdot R. \quad (14)$$





Решение уравнения (14):

$$\varphi_2 = \frac{M \cdot t^2}{2 \cdot J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t^2}{2 \cdot J} + C_1 \cdot t + C_2, \quad (15)$$

Исходим из начального условия: если $t = 0$, $\varphi_2 = 0$, то $C_2 = 0$.

Для определения C_1 найдём выражение для угловой скорости:

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{M \cdot t}{J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t}{2} + C_1. \quad (16)$$

Начальное условие состоит в том, что угловая скорость $\dot{\varphi}_2$ при $t = 0$ равна угловой скорости ω_1 в момент срыва сцепления. Это следует из того, что средняя угловая скорость колёсной пары при торможении в малый промежуток времени должна быть постоянной, то есть: $\omega_0 = const$.

Это показано на рис 2. Угловая скорость ω_1 подставляется в уравнение (16), то есть $\dot{\varphi}_2 = -\omega_1$.

Теперь начальное условие имеет вид: если $t = 0$; $\dot{\varphi}_2 = \omega_1$; $C_2 = -\omega_1$. (17)

Получаем:

$$\dot{\varphi}_2 = \frac{M \cdot t}{J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t}{J} - \omega_1. \quad (18)$$

Далее имеем:

$$2 \cdot \omega_1 = \frac{M \cdot t_2}{J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t_2}{J}. \quad (19)$$

Найдём время t_2 проскальзывания. Примем коэффициент трения скольжения $f = 0,15$.

Из предыдущего примера $\omega_1 = 0,21 \text{ с}^{-1}$;
 $t_2 = \frac{2 \cdot \omega_1 \cdot J}{M - Q \cdot f \cdot R} = \frac{2 \cdot 0,21 \cdot 400}{2,5 \cdot 10^4 - 22 \cdot 10^4 \cdot 0,15 \cdot 0,5} = 0,02 \text{ с}$.

Точка, лежащая на ободу колеса, при скорости V поезда пройдет путь: $\alpha_2 = V \cdot t_2$.

При $V = 10 \text{ м/с}$ (или 36 км/ч):
 $\alpha_2 = 10 \cdot 0,02 = 0,2 \text{ м}$.

Таким образом, длина впадины при волнообразном износе:

$\alpha_2 = 0,2 \text{ м}$.

В целом длина волны в нашем примере при скорости $V = 10 \text{ м/с}$:

$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 0,067 + 0,2 = 0,267 \text{ м}$.

В работе [7, с. 47] указано, что до шлифовки рельсов более 61 % неровностей имеют длину волны от 0,3 до 0,6 м. Результаты, представленные в нашем примере (длина волны 0,267 м), близки к названным.

ВЫВОДЫ

1. Торможение остаётся одной из причин, вызывающих волнообразный износ рельсов.

2. Причиной волнообразного износа становится периодическое проскальзывание колеса по рельсам, связанное с тем, что система взаимодействия колесо—рельс является колебательной [8].

3. Длина волны волнообразного износа зависит от скорости движения поезда, при её увеличении она растёт.

4. Скорость проскальзывания, а следовательно, и интенсивность износа рельсов зависят от величины тормозного момента, при его увеличении растут и последствия.

5. Скорость проскальзывания зависит и от технического состояния рельсового пути, при его ухудшении проскальзывание усиливается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути с изменениями и дополнениями в соответствии с Указаниями МПС России № С-950 от 30.05.2000 г. (23456789) ЦП- 774.

2. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: Пер. с англ. / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Лангрэн, Х. Турне, В. Эберсен. — М.: Интекст, 2002. — 408 с.

3. Шилер А. В. Оценка эффективности шлифовки поверхности катания рельсов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2012. — № 2. — С. 111—115.

4. Кулагин М. И., Кац Э. И., Тюриков В. Н. Волнообразный износ рельсов. — М.: Транспорт, 1970. — 145 с.

5. Лазарян В. А., Данович В. Д., Манашкин Л. А. Вынужденные колебания вагонов по периодическим неровностям пути // Труды ДИИТ. — 1969. — Вып. 99. — С. 26—31.

6. Gozbenko V. E., Kargapoltsev S. K., Kornilov D. N., Minaev N. V., Karlina A. I. Definition of the main coordinates of the car with two-level spring suspension. International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 20. Pp. 10367—10373.

7. Тимофеева Л. А., Огульчанская Н. Р. Причины возникновения волнообразного износа поверхности катания рельсов железнодорожного пути и методы его устранения // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. — 2015. — № 3. — С. 56—58.

8. Новосельцев В. П., Новосельцев П. В., Гордеева А. А. Влияние продольной жёсткости пути на проскальзывание колёсной пары локомотива по рельсу // Мир транспорта. — 2013. — № 4. — С. 34—38. ●

Координаты авторов: **Каргапольцев С. К.** — kck@irgups.ru, **Новосельцев П. В.** — nov-pv@mail.ru, **Купцов Ю. А.** — yourakupcov@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.05.2017, принята к публикации 24.07.2017.

RAIL CORRUGATION IN THE PROCESS OF BRAKING

Kargapol'tsev, Sergey K. – Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russia.
Novoseltsev, Petr V., Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russia.
Kuptsov, Yuri A., Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russia.

ABSTRACT

It was found in the course of the study that oscillations of the vehicle wheelset's angular velocity during braking should be recognized as the principal cause of rail corrugation. Over a single period, two alternating events occur: an elastic interaction between the wheel and the rail, and their slipping

relative to each other causing friction and formation of a valley. The wavelength of corrugation wear increases with the increase of the train speed and the value of the braking torque. In order to reduce the intensity of wear, the track stiffness should be increased, the braking torque reduced, and the suspension's parameters optimized.

Keywords: railway, rail corrugation wear, wheelset, adhesion coefficient, braking torque, track longitudinal stiffness, angular velocity, wheel slip, friction.

Background. According to statistical data, the rail traffic load (by the tonnage passed) borne by the rail over its service life varies from 100 million tons to 2.5 billion tons gross [1, 2]. The cause of such a wide variation (25 times the minimum) in the service lives of rails typically lies in the unsatisfactory dynamics of the 'vehicle – track' system [3].

Our analysis demonstrates that the maximum values of the dynamic additions to the pressure of the wheel on the rail that arise during the movement of the rolling stock are 90 % attributable to the irregularities of the track [4–6]. Corrugation wear affects from 10 to 30 % of railway tracks. By shape, two characteristic types of wavelike wear are distinguished: short wavelength (0.03 to 0.08 meters) irregularities (corrugations) with light humps and dark valleys, and long wavelength (from 0.2 to 2 meters) irregularities (waves).

According to a number of authors [7, 8], the formation of wavelike wear irregularities of rails is initiated by or linked to the following factors:

- non-uniform distribution of metal hardness across the depth and along the length of the rail;
- residual stresses;
- irregularities formed on the head of the rail during rolling and cold straightening;
- emergent vertical shocks;
- wheel slips (especially on curved segments);
- non-uniform elasticity of the rail support system (the supporting structures under the rail).

Objective. The factors listed above, however, fall short of answering the key questions:

- why wavelike wear does not occur on all segments of the rail?
- why is it of a periodic nature?
- why are the wave lengths different in different segments?
- why does this type of wear occur not only in curves but also on straight runs of the track?

Let us make an attempt to answer these questions.

Methods. The authors use mathematical methods, modeling, engineering methods.

Results. Let us review the process of a rail vehicle's service braking that is initiated by pressing a brake shoe against the wheel tread. The wheel continues to rotate but the friction gives rise to forces emerging in the interaction between the shoe and the wheel, and between the wheel and the rail.

The wheel's angular velocity ω_0 is related to the linear velocity V of the wheel's hub that is equal to the speed of the vehicle:

$$\omega_0 = \frac{V}{R}, \tag{1}$$

where R is the radius of the wheel (in meters).

During braking, the relation expressed by the equation (1) becomes impossible; the rotation of the wheel slows down at a greater rate than the vehicle does.

The process of interaction between the wheelset and the track during braking unfolds as follows (Pic. 1):

- the braking torque M reduces the angular velocity ω_0 of the wheelset;
- the wheel applies the adhesion force F to the rail:

$$F = Q \cdot \psi, \tag{2}$$

where Q is the vertical load of the vehicle's weight applied to the wheel, and ψ is the adhesion coefficient;

- under the impact of the force F , deformation of the rail track occurs giving rise to an elastic force in the rail:

$$F' = C_p \cdot S, \tag{3}$$

where C_p is the longitudinal stiffness of the track (in N/m); S is the longitudinal deformation of the track (in meters);

and this elastic force is applied to the wheelset thanks to the adhesion between the wheels and the rails:

$$F'' = C_p \cdot \varphi_1 \cdot R, \tag{4}$$

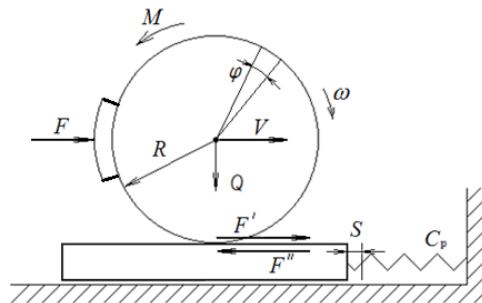
where φ_1 is the additional small angular shift during the oscillation of the wheelset;

- in the event that the elastic force is greater than the force of adhesion, wheel slip occurs; the rail will exert a sliding friction force on the wheelset:

$$F = Q \cdot f, \tag{5}$$

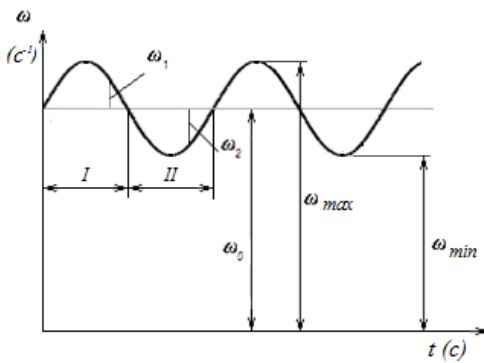
where f is the sliding friction force coefficient that is smaller than the coefficient of adhesion between the wheel and the rail: $f < \psi$.

As the adhesion fails and the sliding begins, the angular velocity $\omega = \omega_0 + \omega_2$ of the wheelset is reduced. During sliding, the longitudinal force exerted by the wheel decreases, and the energy of compression



Pic. 1. Analytical model of the wheelset braking process.





Pic. 2. Changes in the angular velocity of a wheelset during a steady braking mode.

accumulated in the rail causes the rail to move in the direction opposite to the direction of the sliding. As is known, in dry friction the friction coefficient decreases as the speed of sliding increases, which facilitates the sliding of the wheel on the rail. As the energy of deformation accumulated in the rail fades and the rail is moved back by the elastic force, the slip is reduced and the adhesion between the wheel and the rail is restored. The force exerted on the wheel by the rail increases while the angular velocity of the wheel set rotation decreases.

In the process, the wheel slips relative to the brake shoe at a speed that changes according to a periodic law. This oscillating system also has some stiffness.

As a result of such complicated interactions, oscillatory motions of the wheel and the rail emerge, with periodic slips.

Pic. 2 is a graph showing the change of the angular velocity of the wheelset's rotation during a certain small time interval, when the reduction of the angular velocity of the wheel's rotation is insignificant. Here, ω_1 is the change in the wheelset's angular velocity in the small oscillations mode during the elastic interaction with the rail; ω_2 is the change in the wheelset's angular velocity in the small oscillations mode during slipping.

In the small oscillations mode of the wheelset during braking, the rail track is an elastic link, i.e. the wheelset and the rail track make up an oscillatory system. The differential equation of this system in an elastic interaction is:

$$\frac{d^2\varphi_1}{dt^2} + K_1^2 \cdot \varphi_1 = \frac{M}{J}, \quad (6)$$

where φ_1 is the angle of rotation of the wheelset at small oscillations during the period of elastic interaction; J is the wheelset's axial moment of inertia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).

In this equation, K_1 is the «wheelset-rail track» system's intrinsic frequency of oscillations:

$$K_1^2 = \frac{C_p \cdot R^2}{J}. \quad (7)$$

As can be seen from equation (7), K_1 is dependent on the rail track's longitudinal stiffness C_p ; as the latter decreases, the intrinsic frequency K_1 also decreases. The value of C_p is reduced as the health of the rail track deteriorates.

Differential equation (6) has the following solution:

$$\varphi_1 = \frac{M}{J \cdot K_1^2} \cdot (1 - \cos K_1 \cdot t). \quad (8)$$

Equation (6) is applicable as long as the force of adhesion between the wheel and the rail is greater than the elastic force of the rail track. This is expressed by the inequality:

$$Q \cdot \psi \geq C_p \cdot \varphi_1 \cdot R. \quad (9)$$

If the inequality is not met, adhesion is lost and wheel slipping occurs. From equation (9), we can derive the angle at which wheel slipping is probable:

$$\varphi_1 = \frac{Q \cdot \psi}{C_p \cdot R}. \quad (10)$$

Plugging (9) into (8), we obtain the condition of equilibrium in the «wheel set-rail track» system:

$$\frac{Q \cdot \psi}{C_p \cdot R} = \frac{M}{J \cdot K_1^2} (1 - \cos K_1 t). \quad (11)$$

The time t_1 at which loss of adhesion is likely equals:

$$t_1 = \frac{1}{K_1} \arccos\left(1 - \frac{Q \cdot \psi \cdot J \cdot K_1^2}{C_p \cdot R \cdot M}\right). \quad (12)$$

Let us consider an example with the following gives:

$Q = 22 \cdot 10^4 \text{ N}$; $\psi = 0.3$; $J = 400 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$; $C_p = 125 \cdot 10^6 \text{ N/m}$; $R = 0.5 \text{ m}$; $M = 2.5 \cdot 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}$. The duration of the elastic interaction between the wheel set and the rail needs to be determined.

In step one, we compute the intrinsic frequency K_1 using formula (9):

$$K_1 = \sqrt{\frac{125 \cdot 10^6 \cdot 0.5^2}{400}} = 279 \text{ sec}^{-1}.$$

Then, the duration using formula (12):

$$t_1 = 0.00677 \text{ sec}.$$

Over the period of $t_1 = 0.00677 \text{ sec}$ a point on the rim of the wheel will travel the following distance:

$$\Delta S_1 = V \cdot t_1,$$

where V is the speed of the train (in m/sec), ΔS_1 is that part of the rail track where its elastic interaction with the wheel set occurs and at the same time it is part of the wavelength of the wavelike wear.

In our example at $V = 10 \text{ m/sec}$:

$$\Delta S_1 = 10 \cdot 0.00677 = 0.0677 \text{ m}.$$

When the wheel set is moving in the small oscillations mode, at the moment in time t_1 the skid angular velocity of the wheel set is equal to:

$$\omega_1 = \dot{\varphi}_1 = \frac{M}{J \cdot K_1} \sin K_1 t_1.$$

In our example at $t_1 = 0.00677 \text{ sec}$:

$$\omega_1 = \frac{2.5 \cdot 10^4}{400 \cdot 279} \sin(279 \cdot 0.00677) = 0.21 \text{ sec}^{-1}.$$

After the adhesion has been lost, the wheel set is under the impact of the braking torque M and the force of kinetic friction exerted by the rail. In this mode, the rail causes the rotation of the wheel in the direction of the train's movement (Pic. 3).

In Pic. 3, the kinetic friction force is:

$$T = Q \cdot f, \quad (13)$$

where f is the kinetic friction coefficient that is smaller than the adhesion coefficient;

V_p is the velocity of the rail's recoil motion.

The differential equation describing the motion of the wheel set in the sliding mode is:

$$J \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} = M - Q \cdot f \cdot R. \quad (14)$$

The solution of equation (14):

$$\varphi_2 = \frac{M \cdot t^2}{2 \cdot J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t^2}{2 \cdot J} + C_1 \cdot t + C_2. \quad (15)$$

If $t = 0$, $\phi_2 = 0$, then $C_2 = 0$.

To compute C_1 , let us find an expression for the angular velocity:

$$\dot{\phi}_2 = \frac{M \cdot t}{J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t}{2} + C_1. \quad (16)$$

The initial condition is that the angular velocity $\dot{\phi}_2$ at $t = 0$ is equal to the angular velocity ω_1 at the moment when adhesion is lost. This follows from the assumption that the mean angular velocity of the wheel set during braking must, over a small period of time, be constant, i.e.: $\omega_0 = \text{const}$.

This is shown in Pic. 2. The angular velocity ω_1 is plugged into equation (16), i.e. $\dot{\phi}_2 = -\omega_1$.

Now the initial condition takes the form:

$$\text{If } t = 0; \dot{\phi}_2 = \omega_1; C_2 = -\omega_1, \quad (17)$$

then we get

$$\dot{\phi}_2 = \frac{M \cdot t}{J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t}{J} - \omega_1. \quad (18)$$

Further, we have:

$$2 \cdot \omega_1 = \frac{M \cdot t_2}{J} - \frac{Q \cdot f \cdot R \cdot t_2}{J}. \quad (19)$$

Let us find the time of sliding t_2 . Assume the kinetic friction coefficient $f = 0.15$.

From the previous example, $\omega_1 = 0.21 \text{ sec}^{-1}$;

$$t_2 = \frac{2 \cdot \omega_1 \cdot J}{M - Q \cdot f \cdot R} = \frac{2 \cdot 0.21 \cdot 400}{2.5 \cdot 10^4 - 22 \cdot 10^4 \cdot 0.15 \cdot 0.5} = 0.02 \text{ sec}.$$

A point on the wheel's rim, at the train's speed V will travel the distance:

$$\alpha_2 = V \cdot t_2.$$

At $V = 10 \text{ m/sec}$ (or 36 km/h):

$$\alpha_2 = 10 \cdot 0.02 = 0.2 \text{ m}.$$

Thus, the length of the valley in wavelike wear is:

$$\alpha_2 = 0.2 \text{ m}.$$

On the whole, the wavelength in our example at the speed of $V = 10 \text{ m/sec}$:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 0.067 + 0.2 = 0.267 \text{ m}.$$

As stated in [7, page 47], before grinding more than 61 % of rail irregularities have wavelengths between 0.3 and 0.6 m. The results presented in our example (wavelength 0.267 m) are quite close.

Conclusions

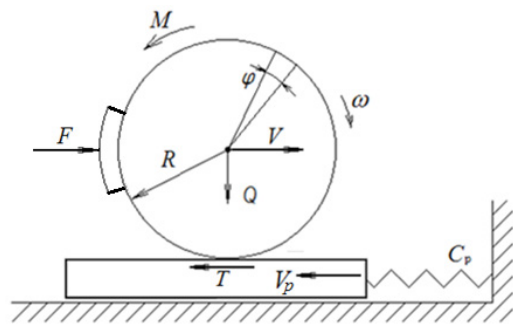
1. Braking remains one of the causes of corrugation wear of rails.

2. The immediate cause of wavelike rail wear is the periodic nature of wheel sliding on the rail, which is related to the fact that the wheel-rail interaction system is an oscillatory system [8].

3. In wavelike wear, the wavelength depends on the speed of trains and increases with increasing train speeds.

4. The speed of sliding and therefore the intensity of rail wear depend on the value of braking torque; as the braking torque grows, so do the consequences.

5. The speed of sliding depends on the health of the rail track; as the health deteriorates, sliding becomes more pronounced.



Pic. 3. Computational model of the «wheel set – rail track» system during slipping.

REFERENCES

- Guidelines on current maintenance of railway tracks [Directive po tekushchemu soderzhanii puti], as amended by Directives No. 950 of 30.05.2000 (23456789) TsP-774 of the Ministry of Railways of Russia.
- Harris, W. J., Zakharov, S. M., Langren, J., Turne, H., Ebersen, V. Summarizing heavy-haul best practices: wheel-rail interactions [Translated from English. Russian title: *Obobshchenie peredovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeystviya kolesa i relsa*]. Moscow, Intext, 2002, 408 p.
- Schiller, A. V. Assessing the performance of grinded rail running surface [Otsenka effektivnosti shlifovki poverhnosti kataniya relsov]. Omsk Research Bulletin. Instruments, machines and technologies series, 2012, Iss. 2, pp. 111–115.
- Koulagin, M. I., Katz, E. I., Tyurikov, V. N. Corrugation wear of rails [Volnoobraznyi iznos relsov]. Moscow, Transport Publ., 1970, 145 p.
- Lazarian, V. A., Danovich, V. D., Manashkin, L. A. Forced vibrations of railcars on periodic track irregularities [Vinuzhdennye kolebaniya vagonov po periodicheskim nerovnostiam puti]. Proceedings of DIIT, 1969, Iss. 99, pp. 26–31.
- Gozbenko, V. E., Kargapoltsev, S. K., Kornilov, D. N., Minaev, N. V., Karlina, A. I. Definition of the main coordinates of the car with two-level spring suspension. International Journal of Applied Engineering Research, 2016, Vol. 11, Iss. 20, pp. 10367–10373.
- Timofeyeva, L. A., Ogoulchanskaya, N. R. Causes of corrugation wear of rail running surfaces in a rail track and methods of correction [Prichiny vozniknoveniya volnoobraznogo iznosa poverhnosti kataniya rels zheleznodorozhnogo puti i metody ego ustraneniya]. Informatsionno-keruuchi sistemy na zaliznichnomu transporte [Information processing systems in railway transport], 2015, Iss. 3, pp. 56–58.
- Novoseltsev, V. P., Novoseltsev, P. V., Gordeeva, A. A. Impact of Longitudinal Stiffness of Rail Track on the Sliding of Locomotive Wheel Pair. World of Transport and Transportation, 2013, Iss. 4, pp. 34–38. ●

Information about the authors:

Kargapoltsev, Sergey K. – D.Sc. (Eng), professor, first deputy rector of Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russia, kck@irgups.ru.

Novoseltsev, Petr V. – Ph.D. (Eng), associate professor of Ulan-Ude Railway Institute, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russia, nov-pv@mail.ru.

Kuptsov, Yuri V. – Ph.D. Student, senior lecturer of Ulan-Ude Railway Institute, a branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Russia, yourakupcov@mail.ru.

Article received 08.05.2017, accepted 24.07.2017.





Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ



Владимир ПОЛЯКОВ

Vladimir Yu. POLYAKOV

Optimization of Bridge Transition Zones on High-Speed Railways (HSR)

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 62)

В статье рассматриваются проблемы долговечности и стабильности в профиле мостового полотна и подходах к мосту, а также безопасности на этих участках при скоростях движения до 400 км/ч. Теория оптимального управления динамическими процессами в системе «мост-путь-экипаж» позволяет синтезировать конструкции, предполагающие сравнительно равномерное воздействие на подрельсовое основание в зоне моста, при этом среднее значение нагрузки на балласт максимально приближено к заданному. Оптимальные конструкции обеспечивают достаточное усилие в контакте колеса и рельса, что приводит к существенному повышению безопасности движения.

Ключевые слова: железнодорожный мост, взаимодействие поезда с мостом, ВСМ, безопасность движения, стабильность пути.

Поляков Владимир Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры мостов и тоннелей Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Переходной участок в месте сопряжения мостов с земляным полотном, как известно, является проблемной зоной. Подход к мосту и сход с него – различные зоны по условиям воздействия. На рис. 1 приведены результаты высокоточного нивелирования профиля пути в местах сопряжения безбалластного мостового полотна с насыпью на одном из путепроводов окружного отделения Московской железной дороги. Шпалы с номером «0» расположены на шкафных стенках устоев, положительные номера – на въезде, отрицательные – на съезде с пролетного строения. Методика измерений изложена в [1].

1.

Осадки традиционного пути на подходах привели к образованию значительной геометрической неровности профиля и скрытой неровности (отметки основания шпал). Эти неровности вызваны двумя факторами – практически безосадочным подрельсовым основанием на мосту с безбалластным полотном и колебаниями экипажей, вызванными деформациями пролетного строения под нагрузкой. Первый фактор привел к тому, что в отсутствие

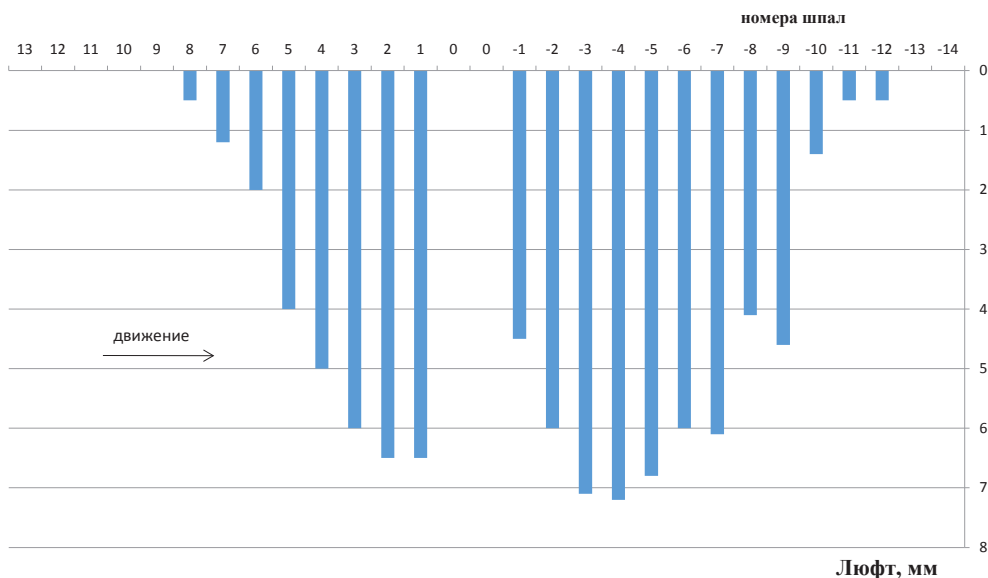


Рис. 1. Глубина скрытых неровностей в зоне моста.

нагрузки рельс на протяжении нескольких метров участков примыкания просто висит в воздухе, не опираясь на балласт, под шпалами образуются так называемые люфты, величина которых приведена на рис. 1. Колесо вагона фактически движется по скрытой неровности, которая значительно глубже.

Второй фактор определяет различия неровностей на въезде и съезде моста. Если на въезде неровность сравнительно короткая и значения люфтов монотонно возрастают по мере приближения к мосту, то на съезде неровность длиннее из-за колебаний вагонов, вызванных колебаниями пролетного строения. В [2] показано, что изменчивость нагрузки на подрельсовое основание за пролётным строением носит колебательный характер, так как это вызвано колебаниями экипажа. Отметим, что к моменту обследования пропущенный после капремонта тоннаж составил всего 100 млн т брутто.

Образование предмостовой ямы – результат осадок пути на балласте, и рост люфтов носит монотонный характер. Поведение поезда после схода с моста полностью определяется колебаниями пролётного строения и устройством мостового полотна. Величины люфтов под шпалами изменяются в соответствии с колебаниями

элементов экипажа, которые возбуждаются при прохождении через колеблющееся пролётное строение. Поэтому при решении проблемы зоны сопряжения необходимо рассматривать весь участок мостового перехода, включая и пролётные строения, для разработки переходных конструкций до и после моста и увеличения долговечности узла сопряжения мостов и земляного полотна.

Другой важный вывод – необходимо снижать воздействие на подрельсовое основание ниже величины, при которой начинается образование неупругих остаточных деформаций в подрельсовом основании. В соответствии с [3] такой критический уровень нагрузки на подрельсовую опору (подкладку) составляет около 31 кН.

Для формулировки требований к конструкциям переходного участка достаточно рассмотреть однопролетный мост, который, конечно, содержит все необходимые элементы – подход к мосту, колеблющееся пролетное строение и сход с него. При разработке требований к конструкциям применялась теория оптимальных динамических процессов в системе «мост-путь-экипаж». Отметим, что из всех критериев оптимальности [6] наиболее эффективным для обеспечения стабильности пути, предотвращения остаточных дефор-



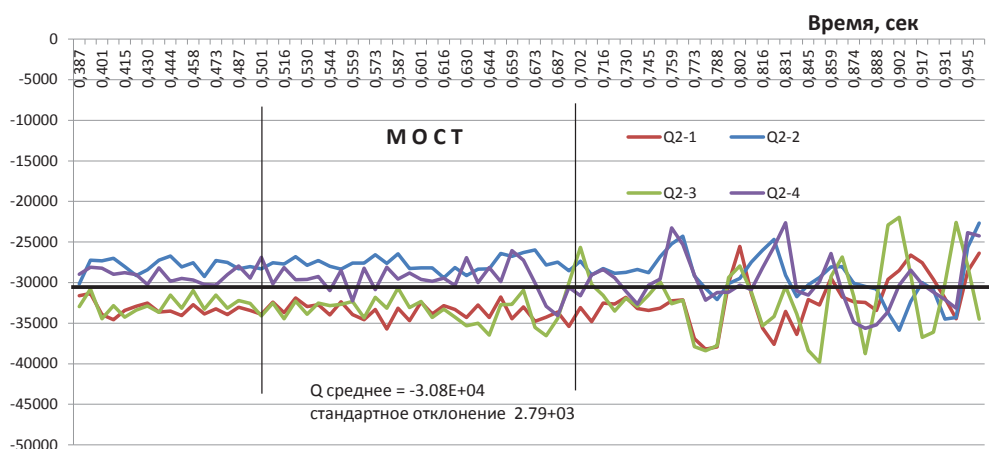


Рис. 2. Нагрузка на подрельсовую опору от поезда ЭВС-2 до оптимизации.

маций балласта будет критерий минимального отклонения нагрузки на подрельсовое основание от заранее заданной величины Q :

$$D = \int_L \int_T (\gamma(x)\delta(x)U'(y_r - y_b) - Q)^2 dxdt \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $U(x, t) = \gamma(x)\delta(x)U'(y_r - y_b)$ — реакция подрельсового основания, $\delta(x)$; $\gamma(x)$ — управляющие функции, моделирующие изменение жёсткости основания по длине соответственно от изменения шага шпал и изменения жёсткости подрельсовой опоры, которая зависит как от толщины сжимаемого слоя (от бесконечной на насыпи до ограниченной на пролётном строении или нулевой на безбалластном мостовом полотне), так и жёсткости прокладки в узле скрепления или прокладки на нижней поверхности шпалы; $y_p = y_p(x, t)$ — функция вертикального перемещения рельса; y_b — то же для пролётного строения; L — длина расчётного участка, включающего искусственное сооружение и подходы к нему; T — время пребывания состава на расчётном участке; Q — среднее заданное значение нагрузки на подрельсовое основание непосредственно под колесами по всей длине участка перехода и за всё время прохождения состава.

В подинтегральном выражении (1) записано подлежащее минимизации среднеквадратическое отклонение усилий $U(x, t)$ от заданного значения Q . Управляющие функции $\delta(x) = U3$, $\gamma(x) = U2$, составляющие минимум функционалу качества (1), подлежат определению в процессе оптимизации взаимодействия в системе «мост-путь-экипаж».

Достижение минимума интегрального критерия качества будет означать относительно равномерное воздействие на подрельсовое основание под всеми колесами поезда, причем максимально приближенное к заданной величине средней нагрузки Q . Такая постановка позволяет избежать значительных локальных перегрузок, ведущих к расстройству пути в профиле и накоплению остаточных деформаций, указанных на рис. 1.

2.

Вначале рассмотрим поведение в системе «мост—путь—экипаж» в отсутствие каких-либо специальных конструкций пути на подходах и при наличии мостового полотна при эпюре железобетонных шпал 1840 шт./км, имеющего загрязнённый и увлажнённый балласт, пролётное строение железобетонное, коробчатого сечения полной длиной 23,6 м. При синхронном нагружении двух путей наблюдаются наибольшие колебания пролётного строения, а значит, и экстремальное взаимодействие в системе. Амплитуда колебаний пролётного строения, а значит, и воздействие на подрельсовое основание за мостом при увлажнённом загрязнённом балласте оказались на 7 % больше, чем при чистом сухом балласте. Далее будем рассматривать именно такие условия.

На рис. 2 показаны диаграммы нагрузки на подкладки под колесами второго вагона состава ЭВС-2, проходящего по мосту с пролетным строением 23,6 м на скорости 400 км/ч. Здесь и далее: вертикальная ось —

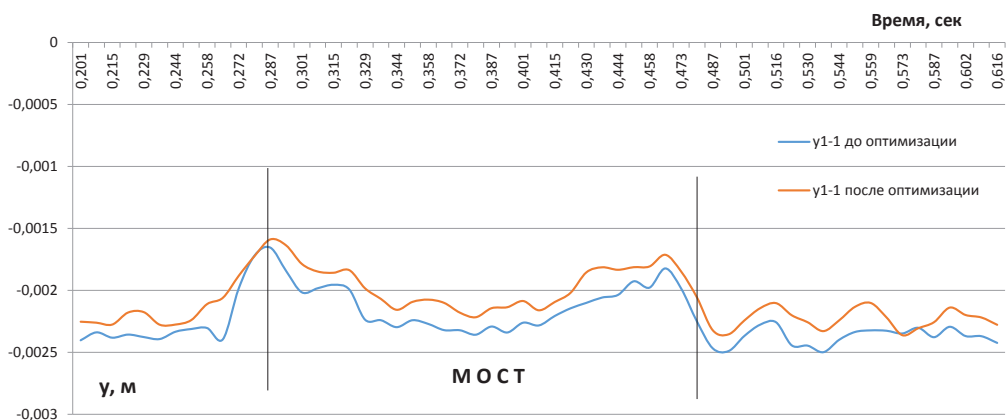


Рис. 3. Колебания первого колеса первого вагона.

нагрузка на подкладку (H), горизонтальная — время t (сек) для второго колеса второго вагона ($t = 0$ при входе этого колеса на расчётный участок), расчётный вагон состава движется слева направо. Для таких пролетных строений установившиеся колебания с амплитудой 0,918 мм наблюдаются уже при проходе второго вагона. И это является причиной значительных колебаний подвижного состава и перегрузок пути за пролетным строением, в то время как скачок жёсткости при входе на мост остаётся незамеченным. Нагрузка на подрельсовую опору за мостом достигает 40 кН, а на мосту и перед ним составляет около 35 кН при среднем значении на всем участке мостового перехода 30,8 кН.

Отмеченный выше «незаметный» вход колеса второго вагона на пролетное строение, который выражается в отсутствии заметного увеличения нагрузки на первую подрельсовую опору на мосту, нуждается в комментариях.

Колебания первого колеса первого вагона (рис. 3) соответствуют «классическому» представлению о взаимодействии в системе «мост—путь—экипаж» при статической постановке и сравнительно небольших скоростях. Как видно из рис. 3, до начала колебаний пролетного строения как до оптимизации, так и после первое колесо реагирует на изменение жёсткости подрельсового основания при переходе с насыпи на мост, что выражается в довольно резком уменьшении прогиба рельса под этим колесом, возбуждении колебаний колеса (оно «подпрыгивает»). Видно также, как пролетное строение деформируется под первой

тележкой, и колесо следует по деформированному профилю. Оптимизация сглаживает переход, возбуждаемые при входе колебания колеса заметно меньше. Однако в дальнейшем колебания в системе в значительной степени определяются колебаниями пролетного строения, а не изменением жёсткости подрельсового основания. На рис. 4 перемещение колеса в момент 0,523 с вызвано не скачком жёсткости, а фазой колебаний пролетного строения [8].

Как уже указывалось, при нагрузке на подкладку более 31 кН начинают проявляться остаточные деформации и цель оптимизации — их недопущение. Отметим, что указанные значения нагрузок неизбежно приведут к появлению неупругих (остаточных) деформаций в балласте, и это станет причиной возбуждения дополнительных колебаний неподдресоренных масс, расстройств пути в профиле и ухудшения взаимодействия в системе «мост—путь—экипаж», что недопустимо.

Оптимизация приводит к значительным изменениям во взаимодействии в системе «мост—путь—экипаж» (рис. 5). Оптимальная управляющая функция U_2 , связанная с распределением жесткости прокладок под рельсами (или с устройством подкладок на подошве шпалы), изменяющая жёсткость подрельсовой опоры, указана на рис. 6. Такое распределение жёсткости сравнительно легко реализуется на практике.

Из рис. 5 видно, что среднее значение нагрузки на подрельсовое основание значительно ниже стандартного отклонения



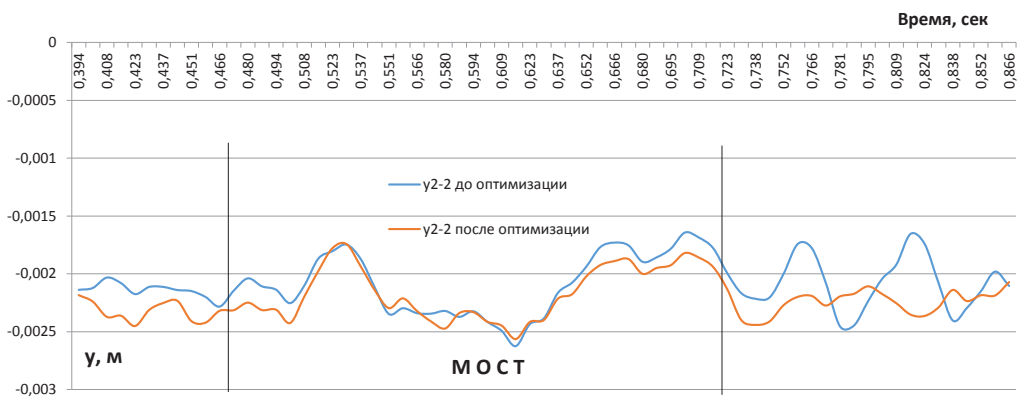


Рис. 4. Колебания второго колеса второго вагона.

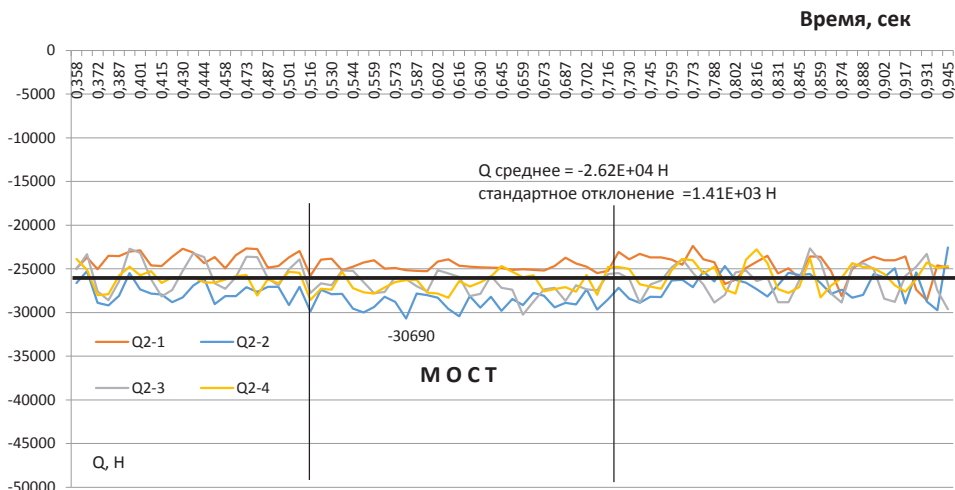


Рис. 5. Нагрузка после оптимизации.

в 3,6 раза. Но главное – максимальное значение нагрузки снижено до 30,7 кН, что теоретически исключает появление неупругих остаточных деформаций под шпалой (порог образования остаточных деформаций балласта – 31кН). Необходимо отметить, что указанный порог нагрузки до появления остаточных деформаций получен для железобетонных шпал на щебеночном балласте. Предлагаемое решение предполагает использование упругих подкладок на нижней поверхности шпал, что заметно повысит этот порог.

Применение специальной конструкции мостового полотна начинается на шпале № 20 (рис. 6). До этой точки $U_2 = 1$, что соответствует обычной конструкции пути: шпалы с эпюрой 1840 шт./км, прокладки с жёсткостью 90 кН/мм, балласт загрязнен и увлажнён. Отличие от обычной конструк-

ции состоит в том, что к шпале № 20 контррельс (пакет контруголовок) после челнока приведен в максимально близкое положение к рабочему рельсу ($U_1 = 0,85$) и дальнейшее изменение этого положения будет подавляться вплоть до шпалы № 120. За этой шпалой начинается сведение контррельсов в челнок и подкладки имеют стандартную жёсткость.

3.

Чрезвычайно важно, что оптимизация процесса взаимодействия приводит к существенному повышению минимального вертикального усилия в контакте колеса и рельса: $R_{min} = 24,55$ кН. В [7, 8] показано, что при значении этого усилия менее 23,814 кН устойчивость колеса на рельсе и безопасность движения не обеспечиваются при любом сколь угодно малом вре-

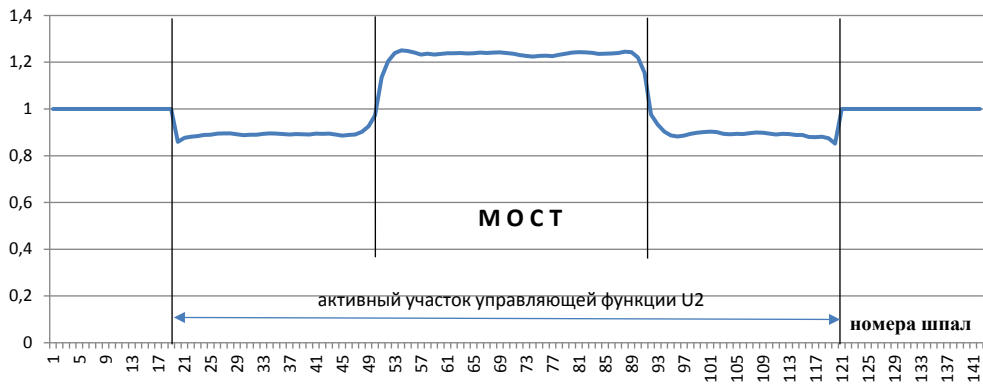


Рис. 6. Функция $U_2 = u(x)$, доставляющая минимум функционалу качества.

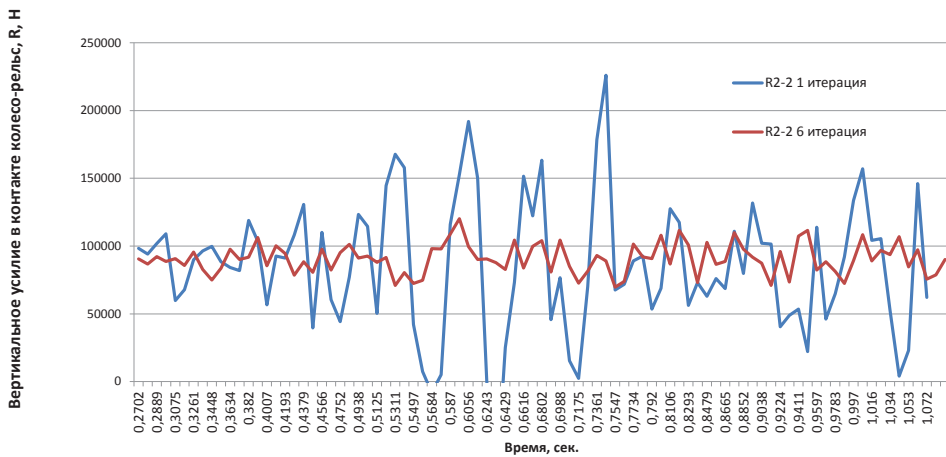


Рис. 7. Пример диаграммы вертикального усилия в контакте колеса и рельса при оптимизации.

мени действия критического значения вертикальной проекции усилия в контакте. При этом до оптимизации фиксируется отрыв колеса от рельса. Пример диаграммы усилий в контакте колеса и рельса на рис. 7: на 1-й итерации зафиксирован отрыв колеса, на 6-й итерации взаимодействие колеса и рельса введено в безопасный диапазон.

Процесс оптимизации представлен на рис. 8. На нем D – значение интегрального функционала качества (1) (уменьшено на 11 порядков для удобства отображения на одной диаграмме), и этот параметр подлежит минимизации; R_{\min} – минимальное значение вертикального усилия в контакте всех колес и рельса.

Из рис. 8 видно, что уже на второй итерации удается значительно уменьшить

интегральный функционал качества (1), который представляет собой интеграл по времени прохода состава через расчётный участок суммы среднеквадратических отклонений нагрузки на опору от заданного значения Q под всеми колесами поезда. На второй итерации уже не наблюдается отрыв колеса от рельса – за все время прохождения поезда R_{\min} не менее 14,2 кН, а к 9-й итерации R_{\min} возрастает до приемлемого значения 24,6 кН.

На первый взгляд решение, предлагаемое теорией оптимального управления, парадоксально – на подходах следует заметно снизить жёсткость пути, а на пролётном строении, наоборот, увеличить. Однако такое решение объясняется необычно жесткими пролётными строениями для ВСМ Москва–Казань. Например, прогиб



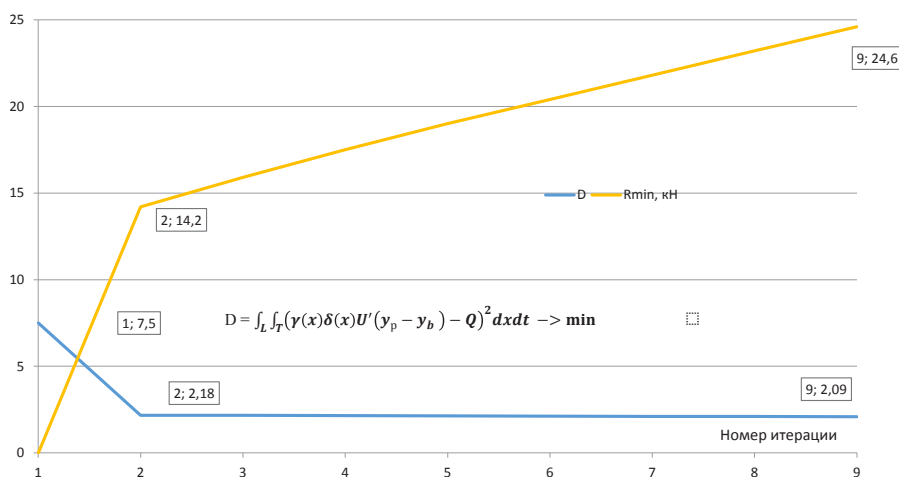


Рис. 8. Эволюция критерия качества D и минимального усилия прижатия колеса в процессе оптимизации.

пролётного строения в процессе колебаний не превышает 1 мм, и он близок к прогибу рельса на земляном полотне. Уменьшение жёсткости пути на подходах позволяет при очень высоких скоростях уменьшать взаимодействие колеса и рельса, особенно от возбуждения колебаний по разным причинам, в том числе проходя через колеблющееся пролётное строение. Здесь уместно отметить, что жёсткость прокладок на безбалластном пути, практически полностью формирующая жёсткость пути, на китайских ВСМ составляет 25 кН/мм [9], что значительно ниже жёсткости применяемых в РЖД прокладок — в среднем 90 кН/мм.

Увеличение жёсткости пути выравнивает деформации рельса на «мягком» подходе и на самом пролётном строении, при этом колесо «не замечает» пролётное строение.

Нетрудно увидеть: для достижения оптимального результата требуются сравнительно простые конструктивные меры — контррельс (пакет контруголков) располагается максимально близко к рабочему рельсу на всем протяжении перехода, эпюра шпал остается неизменной (1840 шт./км). Для управления жёсткостью подрельсовых опор нужны прокладки различной жёсткости, причем они укладываются по простой схеме.

Рассмотрим вопросы безопасности движения подробнее. При недостаточном вертикальном усилии прижатия колеса

к рельсу возможно вкатывание гребня колеса на головку рельса под действием боковых сил, что чревато сходом колеса с рельса. При высоких скоростях движения это приведет к крушению с тяжёлыми последствиями, особенно в зоне моста. В [8] рекомендовалось значение вертикального усилия в контакте колеса и рельса не менее 23,8 кН. На рис. 9 и 10 показаны диаграммы вертикального усилия в контакте колеса и рельса второго вагона в составе ЭВС-2 до и после оптимизации. Как видно, до оптимизации усилие не только неоднократно падает ниже безопасного значения, но и происходит отрыв колеса от рельса. Оптимизация сглаживает взаимодействие колеса и рельса, это взаимодействие становится «спокойнее»: вертикальное усилие не менее 40 кН.

ВЫВОДЫ

Для решения проблемы переходных участков на подходах к мостам необходимо рассматривать весь участок мостового перехода, включая пролётные строения, которые оказывают существенное влияние на колебания вагонов за мостом.

Прикладная теория оптимального управления позволяет найти вполне реализуемые решения для значительного снижения средней нагрузки на подрельсовое основание, неравномерности воздействия на него. При этом максимальное значение нагрузки удается сделать ниже

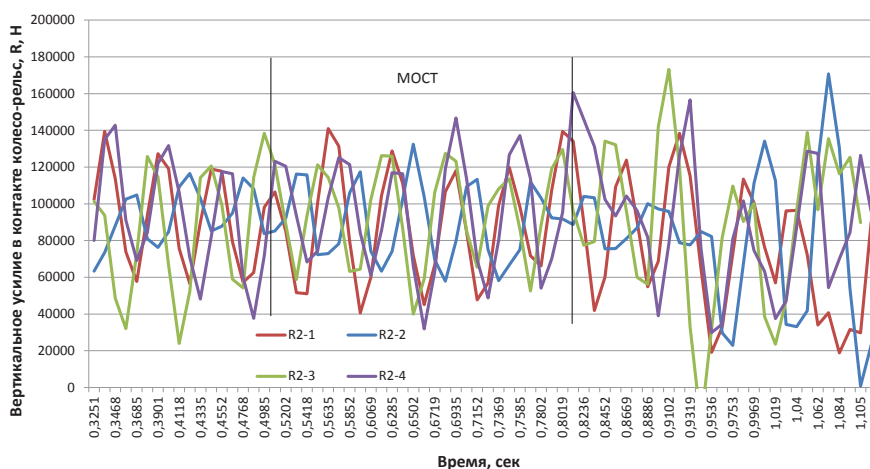


Рис. 9. Усилие в контакте колеса и рельса до оптимизации.

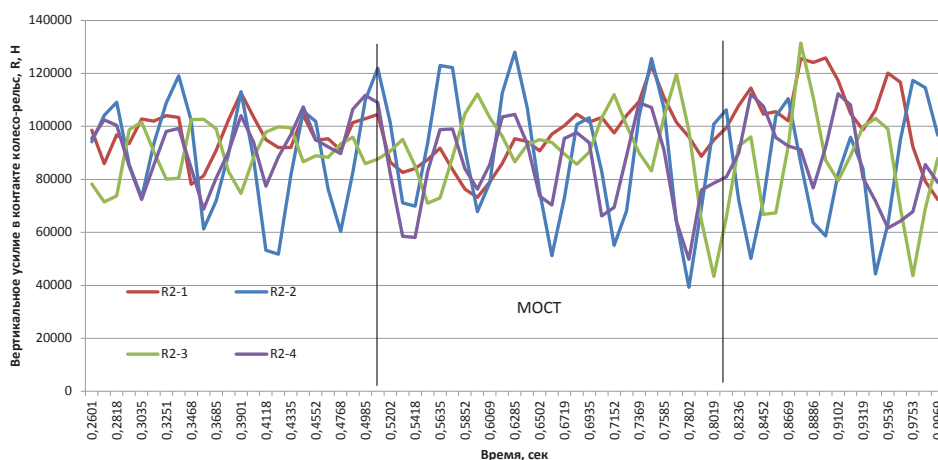


Рис. 10. Усилие в контакте колеса и рельса после оптимизации.

порога появления остаточных неупругих деформаций в балласте. А безопасность движения обеспечить теми же мерами, что и уровень долговечности подрельсового основания.

ЛИТЕРАТУРА

- Клинов С. И., Поляков В. Ю. Методика и результаты определения потайных неровностей пути на подходах к искусственным сооружениям // Межвуз. сб. науч. трудов. – Вып. 759. – М.: МИИТ, 1984. – С. 70–76.
- Поляков В. Ю. Воздействие на путь подвижного состава в зоне моста на ВСМ // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 10. – С. 24–27.
- Гасанов А. И. Расчёт железобетонной шпалы при учете осадочности основания // Труды МИИТ. – Вып. 901. – М., 1996. – С. 47-49.

- Поляков В. Ю. Взаимодействие подвижного состава с элементами мостового перехода при высокоскоростном движении / Дис... док. техн. наук. – М., 1994. – 395 с.
- Поляков В. Ю. Численное моделирование взаимодействия подвижного состава с мостовыми конструкциями при высокоскоростном движении // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2016. – № 2. – С. 54–60.
- Поляков В. Ю. Синтез оптимальных пролетных строений для высокоскоростной магистрали // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2016. – № 3. – С. 35–42.
- Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
- Поляков В. Ю. Безопасность при высоких скоростях на мосту // Мир транспорта. – 2014. – № 6. – С. 182–188.
- Wanming Zhai et al. Experimental investigation into ground vibrations induced by very high speed trains on a non-ballasted track, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 72 (2015), p. 24–36.

Координаты автора: **Поляков В. Ю.** – pvy55@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 26.04.2017, принята к публикации 05.07.2017.



OPTIMIZATION OF BRIDGE TRANSITION ZONES ON HIGH-SPEED RAILWAYS

Polyakov, Vladimir Yu. – professor at the department of bridges and tunnels of Russian University of Transport, Moscow, Russia.

ABSTRACT

The author studies issues of track service life and rail profile stability on bridges and bridge approaches, as well as safety issues on these sections at train speeds of up to 400 km/h. The optimal control theory of dynamic processes in the bridge-track-vehicle system makes it possible to

synthesize structures that exert comparatively uniform impact on the sleepers (or other rail supports) in the bridge zone while maintaining the loads on the ballast closest to their design values. Optimal designs ensure a sufficient force of the wheel-rail contact thus substantially improving traffic safety.

Keywords: railway bridge, train-bridge interaction, HSR, traffic safety, track stability.

Background. Bridge transition zones, where bridges interface with the railway bedding are known to be problem zones. The approach to a bridge, and the bridge egress ramp are different zones in terms of impact conditions. Pic. 1 shows the results of high-accuracy height measurements of the track profile at a zone where the ballastless bridge deck track interfaces with the railway embankment at one of the railway bridges of the Moscow Railway's ring branch. Sleepers numbered with «0» are located on the backwalls of bridge abutments; sleepers marked with positive numbers are located on the approach; those with negative numbers, on egresses from the bridge deck.

Methods. The author uses engineering methods, mathematical apparatus. The measurement methodology is described in [1].

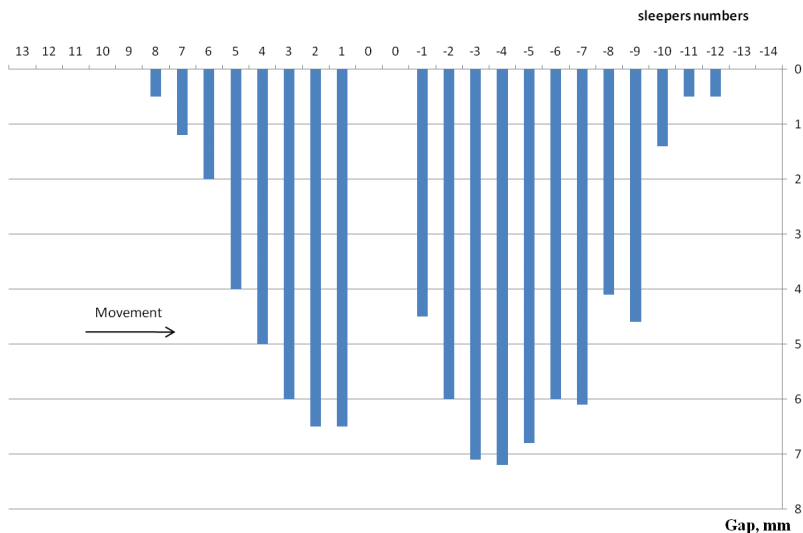
Objectives. The author's task is to synthesize design of structures that exert comparatively uniform impact on the sleepers (or other rail supports) in the bridge zone while maintaining the loads on the ballast closest to their design values.

1.

Settlement of the conventional track on the approaches had led to the formation of significant geometric irregularity of the profile and hidden

deflections (the levels of sleeper bases). These irregularities and deflections were caused by two factors: the practically settlement-free rail supports on the bridge with ballastless track, and oscillations of vehicles caused by deformations of the bridge superstructure under the load. The operation of the first factor had resulted in a situation when in the absence of loading the rail simply hanged in the air without resting on the ballast over several meters of the approach; there were gaps under the sleepers. The sizes of the gaps are shown in Pic. 1. The wheel of a railcar thus moves on a hidden irregularity that is significantly deeper than it appears.

The other factor determines the differences between the irregularities on the approach to the bridge and the egress from the bridge. On the approach, the irregularity has a comparatively short length, and the depths of the gaps grow monotonously as the bridge gets closer, while of the egress the irregularity is longer due to the vehicles' oscillations caused by the oscillations of the bridge superstructure. It is shown in [2] that the variability of the load on the rail sleeper (support) beyond the bridge superstructure has an oscillatory nature as it is caused by the oscillation of the vehicle. We note here that by the time of the survey, the tonnage



Pic. 1. Depths of hidden irregularities in the bridge approach zones.

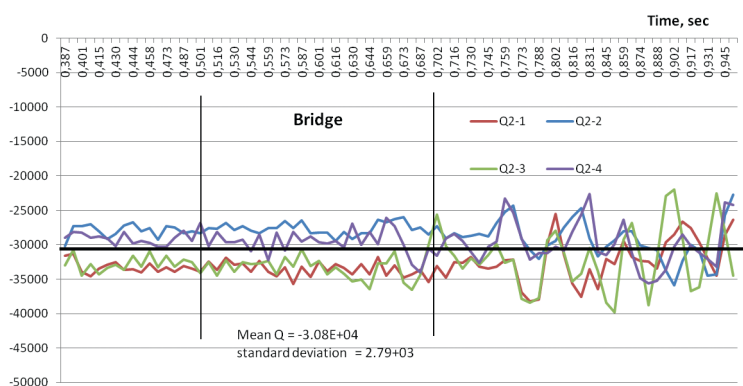


Fig. 2. Loads applied to the rail support by the EVS-2 train before optimization.

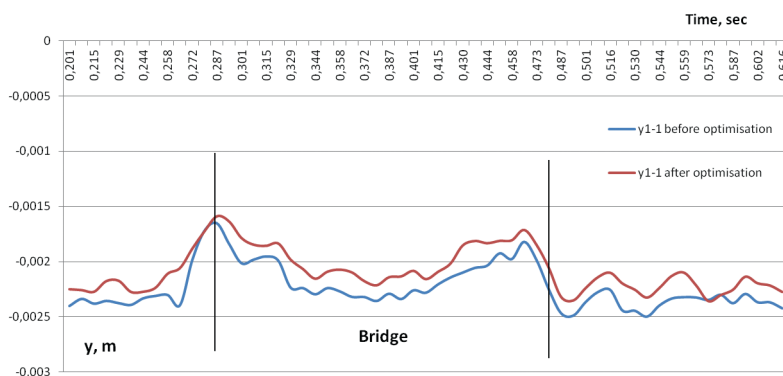


Fig. 3. Oscillations of the first wheel of the first car.

passed after a major track overhaul was a mere 100 million tons gross.

The formation of the bridge approach pit is a result of ballasted track settlement, and the gaps grow in size «monotonously». The behavior of the train after leaving the bridge is completely determined by the oscillations of the bridge superstructure and the design of the bridge deck. The sizes of gaps under the sleepers are patterned according to the oscillations of the vehicle's elements that get excited as they pass through the oscillating bridge superstructure. Therefore, tackling the problem of the interface zone requires consideration of the entire section of the bridge crossing, including the bridge structures in order to develop the design of transition structures before and after the bridge and thus increase the service life of the interface between the bridge and the railway bed.

The other important conclusion is that the impact on the rail supports needs to be reduced below the value at which the formation of non-elastic residual deformations begins in the supports. According to [3], such a critical load level on the rail support (base plate) is approximately 31 kN.

For the purpose of developing a set of requirements to the structural elements of the transition zone, consideration of a single-span bridge is sufficient. Such a bridge certainly contains all the necessary elements: the approach to the bridge, the oscillating bridge span structure, and the egress from the bridge. The requirements were developed through the application of the optimal dynamic processes theory in the bridge-track-vehicle system as described

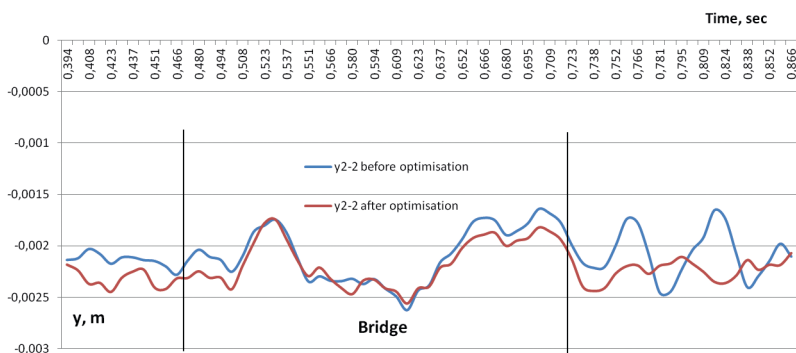
in [46]. We note here that out of all the optimality criteria [6], the criterion of minimal sleeper load deviation from the pre-assigned value Q will be the most effective for ensuring track stability and for prevention of residual deformations of the ballast:

$$D = \int_0^T \int_0^L (\gamma(x)\delta(x)U(y_r - y_p) - Q)^2 dxdt \rightarrow \min, \quad (1)$$

where $U(x, t) = \gamma(x)\delta(x)U'$ ($y_r - y_p$) is the reaction of the sleeper, $\delta(x)$; $\gamma(x)$ are the control functions modeling the longitudinal change in the stiffness of the rail support with the change in the sleeper spacing and the change in the stiffness of the track foundation that depends on both the thickness of the compressible layer (from infinite on an embankment to limited on a bridge span structure or zero on a ballastless bridge deck) and the rigidity of the baseplate in the fastening unit or the pad on the bottom surface of the sleeper; $y_p = y_p(x, t)$ is the function of the rail's vertical displacement; y_b is the same for a bridge span structure; L is the length of the modeled section that includes the bridge and the approaches; T is the time during which the train is present on the modeled section; Q is the mean assigned value of the load on the rail bed immediately under the wheels along the entire length of the transition section and over the entire period of the train passage.

In the integrand (1) we put the standard deviation of the loads $U(x, t)$ from the assigned value Q , which standard deviation needs to be minimized. The control functions $\delta(x) = U3$, $\gamma(x) = U2$ that deliver the minimum to the quality functionality (1), are to be determined in the process of interaction optimization in the bridge-track-vehicle system.





Pic. 4. Oscillations of the second car's second wheel.

Reaching the minimum of the integral criterion for quality would mean a relatively even impact on the rail supports under all wheels of the train, and the value of this impact would be closest to the assigned mean value Q of the load. This approach makes it possible to prevent significant local overloads that lead to track profile issues and accumulation of residual deformations set forth in Pic. 1.

2.

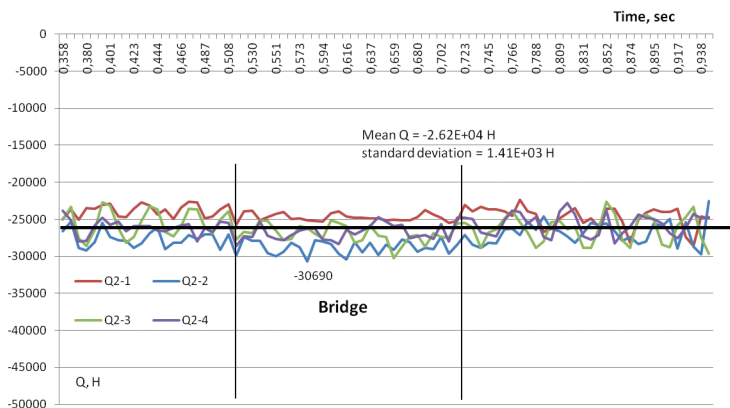
First, let us consider the behavior of the bridge-track-vehicle system in the absence of any special track structures in the approaches, assuming a bridge track with concrete sleepers at sleeper density of 1,840 sleepers/km, with dirty and moist ballast; a concrete 23.6 m bridge span of a box-like section. With synchronous loading of the two tracks, the greatest oscillations of the bridge span and therefore extreme interactions in the system are observed. The amplitude of the bridge span's oscillations, and thus the impact on rail supports outside of the bridge with moist and dirty ballast turned out 7 % higher than with clean and dry ballast. From this point on, we shall consider precisely such conditions.

Pic. 2 shows baseplate load diagrams under the wheels of the second car of the EVS-1 train that is passing a bridge with a 23.6 m bridge span at the speed of 400 km/h. Hereinafter, the vertical axis shows the load on the baseplate (H); the horizontal axis, time t (in seconds) for the second wheel of the second car ($t = 0$ at the entry of this wheel onto the modeled section); the modeled car is moving from the left to the right. In such span structures, steady-

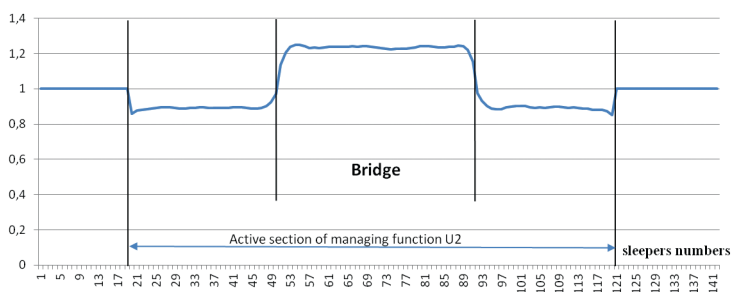
state oscillations with an amplitude of 0.918 mm are observed as early as the passage of the second car. This, in turn, is the cause of significant oscillations of the cars and track overloading beyond the bridge structure, while the spike in stiffness at the entry to the bridge remains unnoticed. The load on the rail support reaches 40 kN beyond the bridge, while on the bridge and before the bridge it amounts to approximately 35 kN, with 30.8 kN being the average value for the whole of the bridge zone.

The aforementioned «unnoticed» entry of the second car's wheel on the bridge span, manifested by the absence of a noticeable increase of the load on the first rail support on the bridge, requires a comment.

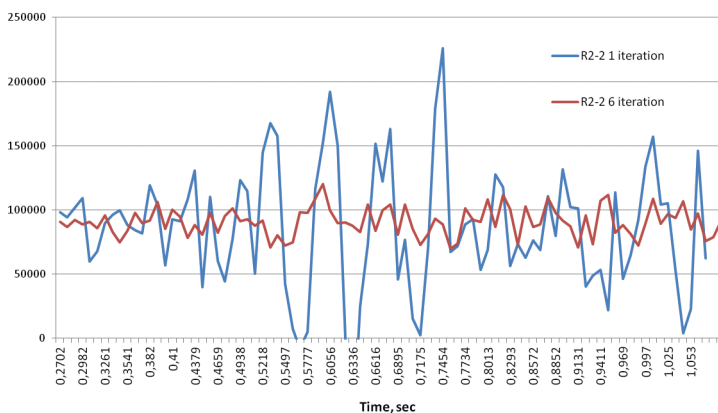
Oscillations of the first car's first wheel (Pic. 3) match the «classic» concept of interactions in the bridge-track-vehicle system in a static setting and relatively low speeds. As can be seen from Pic. 3, before the oscillations of the span structure begin (both before and after optimization), the first wheel reacts to the change in the stiffness of the rail support at the transition from the embankment to the bridge, which is manifested in a rather sharp reduction in the rail deflection under this wheel, and in the excitation of the wheel's oscillations (the wheel «jumps»). It is also seen that the span structure deforms under the first bogie, and the wheel travels on the deformed profile. The optimization smooths out the transition, and the oscillations excited at the entry are noticeably less pronounced. Further on, however, oscillations in the system are largely determined by the oscillations of the span structure rather than the



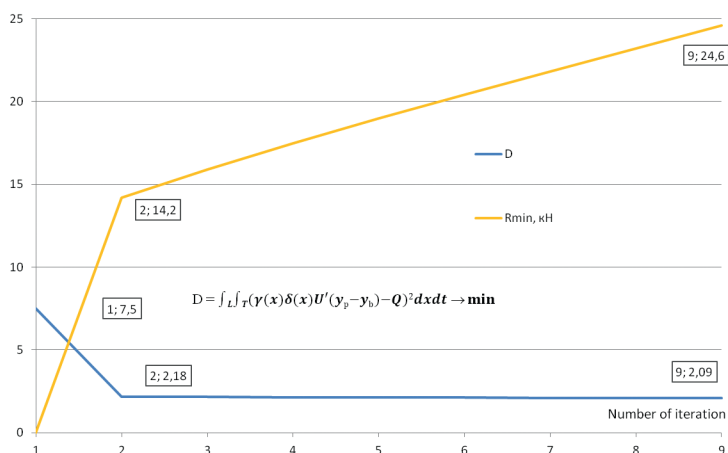
Pic. 5. Loads after optimization.



Pic. 6. $U_2 = y(x)$ function delivering the minimum to the quality functional.



Pic. 7. Sample diagram of the vertical force in the contact of the wheel and the rail after optimization.



Pic. 8. Evolution of the quality criterion D and of the minimum wheel pressing force in the process of optimization.

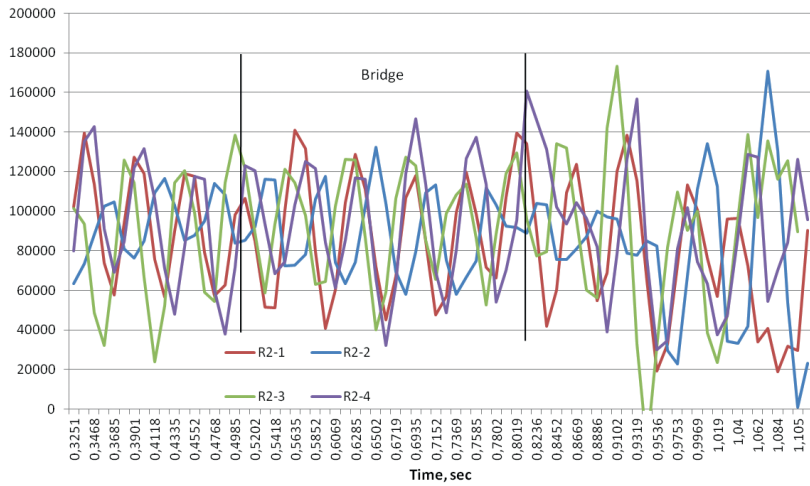
change in the stiffness of the rail support. The motion of the wheel at 0.523 sec in Pic. 4 is caused by the oscillation phase of the span structure and not by the spike in stiffness [8].

As already mentioned, at baseplate loads in excess of 31 kN, residual deformations begin to show up, and optimization aims to preclude them. We note here that the above values of the loads inevitably lead

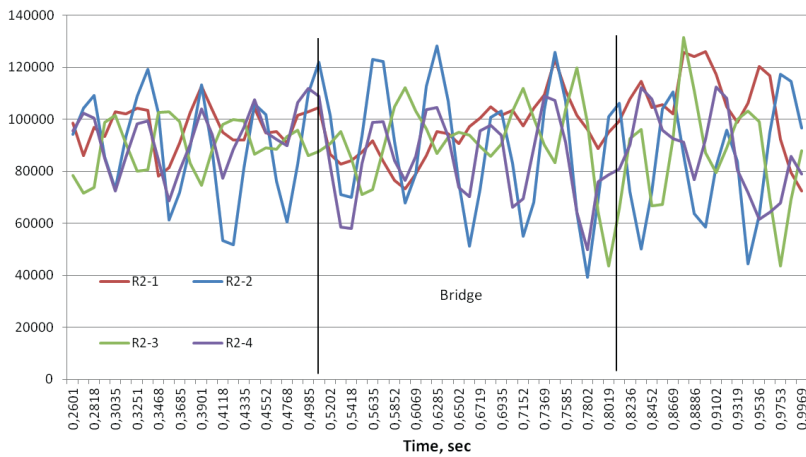
to the emergence of non-elastic (residual) deformations in the ballast, which in turn will become the cause exciting additional oscillations of unsprung masses, track profile deflections, and deterioration of the interaction in the bridge-track-vehicle system, which should not be allowed.

Optimization brings about significant changes to the interaction in the bridge-track-vehicle system





Pic. 9. Wheel-rail contact force before the optimization.



Pic. 10. Wheel-rail contact force after the optimization.

(Pic. 5). The optimal control function U_2 that is related to the distribution under the rail of baseplate rigidity (or related to the pads on the bottom surface of the sleeper) and that changes the stiffness of the rail support is shown in Pic. 6. Such stiffness distribution is relatively easy to implement in practice.

It can be seen in Pic. 5 that the mean value of the load on the rail support is significantly (by a factor of 3.6) smaller than the standard deviation. Most importantly, the maximum value of the load is reduced to 30.7 kN, which in theory rules out non-elastic residual deformations forming under the sleeper (the threshold for the emergence of residual deformations in the ballast is 31 kN). It should be noted that the said residual deformation emergence threshold load was established for concrete sleepers on crushed rock ballast. The proposed solution involves the use of elastic pads on the bottom surface of sleepers, which would noticeably raise this threshold.

The application of the special design solution for the bridge deck starts at sleeper No. 20 (Pic. 6). Up to this point, $U_2 = 1$, which corresponds to the conventional track design: the sleeper density of

1,840 sleepers/km, baseplates with a stiffness of 90 kN/mm, dirty and moist ballast. The feature that distinguishes this design from the conventional one is that by sleeper No. 20, the guardrail (a set of guard angles) after the shuttle is placed closest to the running rail ($U_1 = 0.85$), and further change of this position will be suppressed up to sleeper No. 120. Beyond that sleeper, the guard rails start to converge into a shuttle, and baseplates have standard stiffness.

It is extraordinarily important that optimization of the interaction process leads to a substantial increase of the minimal vertical force in the contact between the wheel and the rail: $R_{min} = 24.55$ kN. It is shown in [7, 8] that at a value of this force below 23.814 kN neither the stability of the wheel on the rail nor traffic safety are ensured in any, even infinitely short, period when the vertical projection of the contact force is at its critical value. Notably, separation of the wheel from the rail is registered before the optimization. A sample force diagram in the wheel-rail contact is provided in Pic. 7: separation of the wheel is registered in iteration 1; in iteration 6, the interaction between the wheel and the rail is returned in the safe range.

The optimization process is set forth in Pic. 8. In that Pic. D is the value of the integral quality functional (1) (decreased by 11 orders of magnitude for convenience of showing in a single diagram), and it is this parameter that needs to be minimized; R_{min} is the minimum value of the vertical force in the contact of all wheels and the rail.

It can be seen in Pic. 8 that as early as in the second iteration we succeed at significantly reducing the integral quality functional (1) that is the integral by the time of the train's passage through the model section of the sum of standard deviations of the load on the support from the assigned value Q under all the eight wheels of the train. In the second iteration, no separation of the wheel from the track is observed: over the entire period of train passage R_{min} is never below 14.2 kN, and by the 9th iteration R_{min} increases to the acceptable value 24.6 kN.

At first glance, the solution suggested by the optimal control theory is paradoxical: on approaches, track stiffness should be noticeably reduced, and conversely, it should be increased on the span structure. However, such a solution is explained by the unusually stiff span structures on the Moscow-Kazan HSR. For example, the span structure deflection in the process of oscillations never exceeds 1 mm and its value is close to rail deflection on an embankment. Reduced track stiffness on the approaches provides for a decreased interaction between the wheels and the rail, especially that caused by oscillations caused by various factors, including passage through a span structure. It should be proper to note here that the stiffness of pads on a ballastless track (that determines track stiffness almost completely) stands at 25 kN/mm on Chinese HSRs [9], which is significantly lower than the stiffness of pads used by the RZD whose stiffness averages 90 kN/mm.

Increased track stiffness levels out rail deformations on a «soft» approach and on the span structure itself, so that the wheel «never notices» the span structure.

It is not hard to see that, to achieve the optimal result, comparatively simple design measures would be required: a guard rails (a set of guard angles) positioned closest to the running rail throughout the entire length of the transition; the sleeper density stays unchanged at 1,840 sleepers/km. To control the stiffness of rail supports, pads of various stiffness values are needed, and they are installed in a simple pattern.

Let us take a closer look at the traffic safety aspects. If the vertical force pressing the wheel to the rail is insufficient, the flange of the wheel may roll onto the rail head under the impact of lateral forces, which may result in derailling. At high speeds of movement, such an occurrence will lead to a train wreck with dire consequences, especially in a bridge zone [8] recommends 23.8 kN as the minimum value of the vertical force in the contact between the wheel and the rail. Pics. 9 and 10 show diagrams of the vertical forces in the wheel-rail contact of the second car of the EVS-2 train before and after the optimization. As can be seen, before the optimization not only the force

repeatedly drops below the safe level; but detachment of the wheel from the rail also occurs. The optimization smooths out the interaction between the wheel and the rail; this interaction becomes «calmer», with the vertical force never dropping below 40 kN.

Conclusions

In addressing the issue of transition zones in approaches to bridges, the entire bridge transition section needs to be considered, including span structures that have material effect on the oscillations of the cars beyond the bridge.

The applied optimal control theory makes it possible to find quite practical solutions to significantly reduce the average load on rail supports, and the non-uniformity of impacts exerted on the supports. Also, the maximum value of load can be brought to a level below the threshold when residual non-elastic deformations emerge in the ballast. The proposed measures ensure both a long service life of the rail support structures and traffic safety.

REFERENCES

1. Klinov, S. I., Polyakov, V. I. Methodology and Results of Determining Hidden Track Irregularities on Approaches to Artificial Structures [*Metodika i rezul'taty opredeleniya potajnykh nerovnostej puti na podkhodakh k iskusstvennym sooruzheniyam*]. Collection of Inter-University Research Papers, 1984, Iss. 759, MIIT Publishers, pp. 70–76.
2. Polyakov, V. Y. Impact of Rolling Stock on the Track in the Bridge Zone on a HSR [*Vozdejstvie na put' podvizhnogo sostava v zone mosta na VSM*]. Track and Track Infrastructure, 2014, Iss. 10, pp. 24–27.
3. Gasanov, A. I. Modeling the Concrete Sleeper in View of Track Foundation Settlement [*Raschet zhelezobetonnoj shpaly pri uchete osadochnosti osnovaniya*]. Proceedings of MIIT, 1996, Iss. 901, pp. 47–49.
4. Polyakov, V. Yu. The interaction of rolling stock with elements of a bridge at high speed movement. D.Sc. (Tech) thesis. [*Vzaimodeystvie podvizhnogo sostava s elementami mostovogo perehoda pri vysokoskorostnom dvizhenii. Dis... dok. tehn. nauk*]. Moscow, 1994, 395 p.
5. Polyakov, V. Y. Numerical modeling of rolling stock interaction with bridge structures in high-speed traffic [*Chislennoe modelirovanie vzaimodeystviya podvizhnogo sostava s mostovymi konstruktsiyami pri vysokoskorostnom dvizhenii*]. Structural Mechanics and Computation of Structures, 2016, Iss. 2, pp. 54–60.
6. Polyakov, V. Y. Synthesis of optimal span structures for a high-speed railway [*Sintez optimal'nykh prolemykh stroenij dlya vysokoskorostnoj magistrali*]. Structural Mechanics and Computation of Structures, 2016, Iss. 3, pp. 35–42.
7. Verigo, M. F., Kogan, A. Ya. Interaction of track and rolling stock [*Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava*]. Moscow, Transport publ., 1986, 559 p.
8. Polyakov, V. Y. Safety on a Bridge at High Speeds [*Bezopasnost' pri vysokikh skorostyakh na mostu*]. World of Transport and Transportation, Vol. 12, 2014, Iss. 6, pp. 182–188.
9. Wanming, Zhai *et al.* Experimental investigation into ground vibrations induced by very high speed trains on a non-ballasted track. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 72, May 2015, pp. 24–36. ●

Information about the author:

Polyakov, Vladimir Yu. – D.Sc. (Eng), professor at the department of bridges and tunnels of Russian University of Transport, Moscow, Russia, pvy55@mail.ru.

Article received 26.04.2017, accepted 05.07.2017.





Сравнение качества обслуживания при доставке саморазгружающихся контейнеров



Игорь РЯБОВ
Igor M. RYABOV

Вера ГОРИНА
Vera V. GORINA



Рябов Игорь Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных перевозок Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия.

Горина Вера Валерьевна – магистрант кафедры автомобильных перевозок Волгоградского государственного технического университета, Волгоград, Россия.

A Comparative Study of Service Quality in Delivering Self-Unloading Containers

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 72)

Использование контейнеров даёт возможность сократить затраты на транспортировку грузов, погрузо-разгрузочные работы, повысить эффективность использования техники и оборудования. Это приводит к непрерывному росту контейнерных перевозок, однако темпы их роста сдерживаются недостаточным количеством терминальных комплексов, без которых нельзя осуществить перегрузку контейнеров на автомобильный транспорт, доставляющий их конечному потребителю. Для решения этой проблемы авторами была предложена технология доставки контейнеров без использования терминальных комплексов (см.: Мир транспорта, 2016, № 4). В публикуемой статье даётся оценка качества транспортного обслуживания при прежней привычной технологии и предлагаемой с использованием саморазгружающегося контейнера.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, транспортабельный контейнер, технологии перевозки, грузоподъёмные стойки, терминальные комплексы, оценка качества обслуживания.

В прошлогодней публикации в «МТ» нами была апробирована новая технология доставки контейнеров без использования терминальных комплексов (ТК), которая основана на применении конструкции саморазгружающегося контейнера [1]. Предложенный вариант оснащён грузоподъёмными стойками с электроприводом, которые позволяют за счёт энергии аккумулятора подвижного состава или сети станции поднять контейнер над железнодорожной платформой, а затем опустить его на платформу автомобиля, доставляющего груз в пункт назначения заказчику.

На погрузо-разгрузочной площадке пункта назначения грузоподъёмные стойки контейнера самостоятельно снимают его с платформы и при этом могут установить на высоту, удобную для выгрузки-загрузки товаров, или даже опустить на основание контейнера для применения средств механизации. Аналогично осуществляется и погрузка обратно на железнодорожную платформу [1–3].

Сравнение существующей и предлагаемой технологии доставки контейнеров по используемому оборудованию и подвижному составу (ПС) представлено в таблице 1.



Рис. 1. Контейнер, опущенный на основание для разгрузки.

Таблица 1

Сравнение технологий доставки контейнеров

№	Операция	Используемое оборудование и подвижной состав	
		Существующая технология	Предлагаемая технология
1	Загрузка грузов в контейнер	Универсальные погрузчики (например, вилочные)	
2	Погрузка контейнера на ПС	Специальные погрузочные устройства (например, фронтальные и боковые контейнерные погрузчики)	–
3	Перевозка контейнера потребителю или на терминальный комплекс	Специализированные полуприцепы-контейнеровозы	Специализированные полуприцепы-контейнеровозы, универсальная грузовая платформа
4	Снятие контейнера с ПС	Специальные разгрузочные устройства (например, козловые краны)	–
5	Выгрузка грузов из контейнера	Ручная погрузка-выгрузка, с помощью тележек или погрузчиков	

Анализ таблицы 1 показывает, что для осуществления доставки контейнеров по новой технологии требуется меньше технических устройств и возможно применение неспециализированного подвижного состава.

В связи с этим представляет интерес сравнительная оценка качества транспортного обслуживания при доставке контейнеров по существующей и предлагаемой технологии. Причём с учётом того, что повышение качества обслуживания контейнеров в местах их перегрузки остаётся актуальным как для грузоотправителей, так и для грузополучателей, поскольку недостаточный его уровень становится причиной снижения эффективности перевозочного процесса.

Проведём анализ факторов, определяющих качество обслуживания контейнеров (рис. 2).

Показателем «надёжность» можно оценить гарантию выполнения операций, их последовательность и своевременность:

$$S_{\text{над}} = \frac{Y_{\text{выпол}}}{Y_{\text{заяв}}}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{выпол}}$, $Y_{\text{заяв}}$ — количество заявок, выполненных с достаточной степенью надёжности, и общее количество заявок на услуги соответственно [5].

Показатель, характеризующий надёжность выполнения операций «точно в срок», определяется выражением:

$$S_{\text{над}} = \frac{t_{\text{ном}}}{t_{\text{факт}}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ном}}$, $t_{\text{факт}}$ — номинальное и фактическое время выполнения операций соответственно.

Номинальное время выполнения операций принимается на основе нормативных требований с учётом условий работы транспортного комплекса, а также пожеланий клиентов [5].

Критерий безопасности прежде всего характеризует степень обеспечения безопасности движения в местах расположения транспортных комплексов:



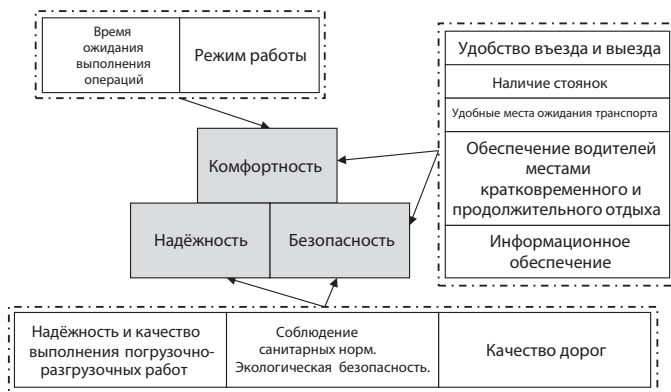


Рис. 2. Факторы, определяющие качество обслуживания контейнеров.

$$S_{\text{без}} = \frac{1}{k} \left(\frac{F_{\text{под, норм}}}{F_{\text{под}}} + \frac{F_{\text{ст, норм}}}{F_{\text{общ}}} + (1 - D_{\text{ТСОД}}) \right), \quad (3)$$

где $F_{\text{под}}$, $F_{\text{под, норм}}$ – фактическое и нормативное количество подъездов транспорта с контейнерами к местам перегрузки; $F_{\text{общ}}$, $F_{\text{ст, норм}}$ – общее количество терминальных комплексов и количество ТК, оборудованных в соответствии с нормативными требованиями; $D_{\text{ТСОД}}$ – частный коэффициент дефектности, определяемый по наличию и соответствию требованиям необходимых технических средств и условий обслуживания контейнеров на терминалах (при $D_{\text{ТСОД}} = 0$); k – количество учитываемых частных критериев безопасности подъезда, перегрузки контейнеров и отъезда транспорта [5].

Критерий комфортности представляет собой комплекс оценочных параметров обстановки и условий предоставления услуги с точки зрения удобства для потребителя и определяется с помощью социологических исследований.

На основе анализа влияния факторов на качество обслуживания контейнеров в ТК, а также результатов предварительных исследований и согласно ГОСТ Р 9001-2008 и ГОСТ Р 51004-96 были выбраны 12 частных показателей оценки качества:

- 1) Надёжность и качество операций.
- 2) Технологическая оснащённость.
- 3) Время ожидания перегрузки.
- 4) Удобства въезда и выезда.
- 5) Наличие стоянок и свободных мест.
- 6) Соблюдение санитарных норм.
- 7) Дополнительные услуги.
- 8) Наличие мест ожидания операций.

9) Информационное обеспечение.

10) Компетентность и профессионализм персонала.

11) Культура обслуживания.

12) Доступность цен.

Данные показатели учитывают надёжность, уровень комфортности, скорость и своевременность операций, социально-экономические результаты, безопасность и информационное обеспечение.

Для количественной оценки частных критериев и комплексного показателя качества обслуживания контейнеров в ТК выбрана методика, основанная на применении регистрационных методов и методов социологии (опросы, анкетирование, использование шкал) для сбора исходной информации, с последующей обработкой методами математической статистики и применением расчётных методов.

В таблице 2 представлена оценка качества транспортного обслуживания при доставке контейнеров по существующей и предлагаемой технологии на основании мнения экспертов по 12-балльной шкале (1 – низкое значение, 12 – высокое значение показателя). Абсолютное изменение показателей качества определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{абс } j} = A_{\text{предл } j} - A_{\text{сущ } j}, \quad (4)$$

где j – номер фактора; $A_{\text{сущ } j}$, $A_{\text{предл } j}$ – балльная оценка, присвоенная j -му фактору экспертом по существующей и предлагаемой технологии доставки контейнеров.

Темп прироста показателей качества определяется по формуле:

$$T_{\text{ПП}} = \frac{\Delta_{\text{абс } j}}{A_{\text{сущ } j}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Экспертная оценка качества транспортного обслуживания при доставке контейнеров по существующей и предлагаемой технологии

№	Факторы	Экспертная оценка		Изменения	
		Существующая технология	Предлагаемая технология	Абсолютные величины	Темп прироста, %
1	Надёжность и качество операций	7	11	4	57,1
2	Технологическая оснащённость	9	12	3	33,3
3	Время ожидания перегрузки	12	1	-11	-91,7
4	Удобства въезда и выезда	8	10	2	25,0
5	Наличие стоянок и свободных мест	7	12	5	71,4
6	Соблюдение санитарных норм	11	12	1	9,1
7	Дополнительные услуги	7	9	2	28,6
8	Наличие мест ожидания операций	6	11	5	83,3
9	Информационное обеспечение	10	10	0	0
10	Компетентность, профессионализм персонала	11	11	0	0
11	Культура обслуживания	8	9	1	12,5
12	Доступность цен	5	10	5	100,0

Оценка качества транспортного обслуживания с участием экспертов показала, что технология доставки саморазгружающихся контейнеров позволяет:

- в два раза снизить стоимость операций;
- сократить до минимума время ожидания перегрузки;
- увеличить число мест ожидания перегрузки, стоянок и свободных мест;
- повысить надёжность и качество операций.

Таким образом, предлагаемая технология создаёт возможности, чтобы достичь реального совокупного социального, информационного и экономического эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябов И. М., Горина В. В. Технологии перевозки контейнеров с использованием грузоподъёмных стоек // Мир транспорта. – 2016. – № 4. – С. 52–61.
2. Патент на полезную модель № 168036, Российская Федерация, МПК В65D90/14, В60P1/64. Погрузочно-разгрузочное устройство транспортябельного контейнера / И. М. Рябов, В. В. Горина; ВолгГТУ. – 2017.
3. Горина В. В. Расширение возможностей использования транспортябельных контейнеров за счёт совершенствования их конструкции // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета

(г. Волгоград, 10–13 мая 2016 г.). – Волгоград, 2016. – С. 120–121.

4. Вельможин А. В., Гудков В. А., Миротин Л. Б., Куликов А. В. Грузовые автомобильные перевозки: Учебник. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 560 с.

5. Серова Е. Ю. Обеспечение качественного придорожного обслуживания водителей и пассажиров на основе эффективной организации системы предпринимательского сервиса / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Волгоград, 2011. – 16 с.

6. Контейнеризация перевозок. [Электронный ресурс]: <http://www.alternativa.in/container/konteynerye-perevozki-pri-rastayut-za-schet-khimicheskikh-i-nalivnykh-gruzov.html>. Доступ 25.04.2017.

7. Eliasson L. Analysis of factors affecting productivity and costs for a high- performance chip supply system / Eliasson L., Eriksson A., Mohtashami S. // Applied Energy. – 2017. – Т. 185. – Pp. 497–505.

8. Garcia J. M. Coordinated scheduling of production and delivery from multiple plants / Garcia J. M., Lozano S., Canca D. // Robotics and Computer Integrated Manufacturing. – 2004. – Т. 20. – Vol. 3. – Pp. 191–198.

9. Giuffre O. Estimation of Passenger Car Equivalents for single-lane roundabouts using a microsimulation-based procedure / Giuffre O., Grana A., Tumminello M. L., Sferlazza A. // Expert Systems with Applications. – 2017. – Т. 79. – Pp. 333–347.

10. Lobo Antonio, Jane Vivec. Port users perspective of the container transshipment business // Proceedings of the 1. International Conference on Port and Maritime R&D and technology. Singapore: 2001. – Pp. 87–94.

11. Vuyeykova O. Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines / Vuyeykova O., Sladkowski A., Stolpovskikh I., Akhmetova M. // Transport Problems. – 2016. – Т. 11. – Vol. 1. – Pp. 79–85.

Координаты авторов: **Рябов И. М.** – rjabov1603@mail.ru, **Горина В. В.** – im_ja@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 22.02.2017, принята к публикации 07.05.2017.





A COMPARATIVE STUDY OF SERVICE QUALITY IN DELIVERING SELF-UNLOADING CONTAINERS

Ryabov, Igor M., Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia.
Gorina, Vera V., Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia.

ABSTRACT

Containers offer cost-cutting opportunities in cargo transportation, loading/unloading operations, improving the efficiency of machinery and equipment utilization. This leads to continued growth in the volume of containerized cargo transportation; however, this growth is held back by the limited number of container terminals where containers are transferred to automotive transport that delivers them

to the end receiver. To address this problem, the authors have developed a technology to deliver containers without the use of container terminals (cf.: World of Transport and Transportation, Vol. 14, 2016, Iss. 4). This article assesses the quality of transportation services provided by the old conventional technology in comparison with the suggested one that relies on the use of the self-unloading container.

Keywords: automotive transport, transportable container, transportation technology, jack posts, container terminals, container yards, service quality assessment.

Background. Our last year's article in the World of Transport of Transportation summarized the trial of a new container delivery technology that involved the use of no container terminals or container yards. That technology relies on a new design, the self-unloading container [1]. The proposed configuration included jack posts with electric drives that, using the power supplied by either the batteries of the train or the power grid of the station, lift the container over the flatbed railcar and then put it down on an automotive flatbed trailer for delivery to the final destination.

On the loading/unloading pad at the final destination, the container's jack posts, with no additional equipment required, lift the container off the flatbed trailer and position it at a height that is convenient for the loading or unloading of the goods, or even place the container on the ground so that other lifting equipment can be used. Loading of the container onto a flatbed railcar is performed in a similar manner [1–3].

Table 1 compares the existing and proposed technologies of container delivery by the equipment and vehicles used.

Table 1 shows that the new container delivery technology requires less equipment while making it possible to use non-specialized vehicles.

Objective. As new container delivery technology requires less equipment, we could provide a comparative assessment of transportation service quality offered by the existing and proposed container delivery technologies. The comparison needs to consider,

among other factors, that the need to improve the quality of container handling at container transfer sites remains a concern for both shippers and receivers, as insufficient quality of these operations has a negative effect on the overall efficiency of the process of transportation.

Methods. The authors use mostly economic comparative analysis methods.

Results.

Let us review the factors that define the quality of container service (Pic. 2).

The 'reliability' integrated indicator includes guaranteed execution of the operations, their correct succession and timeliness:

$$S_{\text{reliab.}} = \frac{y_{\text{executed}}}{y_{\text{requested}}}, \quad (1)$$

where y_{executed} , $y_{\text{requested}}$ are the number of operations that are executed with a sufficient degree of reliability, and the total number of service requests, respectively [5].

The indicator that characterizes the reliability of operations being executed 'just on time' is determined by the formula:

$$S_{\text{reliab.t}} = \frac{t_{\text{nom}}}{t_{\text{actual}}}, \quad (2)$$

where t_{nom} , t_{actual} are the nominal and actual times, respectively, of the operation's execution.

The nominal time needed to execute an operation is assumed based on the regulatory requirements adjusted for the conditions of the container terminal's operation and requests from the clients [5].

Table 1

Comparison of container delivery technologies

№	Operation	Equipment and vehicles required	
		Existing technology	Proposed technology
1	Loading of cargo into container	Common loaders (e.g. forklifts)	
2	Loading of container on the vehicle	Specialized loading equipment (e.g. front or side container loaders)	—
3	Transportation of container to the receiver or to a container terminal	Specialized container semitrailers	Specialized container semitrailers, universal cargo flatbeds
4	Unloading of container from the vehicle	Specialized unloading equipment (e.g. gantry cranes)	—
5	Unloading of cargo from container	Manual unloading using pallet dollies or similar load-handling equipment	

Table 2

Expert evaluation of transportation service quality in container delivery with the existing and proposed technologies

No.	Factors	Expert valuation		Changes	
		Existing technology	Proposed technology	Absolute value	Improvement rate, %
1	Reliability and quality of operations	7	11	4	57.1
2	Technological level of available equipment	9	12	3	33.3
3	Waiting time before transloading	12	1	-11	-91.7
4	Convenience of approach and departure	8	10	2	25.0
5	Availability of parking lots and free parking spaces	7	12	5	71.4
6	Compliance with sanitation requirements	11	12	1	9.1
7	Extra services	7	9	2	28.6
8	Availability of waiting areas before operations	6	11	5	83.3
9	Information support	10	10	0	0
10	Personnel competence and professionalism	11	11	0	0
11	Level of service culture	8	9	1	12.5
12	Affordable prices	5	10	5	100.0

The safety criterion primarily characterizes the degree of traffic safety in locations where transportation complexes are situated:

$$S_{saf.} = \frac{1}{k} \left(\frac{F_{norm.appr.}}{F_{appr.}} + \frac{F_{compliant}}{F_{total}} + (1 - D_{def.}) \right), \quad (3)$$

where $F_{appr.}$, $F_{norm.appr.}$ are the actual and normative numbers of approaches to transfer sites for container-carrying vehicles; F_{total} , $F_{compliant}$ are the total number of container terminal complexes and the number of terminal complexes equipped in compliance with regulations; $D_{def.}$ is a partial coefficient of defectivity defined by the availability and technical compliance of equipment and equipment maintenance at terminals (at $D_{def.} = 0$); k is the number of partial safety criteria factored in the equation such as safety of approach, container transloading, and vehicle departure [5].

The comfort criterion is a set of parameters assessing the environment and conditions in which the service is provided from the perspective of convenience for the consumer. The values involved in this criterion are determined with sociological surveys.

Based on our analysis of the effects of various factors influencing the quality of container service in transport companies, the results of interim studies, and the requirements contained in GOST R9001–2008 and GOST R51004–96 national standards, the following 12 partial criteria were selected for assessing the quality of service:

- 1) Reliability and quality of operations.
- 2) Technological level of available equipment.
- 3) Length of the waiting period before transloading.
- 4) Convenience of approach and departure.
- 5) Availability of parking lots and parking spaces.
- 6) Compliance with sanitation regulations.
- 7) Extra services.
- 8) Availability of waiting areas before operations.
- 9) Information support.
- 10) Competence and professionalism of the personnel.



Pic. 1. A container placed on the ground for unloading.

- 11) Level of service culture.
- 12) Affordable prices.

These indicators cover the reliability, comfort level, speed and timeliness of operations; socio-economic aspects, safety and information support.

To obtain quantitative values of the partial criteria and arrive at an integral indicator of the quality of container service offered by transportation companies, a methodology was selected that was based on the application of registration techniques and methods of sociology (opinion polls, questionnaires, scale rating) to collect raw data that was subsequently processed with methods of mathematical statistics and computational methods.

Table 2 summarizes transport service quality assessment for the existing and proposed technologies of container delivery based on expert opinions and a 12-point scale (1 being the lowest and 11 the highest value of the indicator). The absolute change in the quality indicators was computed by the formula:

$$\Delta_{absj} = A_{proposed,j} - A_{existing,j} \quad (4)$$

where j is the factor's consecutive number; $A_{existing,j}$, $A_{proposed,j}$ are the points given to the j th factor by an



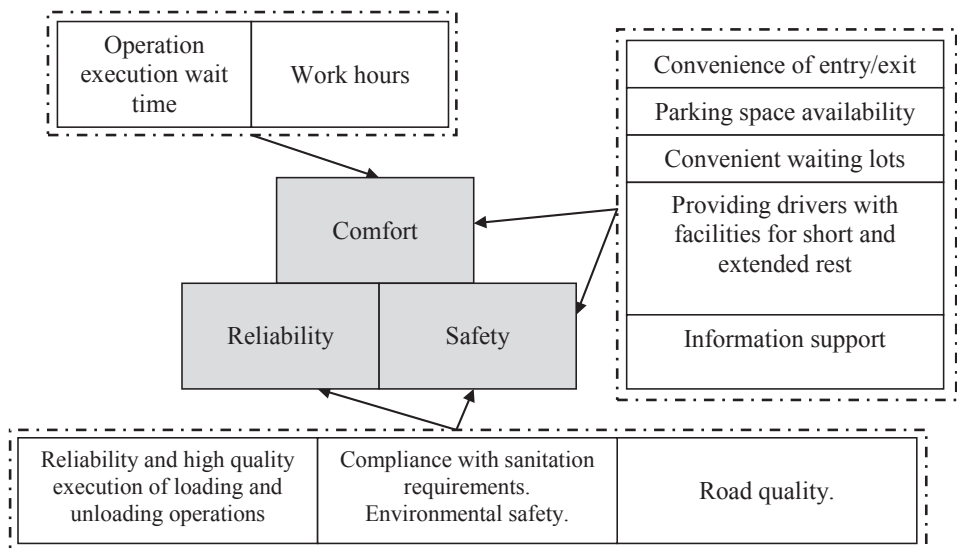


Fig. 2. Factors that define container service quality.

expert with regard to the existing or proposed container delivery technology.

The quality indicators' improvement rate was determined by the formula:

$$T_{IR} = \frac{\Delta_{abs,j}}{A_{existing,j}} \cdot 100\% . \quad (5)$$

Expert valuations of transportation service quality demonstrated that delivery technologies involving self-unloading containers allows the following improvements:

- improve price affordability twofold;
- minimize the waiting time before transloading;
- increase the number of waiting areas, parking lots, and free parking spaces before transloading;
- improve the reliability and quality of operations.

Thus, the proposed technology creates opportunities to realize real aggregate social, informational, and economic benefits.

REFERENCES

1. Ryabov, I. M., Gorina, V. V. Technology of Container Transportation Using Lifting Pillars. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 4, pp. 52–61.
2. Utility model patent No. 168036, Russian Federation, MPK B65D90/14, B60P1/64. Loading/unloading device for a transportable container. I. M. Ryabov, V. V. Gorina; Volgograd State University of Engineering, 2017.
3. Gorina, V. V. Expanding the applications of transportable containers through improvements in their design [*Rashireniiye vozmozhnostey ispolzovaniya transportabelnykh konteynerov za schet sovershenstvovaniya ih konstruktssii*]. Competitive exhibition of student research, design, and technology papers at Volgograd State University of Engineering (Volgograd, 10–13 May 2016). – Volgograd, 2016, pp. 120–121.

4. Velmozhin, A. V., Gudkov, V. A., Mirotin, L. B., Kulikov, A. V. Automotive freight transportation. Textbook [*Gruzovye avtomobilnye perevozki: Uchebnik*]. Moscow, Goryachaya Liniya-Telecom publ., 2006, 560 pages.

5. Serova, E. Y. Providing high-quality roadside services to drivers and passengers through effective organization of service businesses operation [*Obespechenie kachestvennogo pridorozhnogo obsluzhivaniya voditeley i passazhirov na osnove effektivnoy organizatsii systemy predpriyatiya servisa*]. Author's abstract of Ph. D. thesis (Engineering), Volgograd, 2011, 16 p.

6. Containerized transportation [*Konteynerizatsiya perevozok*]. [Electronic resource]: <http://www.alternativa.in/container/konteynerye-perevozki-prirastayut-zaschet-khimicheskikh-i-nalivnykh-gruzov.html>. Last accessed 25.04.2017.

7. Eliasson, L., Eriksson, A., Mohtashami, S. Analysis of factors affecting productivity and costs for a high-performance chip supply system. *Applied Energy*, Vol. 185, 2017, pp. 497–505.

8. Garcia J. M., Lozano, S., Canca, D. Coordinated scheduling of production and delivery from multiple plants. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2004, Vol. 20, Iss. 3, pp. 191–198.

9. Giuffre, O., Grana, A., Tumminello, M. L., Sferlazza, A. Estimation of Passenger Car Equivalents for single-lane roundabouts using a microsimulation-based procedure. *Expert Systems with Applications*, 2017, Vol. 79, pp. 333–347.

10. Lobo Antonio, Jane Vivec. Port users perspective of the container transshipment business. Proceedings of the International Conference on Port and Maritime R&D and technology, Singapore, 2001, pp. 87–94.

11. Vuyeykova, O., Sladkowski, A., Stolpovskikh, I., Akhmetova, M. Rationalization of road transport park for the carriage of mining rocks in the open mines. *Transport Problems*, 2016, Vol. 11, Iss. 1, pp. 79–85. ●

Information about the authors:

Ryabov, Igor M. – D.Sc. (Eng), professor of the department of road transportation of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, at rjabov1603@mail.ru.

Gorina, Vera V. – master student at the department of road transportation of Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, im_ia@mail.ru.

Article received 22.02.2017, accepted 07.05.2017.



АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

Государства – члены ИКАО согласовали новое концептуальное видение до 2050 года в отношении устойчиво производимых видов авиационного топлива, которое теперь поможет к 2050 году обеспечить замену значительного объёма обычного реактивного топлива.

Это решение было официально принято 16 октября 2017 года на второй Конференции ИКАО по авиации и альтернативным видам топлива, прошедшей в Мехико (Мексика). Представители государств на этом мероприятии также подтвердили, что любое внедрение соответствующих альтернативных видов топлива должно основываться на критериях устойчивости, разрабатываемых в настоящее время Целевой группой ИКАО, в состав которой входят представители государств, международных организаций и природоохранных групп.

В своем вступительном слове на конференции президент Совета ИКАО д-р Олумуйва Бенард Алиу подчеркнул необходимость в таком новом видении, отметив, что прогресс в деле сокращения эмиссии от авиации, достигаемый в настоящее время

за счёт технологических инноваций и унификации операций, будет недостаточным для достижения целей ИКАО в данном секторе до 2020 года. Д-р Алиу также отметил, что некоторые аэропорты начали предлагать устойчиво производимые виды авиационного топлива авиакомпаниям, заинтересованным в их приобретении, и что такой подход привел к выполнению более 40 000 полётов на устойчиво производимых видах авиационного топлива с момента их первого появления.

С момента проведения в 2009 году первой конференции ИКАО по данному вопросу достигнут существенный прогресс, включая признанную в международном масштабе спецификацию альтернативных видов топлива, пять процессов преобразования, утверждённых для их производства, а также снижение производственных затрат.

По материалам веб-сайта ИКАО: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/RU/ICAO-Conference-on-sustainable-alternative-fuels-agrees-on-new-2050-Vision-to-guide-future-development-and-deployment.aspx>

ALTERNATIVE FUELS FOR CIVIL AVIATION

ICAO Member States have agreed on a new 2050 Vision for Sustainable Aviation Fuels which will now help to ensure that conventional jet fuels are substituted with sustainable alternatives to a significant percentage by 2050.

The decision was formalized on October 16, 2017 at the Second ICAO Conference on Aviation and Alternative Fuels, held in Mexico City, Mexico. States' delegates to the event also confirmed that any related alternative fuel deployment must adhere to the sustainability criteria currently being developed by a Task Force at ICAO, which includes States, international organizations and environmental groups.

In his opening remarks to the event, ICAO Council President Dr. Olumuyiwa Benard Aliu stressed the need for this new Vision, noting that aviation's emissions reduction progress – currently being achieved through technological innovation and streamlined operations – will be

insufficient to meet the sector's 2020 ICAO targets. President Aliu also noted that a number of airports have begun offering sustainable aviation fuels to airlines interested in purchasing them, and that this approach has led to more than 40,000 sustainable aviation fuels flights being conducted since they were first introduced.

Since ICAO's first conference on this topic in 2009, significant progress has occurred, including an internationally recognized alternative fuels specification, five conversion processes approved for their production, and reductions in production costs.

Retrieved and compiled from ICAO web-site. Original source: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-Conference-on-sustainable-alternative-fuels-agrees-on-new-2050-Vision-to-guide-future-development-and-deployment.aspx>





Энергия рекуперативного торможения: копить или обмениваться?



Павел ВЕСЕЛОВ

Pavel A. VESELOV

Regenerative Braking Energy: to Store or to Exchange?

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 81)

В статье оцениваются способы реализации энергии рекуперативного торможения на линиях метрополитена, проводится анализ избыточной энергии при межпоездном обмене, приводятся результаты имитационного моделирования. В качестве приоритетного рассматривается вопрос о соотношении форм избыточной энергии, а также наличии условий, при которых межпоездной обмен или накопители энергии могут получить преимущества друг перед другом.

Ключевые слова: имитационное моделирование, рекуперативное торможение, метрополитен, накопитель энергии, межпоездной обмен.

Веселов Павел Александрович – аспирант кафедры электротехнических комплексов автономных объектов и электрического транспорта Национального исследовательского университета «МЭИ», Москва, Россия.

Тенденции метровагонастроения приближают день, когда возможность рекуперативного торможения (РкТ) будет иметь все 100 % подвижного состава метрополитенов. Ведь количество вагонов, способных рекуперировать, постоянно растет. До конца 2016 года только на Таганско-Краснопресненскую линию столицы поступили 216 современных вагонов 760-й серии, которые заменили свыше 60 % устаревших моделей в электродепо «Выхино». С 2017 по 2021 год в московский метрополитен для Таганско-Краснопресненской и Калужско-Рижской линий планируется поставить почти 1,5 тысячи вагонов нового поколения – 765-й серии [1].

Подобная перспектива открывает необходимость детального изучения процессов РкТ и разработки эффективных методик и программ оценки рекуперативного торможения. В частности, для решения этого круга задач предлагается методика оценки эффективности применения РкТ [2], позволяющая проводить имитационное моделирование, которое включает сравнение уровней реализации энергии РкТ посредством накопителей энергии (НЭ) и межпоездного обмена.

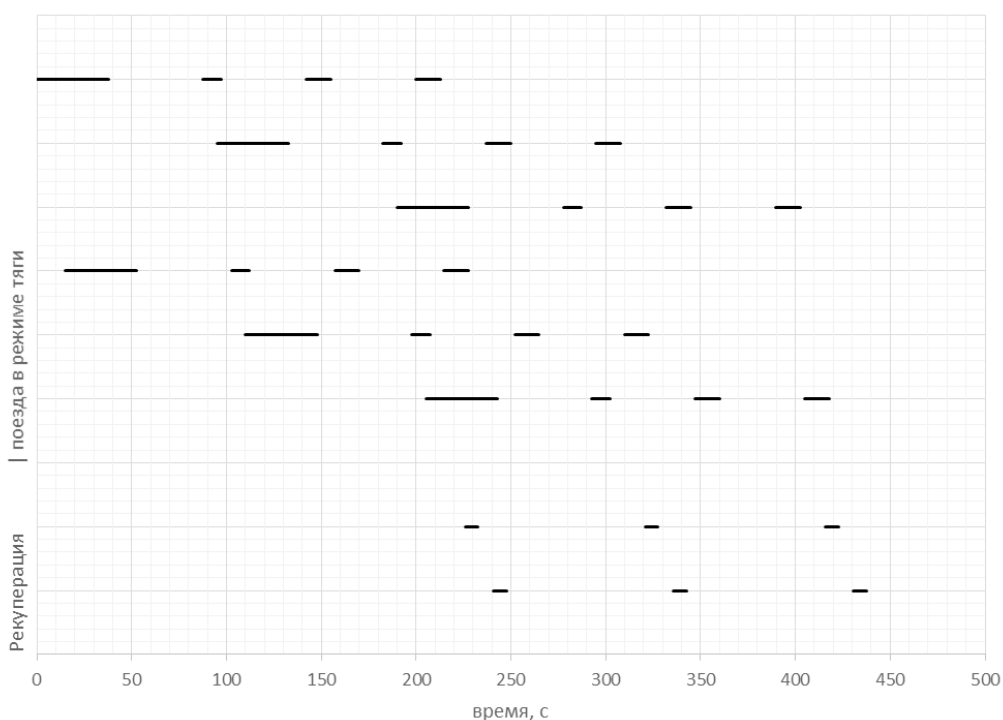


Рис. 1. Диаграмма режимов движения для одного перегона.

Таблица 1

Процентное соотношение энергии РкТ в межпоездном обмене к общей энергии рекуперативного торможения

Интервал, с	Характеристики перегонов				
	Малой длины	Средний, неэнергоэф. движение	Средний, энергоэф. движение	Большой длины, неэнергоэф.	Большой длины, энергоэф.
45	100 %	100 %	0 %	100 %	67,3 %
30	43,9 %	50 %	100 %	70,83 %	55,2 %
15	20,4 %	27,7 %	77,5 %	100 %	55,2 %
0	0 %	0 %	0 %	41,67 %	10,4 %

Имитационное моделирование проводилось с учётом наиболее значимых факторов — длины перегона, скорости сообщения на перегоне, интенсивности движения поездов (пар в час), интервалами между встречными направлениями движения [3]. Исследовалось энергоэффективное и неэнергоэффективное движение, перегоны различной протяжённости.

В первой части исследования анализировались данные для перегонов в отдельности, т.е. без возможности передачи энергии рекуперативного торможения в соседние секции (рис. 1). Накопительное устройство имеет несомненное преимущество при любых интервалах встречных направлений, а при отсутствии такого

интервала необходимо для трёх из пяти моделей (таблица 1).

Вероятность межпоездного обмена сильно зависит от изменений в интервалах движения. Вариативность параметров движения и их непосредственное влияние на вероятность межпоездного обмена позволяют сделать вывод о заметном снижении эффективности рекуперативного торможения без НЭ, однако не исключают такой возможности. Выявлена низкая эффективность межпоездного обмена без применения программно-аппаратных комплексов управления движением, что может исключить возможность реализации энергии РкТ на межпоездном обмене при неблагоприятных параметрах эксплу-



Процентное соотношение энергии РкТ в межпоездном обмене к общей энергии рекуперативного торможения

Характеристики перегонов			
Интервал, с	Малый – средний	Средний – длинный	Длинный – короткий
45	100 %	100 %	75,4 %
30	100 %	100 %	100 %
15	67,7 %	86,1 %	100 %
0	8,3 %	55,2 %	100 %

Рис. 2. Процентные значения энергии РкТ при сравнении межпоездного обмена и НЭ.

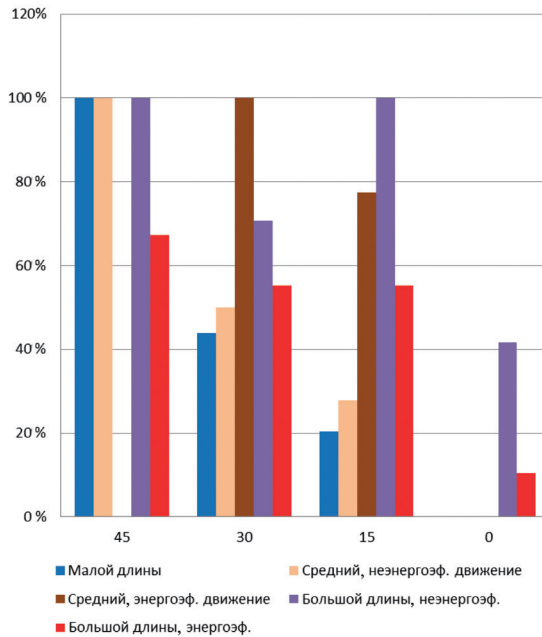
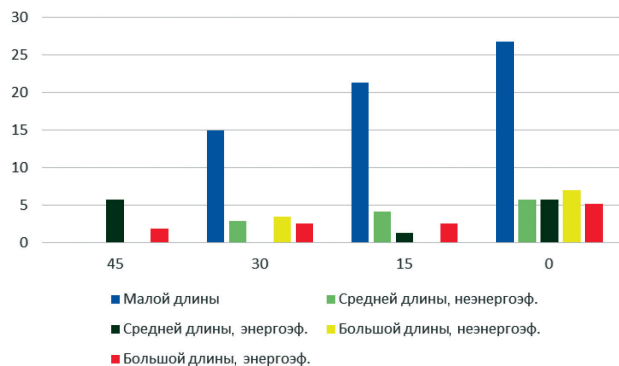


Рис. 3. Относительные значения избыточной энергии РкТ.



тации. В процентном соотношении полезная энергия рекуперативного торможения в межпоездном обмене, по сравнению с накопителем энергии, снижается по мере уменьшения интервала между встречными направлениями (рис. 2). Относительные значения избыточной энергии к общей энергии рекуперативного торможения возрастали с уменьшением интервала между встречными направлениями движения (рис. 3).

Во второй части исследования анализировались данные для двух соседних перегонов, т.е. с возможностью передачи энергии рекуперативного торможения в соседние секции (рис. 4). Накопительное устройство в этом случае также имеет преимущество при любых интервалах встречных направлений движения, однако достижимая эффективность реализации энергии рекуперативного торможения выше, в большей части интервалов межпо-

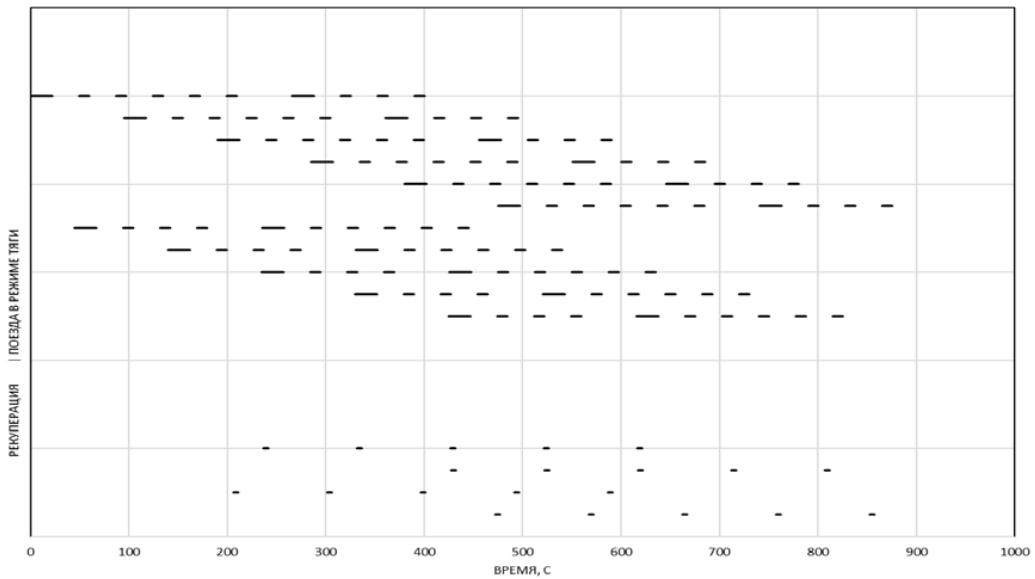


Рис. 4. Диаграмма режимов движения при интервалах между встречными поездами в 45 с для двух соседних перегонов.

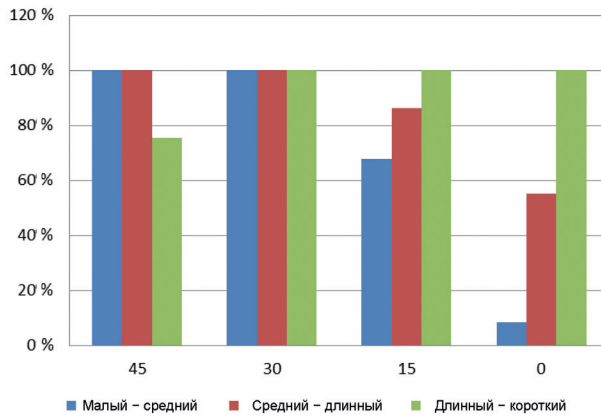


Рис. 5. Процентные значения энергии РКТ при сравнении межпоездного обмена и НЭ.

ездной обмен не уступал накопителю энергии (таблица 2).

В процентном соотношении полезная энергия рекуперативного торможения в межпоездном обмене, по сравнению с накопителем энергии, опять снижается по мере уменьшения интервала между встречными направлениями (рис. 5).

Относительные значения избыточной энергии к общей энергии рекуперативного торможения также возрастали с уменьшением интервала между встречными направлениями движения (рис. 6).

При наличии возможности передачи энергии в соседнюю секцию вероятность межпоездного обмена повышается, однако

продолжает проигрывать НЭ по эффективности.

ВЫВОДЫ

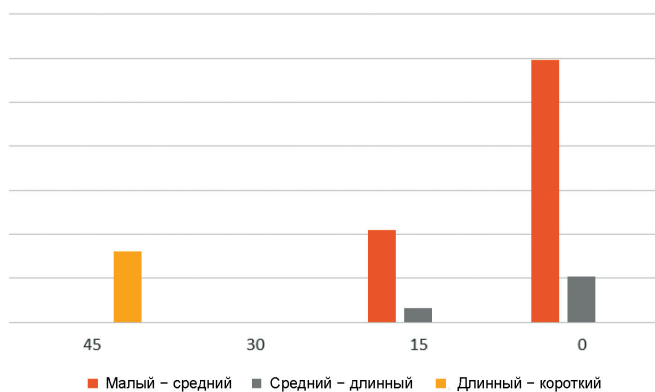
1) Доказано, что вероятность межпоездного обмена критически зависит от интенсивности движения (пар поездов в час) и интервалов движения поездов встречных направлений. Установлено, что вероятность межпоездного обмена вследствие данных факторов при 38 парах поездов в час находится в интервале от 0 % до 100 % для разных перегонов между станциями.

2) Проведено моделирование движения по перегонам с изменяемым временем стоянки на станциях, изучено влияние





Рис. 6. Относительные значения избыточной энергии РкТ.



данного фактора на вероятность межпоездного обмена. Доказано, что в отсутствие систем программного управления движением электропоездов метрополитена отклонения в номинальном значении названного фактора способны существенно влиять на вероятность успешной реализации энергии рекуперативного торможения в межпоездном обмене, что подтверждает версию о необходимости накопительного устройства [7, 8].

3) Проведены расчётные исследования избыточной энергии рекуперативного торможения для межпоездного обмена на перегонах различной длины. По результатам имитационного моделирования доказано, что межпоездный обмен может относительно успешно конкурировать с накопителем энергии только при наличии двух факторов: первый — высокая интенсивность движения, второй — возможность передачи энергии в контактную сеть соседних перегонов.

4) Доказано преимущество накопительного устройства перед реализацией энергии рекуперативного торможения в межпоездном обмене при эксплуатационных параметрах, идентичных московскому метрополитену. Прогнозное значение энергоэффективности РкТ для этого метрополитена, согласно проведённого имитационного моделирования, при использовании рекуперативно-реостатного торможения и накопительных устройств составляет 10–15 % от затрат на тягу электропоездов, что согласуется с имеющимися данными испытаний [4] и ожи-

даниями экспертов отрасли [5]. Электропоезда с асинхронным тяговым электроприводом и наиболее эффективной зоной скоростей рекуперативного торможения в 5–50 км/ч [6] способны увеличить показатель энергоэффективности до прогнозного значения в 20 % от затрат на тягу при благоприятных эксплуатационных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. На Таганско-Краснопресненской линии появятся 120 новых вагонов. Официальный сайт Московского метрополитена [Электронный ресурс]: <http://mosmetro.ru/press/news/1625/>. Доступ 11.04.2017.
2. Веселов П. А. К вопросу применения имитационных моделей движения для исследования эффективности рекуперативного торможения в метрополитенах // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2017. — № 1. — С. 16–18.
3. Веселов П. А. Результаты оценки эффективности рекуперативного торможения в метрополитене на базе имитационного моделирования движения // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. — 2017. — № 32. — С. 65–70.
4. Гречишников В. А., Шевлюгин М. В. Эксплуатация накопителя электроэнергии на метрополитене // Мир транспорта. — 2013. — № 5. — С. 54–58.
5. Ян Хардер. Партнерство транспортных компаний и университетов — ключ к инновационному развитию // Мир транспорта. — 2015. — № 1. — С. 226–242.
6. Regenerative Braking in Metro Rolling Stock. Official internet site of the Indian Institution of railway electrical engineers. [Электронный ресурс]: http://www.ireeindia.org/seminar_pdf/regen_braking.pdf. Доступ 11.04.2017.
7. Alper Kara, Kevork Mardikyan, Saim Baran. Analysis of regenerative braking and energy storage systems in urban rail transportation, «Engineering Science and Technology, an International Journal», 2013, № 16(2), pp. 75–79.
8. Bin Wang, Zhongping Yang, Fei Lin, Wei Zhao. An Improved Genetic Algorithm for Optimal Stationary Energy Storage System Locating and Sizing, «Energies», 2014, № 7, 2014, pp. 6434–6458. ●

Координаты автора: **Веселов П. А.** – veselov.tpem@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 11.04.2017, принята к публикации 15.06.2017.

REGENERATIVE BRAKING ENERGY: TO STORE OR TO EXCHANGE?

Veselov, Pavel A., Moscow Power Engineering University – National Research University, Moscow, Russia.

ABSTRACT

This article reviews methods of using the energy of regenerative braking in metro, offers an analysis of surplus energy in inter-train exchange, and presents the results of simulation modeling.

Priority focus is given to correlations between various forms of surplus energy, and to the conditions under which inter-train exchange of energy or energy storage devices can have comparative advantages over each other.

Keywords: regenerative braking, metro system, energy storage system, inter-train exchange.

The current trends in engineering cars for underground metro systems bring closer the day when 100 % of metro systems' rolling stock has the capability of using the benefits of regenerative braking (RB). The number of cars that have this capability has been growing day in and day out. In 2016, the Russian capital city's Line 7 alone received 216 state-of-the-art cars of Series 760 that replaced over 60 % of outdated cars operated by the Vykhino Railway. In 2017–2021, Lines 7 and 6 of the Moscow Metro System are scheduled to take delivery of about 1,500 new generation cars of Series 765 [1].

Such prospects bring about the need for a detailed study of RB processes to develop effective methods and procedures for evaluating regenerative braking. To address this set of tasks, a particular methodology is offered for assessing the effectiveness of RB application [2]. This methodology involves simulation modeling that includes comparison of RB energy utilization levels between energy storage systems and inter-train exchange.

Simulation modeling was conducted in view of the most relevant factors, including lengths of runs, speeds on a run, the intensity of traffic (pairs per hour), and intervals between opposite directions of traffic [3]. Energy-efficient and non-energy-efficient models of traffic as well as runs of various lengths were explored.

In phase one of the study, data on individual runs were analyzed, i.e. no consideration was given to the possibility of transferring regenerative braking energy to neighboring sections (Pic. 1). A storage device had a clear advantage at any intervals on opposite directions; and in the absence of such an interval, a storage device was necessary in three out of five models (Table 1).

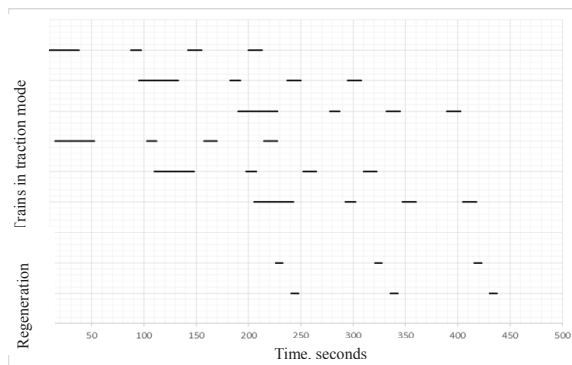
The feasibility of inter-train exchange depends strongly on the variability of traffic intervals. This variability in traffic parameters and their immediate effect on the probability of inter-train exchange suggests a noticeable reduction in the effectiveness of regenerative braking without an ESD, but does not make it impossible. We found that without computerized traffic control systems, inter-train exchange is of low effectiveness, which may eliminate the practicability of utilizing RB energy in inter-train exchange under unfavorable parameters of operation. In terms of percent share, the useful energy of regenerative braking decreases as intervals between opposing directions shorten (Pic. 2). The relative values of surplus energy in the total regenerative braking energy grew with the shortening of intervals between the opposing directions of traffic (Pic. 3).

In phase 2 of the study, data was analyzed for two neighbor runs where it was possible to transfer RB energy to the adjacent sections (Pic. 4). In this case, an energy

Table 1

Percent share of RB energy shared between trains in the total amount of regenerative energy

Run sections' features					
Interval, seconds	Short-length	Medium, non-energy-efficient operation	Medium, energy-efficient operation	Great length, non-energy-efficient	Great length, energy-efficient
45	100 %	100 %	0 %	100 %	67.3 %
30	43.9 %	50 %	100 %	70.83 %	55.2 %
15	20.4 %	27.7 %	77.5 %	100 %	55.2 %
0	0 %	0 %	0 %	41.67 %	10.4 %



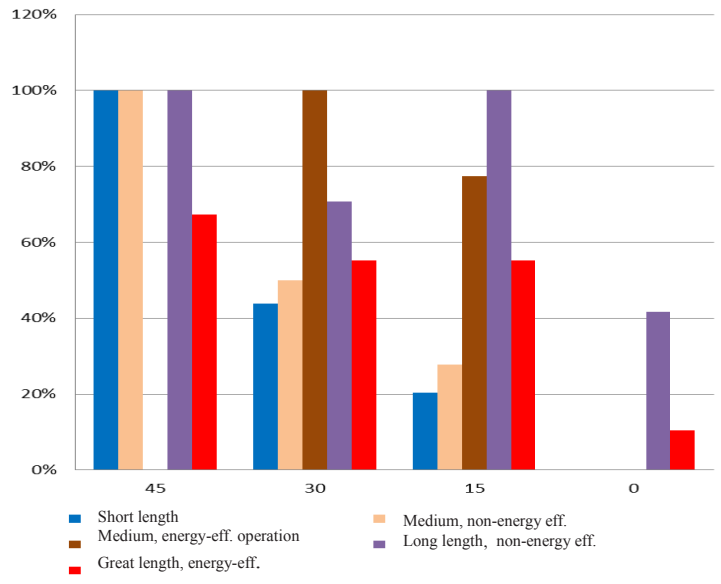
Pic. 1. Traffic mode diagram for a single run.



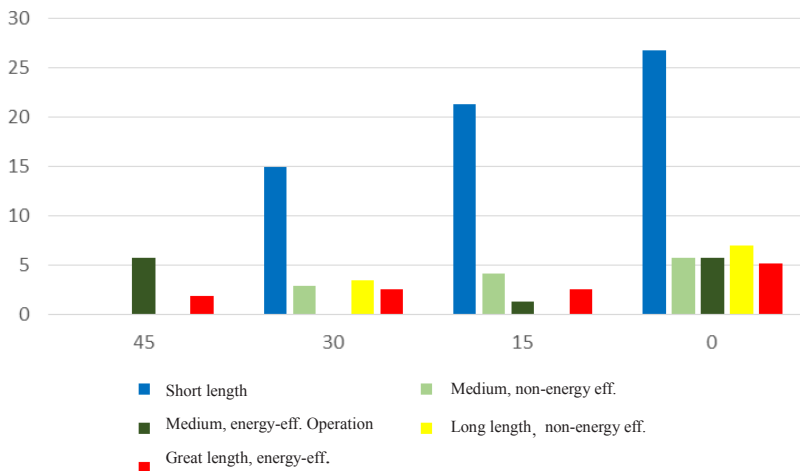
Table 2

Percent share of RB energy in inter-train exchange in the total regenerative braking energy

Run sections' features			
Interval, sec	Short – medium	Medium – long	Long – short
45	100 %	100 %	75.4 %
30	100 %	100 %	100 %
15	67.7 %	86.1 %	100 %
0	8.3 %	55.2 %	100 %



Pic. 2. Percent shares of RB energy compared between inter-train exchange and ESD.



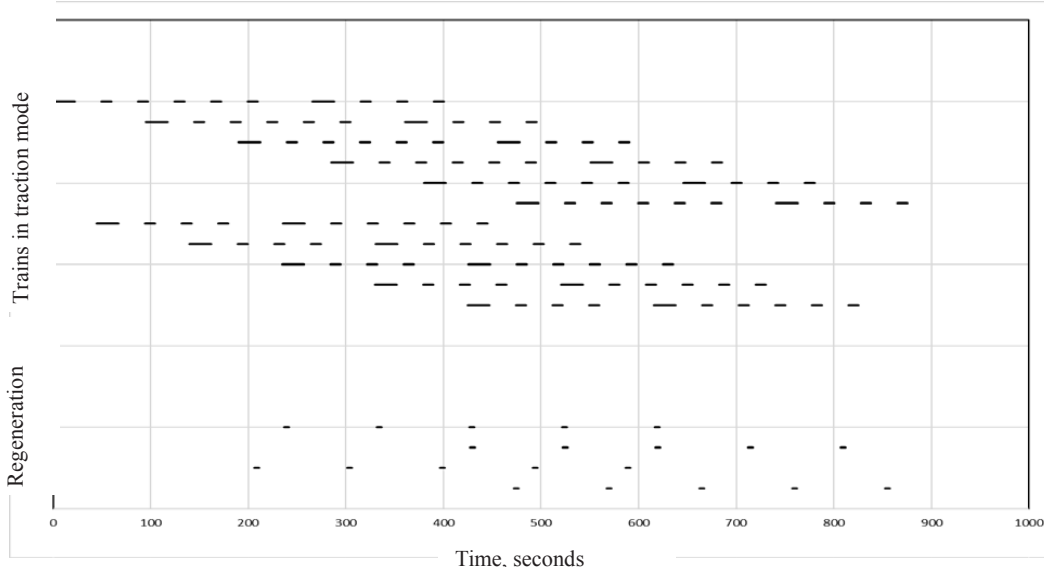
Pic. 3. Relative values of RB surplus energy.

storage device also had an advantage at any intervals between opposing directions of traffic; however, the feasible efficiency of the RB energy utilization was higher and, for most intervals, inter-train exchange was not inferior to the use of energy storage devices (Table 2).

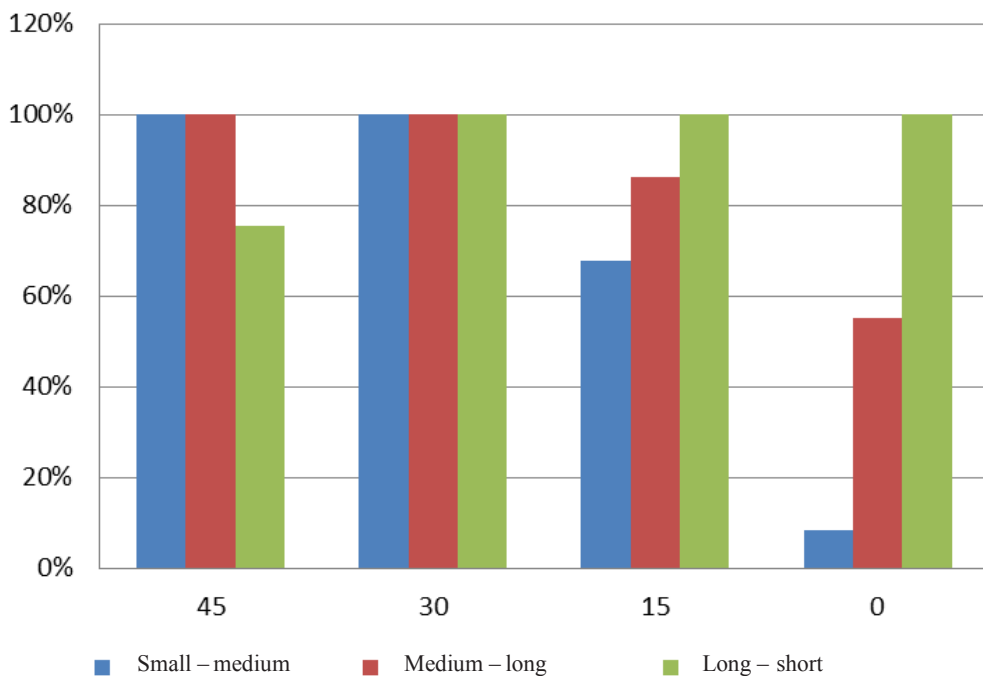
In terms of percent share, useful regeneration braking energy of inter-train exchange goes down

again, compared to an energy storage device, as the interval between opposing trains decreases (Pic. 5).

Relative values of surplus energy in the total regenerative braking energy also increased as the interval between the opposing directions of traffic decreased (Pic. 6).



Pic. 4. Traffic mode diagram at a 45 sec interval between opposing trains for two neighbor runs sections.



Pic. 5. Percent shares of RB energy in comparison between inter-train exchange and ESD.

The feasibility of inter-train exchange improves in cases where it is possible to transfer energy to an adjacent section; however, it still loses to ESD in terms of efficiency.

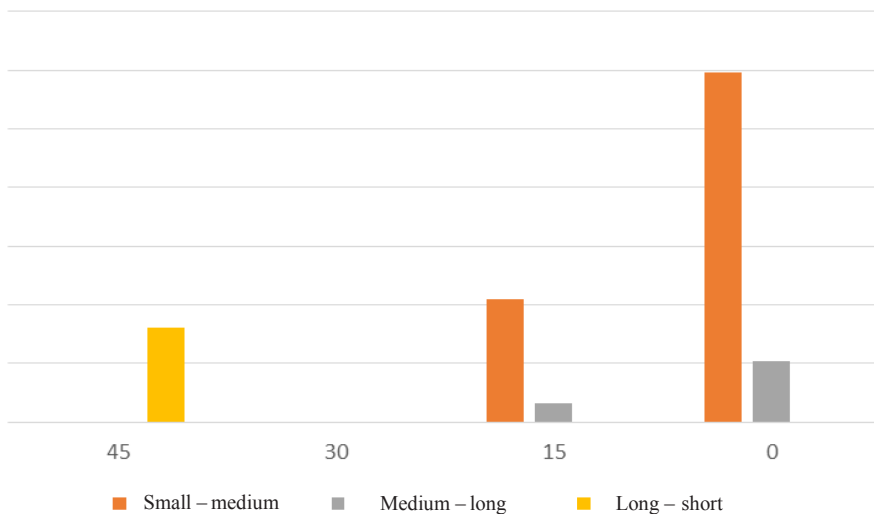
Conclusions

1) It was demonstrated that the probability of inter-train exchange is critically dependent on traffic intensity (the number of trains per hour) and traffic intervals of trains traveling in the opposing directions.

It was established that due to the above factors the probability of inter-train exchange at 38 pairs of trains per hour falls within the interval between 0 % and 100 % for different runs between stations.

2) Modeling of traffic on various runs was performed for various durations of stops at the stations; and the impact of this factor on the probability of inter-train exchange was studied. It was shown that, in the absence of software program-driven control of





Pic. 6. Relative values of RB surplus energy.

metro train traffic, variations in the nominal value of this factor could substantially affect the probability of successfully utilizing regenerative braking energy through inter-train exchange, which reconfirms the need for an energy storage device [7, 8].

3) Computational studies were conducted of regenerative braking surplus energy for inter-train exchange on runs of various lengths. Based on the results of simulation modeling, it was demonstrated that inter-train exchange could compete with an ESD relatively successfully only if two conditions are met: one, a high intensity of traffic, and two, the possibility of transferring energy to the power systems of adjacent runs.

4) It was demonstrated that, for operating parameters similar to those of the Moscow Metro System, the approach based on the use of energy storage devices is superior to inter-train exchange of regenerative braking energy. As follows from the simulation modeling, energy efficiency benefits of regenerative braking with regenerative rheostats and energy storage devices for this Metro System would amount to 10–15 % of the electric train propulsion costs, which is in line with both the available test data [4] and industry experts' expectations [5]. In favorable conditions of operation, electric trains driven by asynchronous motors and the most efficient regenerative braking speed range of 5–50 km/h [6] can increase their energy efficiency to the forecast value of 20 % of the propulsion costs.

REFERENCES

1. Moscow Metro's Line 7 to get 120 brand new cars [Na Tagansko-Krasnopresnenskoy linii poyaviatsia 120 novykh vagonov]. Moscow Metro's official website [Electronic resource]: <http://mosmetro.ru/press/news/1625/>. Last accessed 11.04.2017.
2. Veselov, P. A. On the application of traffic simulation models in researching the effectiveness of regeneration

braking in Metro systems [K voprosu primeneniya imitatsionnykh modeley dvizheniya dlia issledovaniya effektivnosti rekuperativnogo tormozheniya v metropolitenah]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta* [Electronics and electric equipment in transport], 2017, No. 1, pp. 16–18.

3. Veselov, P. A. Assessment of regenerative braking effectiveness in a Metro system with traffic simulation modeling [Rezultaty otsenki effektivnosti rekuperativnogo tormozheniya v metropolitene na baze imitatsionnogo modelirovaniya dvizheniya]. *Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezultaty* [Fundamental and applied research: problems and results], 2017, No. 32, pp. 65–70.

4. Grechishnikov, V. A., Shevlyugin, M. V. Operation of Power Storage Device in Moscow Metro. *World of Transport and Transportation*, 2013, Vol. 11, Iss. 5, pp. 54–58.

5. Harder, Jan C. Partnerships between Transport Companies and Universities as a Key to Innovative Development. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, Iss. 1, pp. 226–242.

6. Regenerative Braking in Metro Rolling Stock. Official internet site of the Indian Institution of railway electrical engineers. [Electronic resource]: http://www.ireeindia.org/seminar_pdf/regen_braking.pdf. Last accessed 11.04.2017.

7. Kara, Alper, Mardikyan, Kevork, and Baran, Saim. Analysis of regenerative braking and energy storage systems in urban rail transportation. *Engineering Science and Technology*, an International Journal, № 16 (2), pp. 75–79, 2013. [Electronic resource]: <http://jestech.karabuk.edu.tr/arsiv/2013-2/2013-say-2-5-saim-baran.pdf>. Last accessed 15.06.2017.

8. Bin Wang, Zhongping Yang, Fei Lin, Wei Zhao. An Improved Genetic Algorithm for Optimal Stationary Energy Storage System Locating and Sizing. *Energies*, № 7, 2014, pp. 6434–6458. [Electronic resource]: mdpi.com/1996-1073/7/10/6434/pdf. Last accessed 15.06.2017. ●

Information about the author

Veselov, Pavel A. – Ph.D. student at the department of electrical engineering units of autonomous facilities of the Faculty of electrical engineering of Moscow Power Engineering Institute – National Research University, Moscow, Russia, veselov.tpem@gmail.com.

Article received 11.04.2017, accepted 15.06.2017.



ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ – ЭТО ТОЛЬКО ПОЛУМЕРА

Первая половина ноября ознаменовалась презентациями Tesla и Volvo, которые представили прототипы электро- и полуавтономных грузовиков. В этой связи Международный союз автомобильного транспорта (IRU) вместе с некоторыми ведущими производителями автотранспортных средств, которые стимулируют развитие технологий в секторе грузоперевозок, подчёркивает, что задачи по снижению выбросов CO₂ за счёт внедрения инноваций должны учитывать целевые критерии в логистике.

IRU открыт для инноваций и понимает, какое важное значение для транспорта и логистики имеет сектор грузоперевозок. Новейшие разработки концепций создания электрических и автономных грузовиков, принятые компаниями Daimler, Einride, Nikola One, Tesla и Volvo, свидетельствуют о решимости частного сектора найти решение проблем устойчивого развития, изменения климата и безопасности дорожного движения.

В резолюции IRU «30–30» ясно отмечено, что такие инновационные логистические концепции, как оптимизация весогабаритных параметров большегрузных автомобилей, могут сократить потребление топлива и выбросы CO₂ более чем на 10 %. В равной степени достижению аналогичного

результата будут способствовать профподготовка и эковождение.

Доклад «Коммерческий автотранспорт будущего» подкрепил идею о том, что лишь комплексные инвестиции в совершенствование обучения, эксплуатационной эффективности, новых технологий и инфраструктуры способны создать условия, при которых перевозчики выполняют свои обязательства по защите окружающей среды и при этом останутся движущей силой экономического роста.

Последние достижения в проектировании грузовиков впечатляют. Но электрические автомобили – лишь часть решения. Сложности, обусловленные организацией коммерческих перевозок грузов на дальние расстояния, когда грузовик, по сути, сам выступает средством производства, требуют определения приоритета в таких вопросах, как запас хода, стоимость и вес батареи, при условии, что эти инновации получат широкое распространение.

По информации официального сайта IRU: <https://www.iru.org/ru/%D0%A0%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%80%D1%81%D1%8B/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/elektromobil-eto-tolko-polumera> ●

ELECTRIC VEHICLES: PART OF THE SOLUTION

With some of the world's leading vehicle manufacturers driving technology forward in the goods transport sector – highlighted by the launch in first half of November 2017 of the Tesla and Volvo prototype electric and partly automated trucks – IRU underlines that CO₂ reductions through new innovations need to respect purpose-driven logistics criteria.

IRU embraces innovation and recognises the significance of the contributions made to the mobility landscape by the goods transport sector. Recent developments on electric and autonomous truck concepts from Daimler, Einride, Nikola One, Tesla and Volvo are evidence of the commitment from the private sector to find solutions to the challenges of sustainability, climate change and road safety.

IRU's 30 by 30 Resolution clearly highlighted that innovative logistic concepts, such as optimised weights and dimensions of heavy commercial vehicles, can reduce fuel consumption and CO₂

emissions by more than 10 % – but equally, other areas such as training and eco-driving are also key to the equation.

The Commercial Vehicle of the Future Report reinforced this message that only a holistic investment in improvements in training, operational efficiency, new technologies and infrastructure can ensure that transport operators successfully meet their environmental obligations and continue to be the drivers of economic growth.

The latest advances in truck design are exciting – but electric vehicles are one of the solutions. The complexities of long distance commercial goods transport, where trucks are principally a production tool – require a prioritisation of factors such as range, cost and battery weight if these innovations are to succeed.

Retrieved and compiled from IRU Web-site news. Original source: <https://www.iru.org/resources/newsroom/electric-vehicles-part-solution> ●





Функции надёжности электромеханических усилителей рулевого управления¹



Илья ДЕНИСОВ
Ilya V. DENISOV

Алексей СМIRHOV
Aleksey 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 ВГУ 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. 92)

Подавляющее большинство новых автомобилей комплектуется электромеханическими усилителями (ЭМУ) рулевого управления ввиду их явных преимуществ. 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 легли в основу этой обзорной статьи и могут стать подспорьем в создании методики управления безотказностью узла.

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

ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И ОТКАЗЫ

В работе [1] установлено, что наибольшее количество дефектов автомобиля приходится на систему электрооборудования и составляет около 22–30 % отказов – это примерно 224–318 неисправностей на тысячу автотранспортных средств (АТС). Причём устройства, имеющие в своём составе электромеханические преобразователи (стартеры, ЭМУ РУ, генераторы, электродвигатели), дают значительную долю нарушений работоспособности (40–45 %). Так, отказ электромеханических усилителей рулевого управления является одной из наиболее часто встречающихся неисправностей ВАЗ-21703.

Впрочем, неисправности и некорректное функционирование ЭМУ РУ встречаются не только у автомобилей отечественного производства.

Например, в [2] приводится информация о потере работоспособности ЭМУ у KIA cee'd, Mazda 2, Mazda 6, Hyundai Verna из-за дефектов датчика момента. У машин марки Mitsubishi Lancer основной причиной отказа ЭМУ РУ оказался сбой в алгоритме работы блока управ-

¹ Окончание. Начало в «МТ», 2017, № 4, с. 58–69.

ления, а для узла, использующегося в Hyundai Elantra, характерен стук шестерни усилителя.

Вероятность повреждения резистора на плате блока управления ЭМУ РУ послужила причиной отзывной кампании автомобилей Toyota Highlander, реализованных с 10 октября 2014 года в РФ. Отмечается [3], что под отзыв попало 4279 машин.

Концерн General Motors отозвал 6,3 тысячи седанов Chevrolet Caprice Police Pursuit, поставленных полиции США с 2014 по 2016 год, по причине того, что в них мог быть установлен дефектный усилитель руля, отключающийся во время движения [4].

Возвращаясь к вопросу о надёжности ЭМУ, выпускаемых в РФ, следует отметить, что среди усилителей, устанавливаемых на первые партии автомобилей Lada Kalina, исправно функционировали лишь 50 %. Около 35 % машин были оснащены неработоспособным ЭМУ РУ. А на оставшиеся 15 % приходились весьма серьёзные неисправности, связанные с заклиниванием рулевого механизма, случаями самопроизвольного вращения и т.д. [2].

В диссертационной работе [5] приводится исследование гарантийной базы неисправностей автомобиля Lada Granta, по результатам которого автором сделан вывод о том, что наименее надёжным узлом в системе электрооборудования является именно ЭМУ РУ. Показатель его надёжности 47,7 %, что составляет примерно 18 % от общего количества отказов элементов системы.

Безусловно, проблема низкой надёжности ЭМУ РУ в эксплуатации потребовала проведения научных исследований, направленных на изучение особенностей конструкции узла, алгоритмов программного управления, а также характера формирования командных решений электронным блоком управления (ЭБУ) в ответ на внешние возмущающие воздействия. Их цель — установление причин потери усилителем работоспособного состояния. Результатом выполненных проектов стали различные гипотезы.

Так, например, отмечается [6], что электромагнитное воздействие на датчики узла и блок управления безредукторного ЭМУ РУ оказывает негативное воздействие на корректное функционирование узла. В частности, при неправильном определении входного момента $M_{вх}$ датчиком ЭБУ генерирует команду на создание дополнительного компенсирующего момента $M_{к}$ на рулевом валу, что, в свою оче-

редь, приводит к самопроизвольному вращению руля при движении АТС и неконтролируемому повороту управляемых колёс.

В случае возникновения программного сбоя в микропроцессоре ЭБУ происходит искажение передаваемых сигналов, вследствие чего бортовая система диагностики не может определить, является ли узел исправным, и выдаёт команду на его отключение. Также при электромагнитном воздействии на ЭМУ РУ могут проявляться ухудшение управляемости и усложнение манёвра автомобилем.

В [7] установлено, что снижение надёжности редукторного ЭМУ РУ приводит к возникновению следующих неисправностей:

- заклинивание рулевого механизма;
- поломка рулевой рейки;
- самопроизвольное вращение рулевого колеса;
- стук в редукторе при вращении рулевого колеса;
- отказ датчика момента;
- потеря работоспособности ЭБУ.

Изучение указанных дефектов ЭМУ РУ, разработка современных методов диагностирования технического состояния узла приобретают всё большую актуальность. Это связано ещё и с тем, что существующие функции диагностирования (бортовая — по световому индикатору и с использованием сканер-тестера) не позволяют детально отслеживать изменение параметров механической части ЭМУ [8]. К тому же подобные вопросы следует решать только в авторизованном сервисном центре. Грамотно выполнить диагностические воздействия собственными силами невозможно [7].

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ БЕЗРЕДУКТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Исследование ЭМУ РУ зарубежными учёными ведётся с начала 90-х годов прошлого века, что находит своё отражение в большом количестве патентов на конструкцию усилителя и способы управления. Следует отметить значительный вклад японских исследователей Yasuo Shimizu, Atsuhiko Yoneda, Hitoshi Shiobara, Takashi Kuribayashi, Hirofumi Matsuoka в решение задач проектирования ЭМУ РУ различных конструкций [9].

Накопленный к настоящему моменту опыт научных исследований отечественных учёных в области изучения технических параметров и эксплуатационных характеристик ЭМУ РУ позволяет сгруппировать имеющиеся резуль-



таты по двум направлениям: теоретические и экспериментальные.

Среди теоретических исследований необходимо в первую очередь выделить работы В. Н. Козловского и Р. А. Малеева, посвящённые аспектам проектирования и производства ЭМУ РУ.

Так, в [10] ими рассмотрены вопросы создания математических моделей, способных прогнозировать надёжность узла. Отмечается, что для достижения высокого качества конечного продукта необходимо в допроизводственный период обеспечить количественную оценку ключевых параметров будущих изделий, вариация размерных значений которых может привести к существенным изменениям технических характеристик ЭМУ РУ.

В [11] внимание уделено созданию в интегрированной математической среде Matlab имитационной математической модели, преобразующей информацию об отказах ЭМУ в показатели надёжности. В результате выполненного анализа авторами установлено, что наибольшая доля дефектов ЭМУ приходится на неисправности электронной системы управления, датчиков момента и положения ротора, а значительное количество неисправностей связано с отклонениями размерных параметров активной зоны ЭП от требований технических условий.

Вопросы, касающиеся особенностей конструкции и совершенствования системы управления ЭМУ РУ, нашли своё отражение в работах новосибирских учёных Б. М. Боченкова, Г. Л. Никулина, М. В. Тюрина, Г. А. Французовой и др.

Например, в [12] авторами представлены основные электронные компоненты, применяемые в ЭБУ, подробно описаны структурная схема и принципы работы узла, созданного в ОАО «Автоэлектроника» (г. Калуга) – главном поставщике усилителей на сборочный конвейер автозавода.

В [13] предложен способ, повышающий динамическую точность управления ЭМУ РУ, суть которого заключается в решении двух задач: алгебраического формирования управляющего сигнала на выработку компенсирующего момента электродвигателя на основании измеряемых величин и усовершенствования измерительной системы.

В [9] рассмотрены вопросы повышения эффективности функционирования ЭМУ РУ на основе использования высокоточных эле-

ментов измерительной системы. Автором предложен алгоритм формирования сигнала на создание выходного момента ЭМУ РУ, обеспечивающий высокую статическую и динамическую точность, определён критерий оценки качества усилителя при проведении сравнительных испытаний, с помощью которого находится динамическая погрешность в заданном диапазоне частот. Разработана конструкция ЭМУ РУ с датчиком момента на основе магнитоупругого эффекта, обеспечивающим увеличение точности измерения и воспроизведения момента при отработке реакции со стороны дороги с частотой до 20 Гц по сравнению с существующими аналогами.

Стоит в этом ряду выделить и отдельные научные работы, посвящённые решению частных задач проектирования, моделирования, расчёта и исследования функционирования ЭМУ РУ.

К примеру, исследования в [14] связаны с математическим моделированием магнитоэлектрических вентильных двигателей для ЭМУ РУ легковых автомобилей.

Вопросы разработки функциональной блок-схемы ЭМУ РУ на базе частотно-управляемого асинхронного двигателя, её реализации и принципов работы рассмотрены в [15].

В [16] показаны существующие типы шаговых электрических двигателей, а также выполнен анализ их конструктивных особенностей с целью использования аналоговых ЭД в конструкции ЭМУ РУ. Установлены требования к параметрам выбираемого электродвигателя в соответствии с действующей внешней нагрузкой. Получены выражения величины вращающего момента шагового двигателя, используемого в качестве исполнительного элемента усилителя РУ с винтовыми и реечными рулевыми механизмами.

Экспериментальные исследования ЭМУ РУ безредукторного типа нашли своё отражение в [17, 18]. Их авторы разработали и сконструировали специальный стенд, схемы подключений к нему, платы управления, индикации, а также пульт управления. Устройство предназначено для проверки электрических и механических параметров усилителей руля.

Рассматриваемая экспериментальная установка позволяет проводить испытания усилителя в автоматическом и ручном режимах при температурах от минус 40°С до плюс 65°С при относительной влажности воздуха 95±3%. В качестве режимов испытания предлагается

использовать циклы нагрузки. При этом за один цикл принимается имитация знакопеременного вращения входного вала двигателя на угол, соответствующий трём оборотам рулевой колонки автомобиля влево и трём оборотам вправо. Стенд обеспечивает генерацию входной информации для ЭБУ, а именно: сигналы датчика положения ротора и датчика скорости. Кроме того, установка позволяет задавать разные значения нагрузок по моменту усилия на выходном валу – 12, 20, 32 Нм и двух скоростей – 5 и 10 км/ч. Отмечается, что разработанное устройство нашло практическое применение в ПО «Север».

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕДУКТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Заметный теоретический вклад в изучение системы редукторного ЭМУ РУ внес В. В. Королев [19]. Автором были разработаны и предложены:

- обобщённая модель системы ЭМУ РУ, отличающаяся учётом совместного влияния параметров автомобиля и вентильно-индукторного электропривода узла и позволяющая проводить проектирование систем усилителей на базе методологии законов регулирования компенсирующего воздействия;

- своё понимание взаимосвязи между реакциями управляемых колёс, моментами в РУ и компенсирующим моментом, развиваемым вентильно-индукторным электроприводом, чтобы определить необходимые компенсационные воздействия со стороны электропривода в процессе движения автомобиля, снабжённого усилителем;

- математическая модель вентильно-индукторного двигателя, отличающаяся от ранее известных меньшей трудоёмкостью компьютерного моделирования и позволяющая более рационально производить построение привода за счёт уточнённой взаимосвязи между удельной проводимостью воздушного зазора и взаимным расположением зубцов статора и ротора;

- система ЭМУ РУ, улучшающая технико-эксплуатационные свойства автомобиля, качество управляемого движения.

Внимания заслуживают работы В. И. Доманова, А. В. Доманова и их коллег, направленные на изучение проблем управления ЭМУ РУ. Авторами предложена система, особенность которой в применении узла коррекции, учитывающего условия эксплуатации автомобиля,

а также индивидуальные особенности водителя. Корректирующими выбраны сигнал индивидуальной настройки и подстроечный сигнал, пропорциональный скорости автомобиля. Отмечается, что применение упреждающей коррекции позволяет расширить область устойчивости ЭМУ более чем в два раза по сравнению с традиционной структурой [20].

В [21] проанализировано влияние внешних усилий на ЭМУ РУ. Установлено, что для снижения нагрузки на водителя и момента сопротивления со стороны дороги необходимо иметь возможность изменять характеристику датчика момента в зависимости от скорости движения автомобиля. Формирование такой характеристики может быть выполнено аналоговым или программным способами.

В [22] исследована работа ЭМУ РУ при действии случайных сигналов, а также проведено сравнение различных структур управления узлом по уровню дисперсии выходного сигнала.

Принцип функционирования ЭМУ в режимах городского, загородного движения и парковки представлен в [23]. В другой публикации [24] даётся сравнение конструктивных особенностей электрогидроусилителя и ЭМУ РУ марки Servoelectric. В [25] целью исследования является разработка модели системы РУ автомобиля с ЭМУ. Авторы демонстрируют функциональную схему редукторного усилителя с вентильно-индукторным двигателем.

Следует отметить работу [26], в которой установлены основные функции, выполняемые системой управления электродвигателем ЭМУ РУ. Данный набор воздействий заложен в алгоритм ЭД, для корректной реализации которого предлагается оснащать блок управления 32-разрядным микроконтроллером фирмы Atmel, удовлетворяющим по своим технико-экономическим показателям всем требованиям, предъявляемым к системам ЭМУ РУ автомобилей категории М1.

Среди основных направлений научных разработок – совершенствование алгоритма функционирования ЭБУ. Например, в [27] с целью изучения поведения АТС, оснащённого редукторным ЭМУ руля, подвергнут анализу алгоритм работы микроконтроллера, а также выполнено моделирование в среде Matlab. В результате получены теоретические зависимости суммарного и компенсирующего моментов от угла поворота рулевого вала и скорости движения автомобиля. В статье [28] проведено



аналитическое исследование ЭМУ РУ и синтез алгоритмов управления путём разработки математической и цифровой моделей.

Созданием новой модели датчика входного момента, принцип работы которого основан на эффекте Холла, занимался В. С. Мульгин [29]. В основу измерения усилия, прикладываемого к рулевой колонке, автором предлагается заложить зависимость изменения расстояния между датчиком Холла и магнитом от степени скручивания торсиона.

Экспериментальные исследования характеристик датчика входного момента, используемого в конструкции ЭМУ РУ, выполнены А. И. Архиповым [30]. По результатам испытаний на автоматизированном стенде установлено, что выходные сигналы датчика, передаваемые по двум каналам, имеют форму меандра частотой 2 кГц и амплитудой 5 В. При этом в зависимости от угла скручивания торсиона происходит изменение скважности сигналов от 20 до 80 %, а при отсутствии момента на входном валу значение скважности составляет 50 %.

В настоящее время ведущие мировые автопроизводители разрабатывают усилители РУ безвального типа. Под термином «безвальный» понимается такая система, которая не имеет механической связи между колонкой руля и рулевым механизмом, то есть когда осуществляется так называемое «управление по проводам». Конструктивно безвальный усилитель РУ представляет собой систему с двумя согласованными электроприводами – на РК и рулевой рейке, без механического соединения между собой. Один из них работает в следящем режиме и обеспечивает поворот управляемых колёс в соответствии с сигналом от датчика положения РК. Другой привод формирует момент на РК, пропорциональный моменту на валу рулевого механизма, обеспечивая так называемое «чувство дороги» и осуществляя возврат РК в нейтральное положение при его отпускании (режим самовозврата) [31].

Отмечается, что разрабатываемая система обладает рядом преимуществ. Ей свойственно:

- отсутствие жесткой конструкционной привязки кабины АТС и механизма РУ к поворачиваемым колёсам;
- возможность управления автомобилем совместно с электронными системами, в том числе бортовым компьютером;
- компактность по сравнению с традиционными вальными усилителями;

– низкая трудоёмкость технического обслуживания и ремонта при меньшем количестве механических деталей.

Созданием проводных систем РУ занимаются многие отечественные и зарубежные фирмы, работающие в области автомобилестроения. Однако серийно выпускаемых образцов пока не существует, как отсутствуют и публикации, раскрывающие принцип построения и состав проектируемых систем [32].

ВЫВОДЫ

В ходе выполненного обзора установлено, что оснащение транспортных средств категории М1 электромеханическими усилителями руля остаётся одним из перспективных направлений в отрасли автомобилестроения.

Выявлены основные требования, предъявляемые к ЭМУ РУ, определены функциональные задачи, которые он должен решать, рассмотрены компоновочные схемы и особенности функционирования узла в составе транспортной машины, а также проанализирован отечественный опыт разработки устройств и их подготовки в серийный выпуск. В силу ряда обстоятельств современные автомобили оснащают преимущественно безредукторными усилителями колоночного типа.

Суммированы основные отказы и неисправности ЭМУ РУ, встречающиеся в процессе его эксплуатации, а также определено, что встроенная система самодиагностики мехатронного узла не позволяет отслеживать изменение его технического состояния в условиях эксплуатации.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований ЭМУ РУ безредукторного и редукторного типов свидетельствует о преимущественном внимании к аспектам проектирования, функционирования, прогнозирования и моделирования характеристик узла и отдельных элементов, входящих в конструкцию усилителя. И это, несомненно, актуализирует тему надёжности узла в эксплуатации, делает неизбежной саму необходимость продолжения исследований с большим акцентом на качественные характеристики ЭМУ автомобильного руля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловский В. Н. Обеспечение качества и надёжности системы электрооборудования автомобилей / Дис... док. техн. наук. – Тольятти, 2010. – 440 с.
2. Электроусилители рулевого управления: особенности и недостатки. [Электронный ресурс]: <http://>

www.zr.ru/content/articles/120125- elektrousiliteli_ rulevogo_upravlenija_osobnosti_i_nedostatki/. Доступ 18.05.2017.

3. В России началась отзывная кампания внедорожника Toyota Highlander. [Электронный ресурс]: <http://www.zr.ru/content/news/784124-v-rossii-pod-otzyv-popali-avtomobili-toyota-highlander/>. Доступ 18.05.2017.

4. General Motors отозвал более 6 тысяч полицейских автомобилей. [Электронный ресурс]: <http://news.drom.ru/General-Motors-40361.html>. Доступ 18.05.2017.

5. Полякова Е. В. Разработка и внедрение системы оценки качества и конкурентоспособности автомобилей // Дис... канд. техн. наук. – Тольятти, 2016. – 159 с.

6. Николаев П. А., Куклина А. В. Испытания электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля к электромагнитному воздействию // Технологии электромагнитной совместимости. – 2015. – № 2. – С. 38–41.

7. Емельянов В. В., Васильев В. И. Устройство для ускоренных испытаний на надёжность электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля // Вестник Курганского государственного университета. – 2014. – № 2. – С. 75–76.

8. Васильев В. И., Емельянов В. В. Метод диагностирования автомобильного рулевого управления с электро-механическим усилителем // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 5.

9. Тюрин М. В. Повышение эффективности безредукторного электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля // Дис... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2009. – 167 с.

10. Козловский В. Н., Малеев Р. А. Прогнозирование стабильности технических характеристик электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля // Грузовик. – 2008. – № 1. – С. 13–15.

11. Козловский В. Н., Малеев Р. А. Анализ надёжности автомобильного электро-механического усилителя рулевого управления // Грузовик. – 2008. – № 12. – С. 37–38.

12. Печников А., Трубин В. Электро-механический безредукторный усилитель руля: принципы работы и применяемые электронные компоненты // Вестник электроники. – 2011. – № 1. – С. 4–8.

13. Боченков Б. М., Тюрин М. В. Пути повышения динамической точности управления электро-механическим усилителем рулевого управления // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 3. – С. 3–10.

14. Ефимов В. В. Численное и экспериментальное моделирование электро-механических компонентов автоэлектронных систем // Автореф. дис... канд. техн. наук. – Чебоксары, 2011. – 24 с.

15. Прохоров В. А., Девочкин О. В. Электроусилитель рулевого управления автомобилем // Известия Московского государственного технического университета. – 2014. – № 2. – С. 58–61.

16. Огороднов С. М., Синичкин С. Г. Расчёт усилителя рулевого управления с шаговым электрическим двигателем для транспортных средств // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2012. – № 4. – С. 182–191.

17. Гурова Е. Г., Вахитов Р. Н., Козицын Ю. А., Колчиненко О. А. Проверки на надёжность усилителя электро-механического рулевого управления Lada Kalina // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 136–138.

18. Гурова Е. Г., Вырвин А. Н., Мингазеев С. М., Сергеев А. А. Стенд прогона на проверку усилителя электро-механического рулевого управления Lada Kalina // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 138–139.

19. Королев В. В. Система электро-механического усилителя рулевого управления автомобиля / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Тольятти, 2005. – 20 с.

20. Доманов В. И., Доманов А. В. Анализ и синтез систем управления электро-механическим усилителем руля // Вестник УлГТУ. – 2008. – № 3. – С. 51–56.

21. Доманов В. И., Доманов А. В. Влияние внешних усилий на электроусилитель руля автомобиля (ЭУР) // Современные научно-технические проблемы транспорта: Сб. научных трудов V международной науч.-техн. конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – С. 30–33.

22. Доманов А. В., Доманов В. И., Сергеев А. В. Влияние случайных сигналов на работу электроусилителя рулевого управления // Электроснабжение и электро-оборудование. – 2013. – № 4. – С. 22–25.

23. Шалаев Д. В. Алгоритм работы электроусилителя руля // Актуальные проблемы развития науки и образования: Сб. научных трудов международной науч.-практ. конференции. – Часть 1. – М.: АР-Консалт, 2014. – С. 101–103.

24. Арсенюк С. А. Электрогидроусилитель и электро-усилитель рулевого управления // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: Сб. научных трудов международной науч.-практ. конференции. – Часть 3. – СПб., 2016. – С. 33–37.

25. Насибуллин Р. Т., Сергеев В. А., Сунгатов И. З. Модель системы электро-механического усилителя рулевого управления // Новые задачи технических наук и пути их решения: Сб. статей международной науч.-практ. конференции. – Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 67–69.

26. Косенко Е. О., Архипов А. И. Стратегия построения цифровых систем управления электроприводом усилителя руля // Закономерности и тенденции развития науки: Сб. статей международной науч.-практ. конференции. – Уфа: Омега Сайнс, 2015. – С. 26–28.

27. Крюков А. И., Палагута К. А., Широков Л. А. Моделирование работы усилительной электро-механической системы рулевого управления // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. – № 4. – С. 37–45.

28. Арефьев В. А. Математическая модель электро-усилителя руля // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2005. – № 32. – С. 123–129.

29. Мульгин В. С. Разработка датчика усилия рулевого управления // Автомобиль и электроника. Современные технологии. – 2013. – № 1. – С. 41–44.

30. Архипов А. И. Исследование датчика момента // Роль технических наук в развитии общества: Сб. статей международной науч.-практ. конференции. – Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 4–6.

31. Антонов И. П. Разработка системы безвального усилителя рулевого управления // Материалы 53-й международной научной студенческой конференции МНСК-2015: Мехатроника и автоматизация. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2015. – С. 42.

32. Антонов И. П., Боченков Б. М. Разработка системы безвального усилителя рулевого управления // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8/3. – С. 454–457.

Координаты авторов: **Денисов И. В.** – denisoviv@mail.ru, **Смирнов А. А.** – 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 automobiles are equipped with electromechanical power steering systems (EPS). These systems have clear advantages over hydraulic or pneumatic designs. At the same time, the service life of the EPS has not been fully studied. The EPS is a combination of electronic and mechanical subsystems, which puts certain limits on the application of existing diagnostic methods and tools typically used to monitor the performance and current health of a motor vehicle. This situation adds urgency

to the development of standards for managing the health of motor vehicles based on diagnostic information, to organizing research results in this area into a system, and generally addressing the problem of improving the operational reliability of EPS systems. The results of the study should be helpful in developing a methodology for managing EPS reliability and fault-free operation. The background of the problem, objectives and methods are described in Part 1 of the article published in World of Transport and Transportation, Vol. 15, 2017, Iss. 4.

Keywords: automobile, steering system, electromechanical power steering, equipment health management, reliability, operation.

Key faults and failures

It is demonstrated in [1] that electric equipment accounts for the greatest share (22–30 %) of the total number of defects in a motor vehicle, or 224–318 faults per thousand automobiles. It is also notable that units incorporating electromechanical energy converters (starters, EPS, generators, electric motors) are responsible for a significant share of operability interruptions (40–45 %). Thus, a failure of the electromechanical power steering system is one of the most frequently occurring faults of VAZ-21703 cars.

However, EPS faults and malfunctions haunt not only domestically made cars.

For example, [2] contains information on EPS failures in KIA ceed, Mazda 2, Mazda 6, Hyundai Verna caused by defects in the torque sensor. In Mitsubishi Lancers, an error in the electronic controller's algorithm was the key cause of EMS failures. The EPS unit used in Hyundai Elantra is known for knocks in its gear.

A probable resistor damage in the printed circuit board of the EPS system caused a recall campaign for Toyota Highlander vehicles sold in the Russian Federation on and after 10 October 2014. It is noted that the recall campaign covered 4,279 vehicles.

General Motors recalled 6.3 thousand Chevrolet Caprice Police Pursuit sedans delivered to police units in the USA from 2014 to 2016, on concerns that the vehicles could be furnished with defective power steering systems that would turn themselves off in traffic [4].

Going back to the reliability of EPS systems built in the Russian Federation, it should be noted that only 50 % of EPS systems installed in the first batches of Lada Kalina cars functioned properly. About 35 % of the cars were fitted with inoperable EPS systems. The remaining 15 % still had some serious faults such as cases of steering system seizure or spontaneous rotation, etc. [2].

Dissertation [5] includes a study of a warranty case database for Lada Granta cars. Based on the study's findings, the author concludes that the EPS system comes out as the least reliable unit in the vehicle's electrical system. Its reliability indicator stood at 47.7 %, accounting for approximately 18 %

of the total number of failures in the electrical system.

Thus, the problem of the EPS's low reliability in operation necessitated research efforts targeted at such aspects as design of the EPS unit, control algorithms, and the methods used for command generation by the electronic control unit in response to external inputs. The overall goal of such research projects was to identify factors causing the EPS system to lose operability. As a result of completed research projects, a variety of hypotheses were proposed.

Thus, [6] notes that electromagnetic impacts on the sensors and control units of gearless EPS systems cause a negative effect on the system's proper functioning. In particular, in the event that a sensor incorrectly identifies the pull-in torque M_{D-in} , the electronic control unit generates a command to create an extra balancing torque M_{bal} on the steering column, which leads to spontaneous rotation of the steering wheel in traffic and uncontrolled turning of the steerable wheels.

In the event of a firmware error in the ECU's microprocessor, control signals get distorted, and as a result the on-board diagnostic system cannot determine whether the unit is sound and issues a command to disable it. In addition, electromagnetic impacts on the EPS system may affect the vehicle's steerability, thus making maneuvers more difficult for the driver.

It is shown in [7] that inferior reliability of gear-based EPS leads to the following faults:

- seizure of the steering mechanism;
- fracture of the steering rack;
- spontaneous rotation of the steering wheel;
- knocks in the steering gear when the steering wheel is turned;
- failure of the torque sensor;
- failure or malfunction of the ECU.

It is becoming increasingly urgent to research the above defects of the EPS systems and develop modern methods of diagnosing the health of this system. An important aspect of this task is that the existing diagnostic functions (the onboard diagnostic capability with a light indicator and diagnostics with a tester/scanner) do not afford the possibility of tracking changes in the mechanical part of the EPS system in a detailed manner [8]. Moreover, such issues should be addressed in an authorized maintenance center

¹Part 2 (final). For Part 1, see World of Transport and Transportation, Vol. 15, 2017, Iss. 4, pp. 58–69.

only. It is impossible for the common user to perform diagnostic procedures correctly [7].

Diagnostics of gearless power steering systems

International researches have been studying EPS systems since the early 90s of the last century, and these efforts are reflected in a large number of patents covering EPS designs and control methods. The significant contributions of the Japanese researchers Yasuo Shimizu, Atsuhiko Yoneda, Hitoshi Shiobara, Takashi Kuribayashi, Hirofumi Matsuoka to addressing design challenges of various EPS systems should be noted [9].

The body of research results accumulated to-date by domestic researches in the field of studying various design parameters and performance characteristics of EPS systems can be divided into two distinct categories: theoretical and experimental.

In the group of theoretical research projects, results obtained by V. N. Kozlovsky and R. A. Maleyev addressing various aspects of EPS design and manufacturing should be recognized on top of the others.

Thus, in [10] the researches discuss mathematical models that are capable of predicting the system's reliability. The authors note that in order to ensure high quality of the end product, qualitative assessment of the key parameters of the units to be manufactured must be performed. Variations in the size parameters of the units may lead to significant changes in EPS performance characteristics.

Work [11] focuses on building a mathematical simulation model in the Matlab environment, which model translates information on EPS failures into reliability indicators. As a result of their analysis, the authors established that the greatest proportions of EPS defects were caused by faults in the electronic control unit and torque and rotor position sensors, while a significant number of faults is related to deviations of the EPS active elements' size parameters from the required specifications.

Papers published by the Novosibirsk researchers B. M. Bochenkov, G. L. Nikulina, M. V. Tyurina, G. A. Frantsuzova and others reflect on particular design features and methods for the improvement of EPS control units.

Thus, in [12] the authors present key electronic components used in EPS systems, providing detailed descriptions of the structural design and key operating principles of the unit manufactured by Avtoelektronika OJSC, Kaluga – the primary supplier of EPS systems to AvtoVAZ.

Work [13] proposes a method to increase the dynamic steering accuracy of EPS systems. The method is based on two solutions: algebraic generation of the control signal that determines the electric motor's compensation torque using measured values, and an improved design of the measuring system.

In [9], aspects are considered of improving the functional efficiency of the EPS system through the use of precision elements of the measuring system. The author suggests an algorithm for generating the EPS output torque signal, which algorithm ensures high levels of both static and dynamic accuracies. The author defines a criterion for evaluating the quality of the EPS system in the course of comparative testing. The criterion is used to establish the position-following error within a given range of frequencies. An EPS design is proposed where the torque sensor relies on the magnetoelastic effect to improve the accuracy of torque measurement and replication in processing

the response from the road at frequencies of up to 20 Hz as compared to similar existing designs.

In the lineup of research papers, we should note some that address particular challenges encountered at the stages of EPS systems' design, modeling, computation, and review of functioning.

For example, the research reported in [14] focused on mathematical modeling of magnetoelectric valve motors for EPS systems used in passenger cars.

Details involved in the development of a functioning logic diagram for EPS systems based on frequency-controlled asynchronous motor, as well as in its implementation and principles of operation are discussed in [15].

Work [16] reviews the existing types of stepper motors and provides analyses of their design features, with a view to using analog electric motors in EPS designs. The paper defines the requirements to the parameters of the electric motor to be chosen in view of the assigned levels of external loads. Formulas were developed to compute the torque of the stepper motor that is used as the effector element in either ball screw or rack-and-pinion EPS systems.

Findings of experimental studies of gearless EPS systems are reflected in [17, 18]. The authors had developed and built a dedicated test bench, connectors, control boards, indicators, and a control panel. The test rig is intended for verifying the electrical and mechanical parameters of EPS systems.

The experimental test bench allows conducting EPS tests in automatic and manual modes at temperatures from minus 40°C to plus 50°C and relative air humidity of 95±3 %. Loading cycles are proposed to be used as testing modes. One cycle is assumed to be a simulation of alternating rotations of the motor's input shaft to an angle that corresponds to three revolutions of the automobile's steering column to the left and three to the right. The test rig generates input information for the ECU, namely the signals from the rotor position sensor and the speed sensor. In addition, the test rig allows to set various load values of the torque at the output shaft: 12, 20, 32 Nm, and two speeds: 5 km/h and 10 km/h. The publication notes that the test rig is in practical application at PO Sever Production Association.

Diagnostics of gear reducer-based electromechanical power steering systems

V. V. Korolyov has made a prominent contribution to the theory of gear reducer-based EPS [19]. The author developed and proposed:

- a generalized model of the EPS system. The model is distinct from others in that it takes into account the impact of the automobile's parameters and the parameters of the EPS system's switch reluctance motor. The model makes it possible to design EPS systems using the methodology of controlling the compensatory action;

- an original interpretation of interconnections between the steerable wheels' reactions, torques in the EPS, and the compensatory torque created by the switched reluctance motor in order to determine the necessary compensatory impacts to be exerted by the electric drive in the process of the EPS-equipped automobile's motion;

- a mathematical model of the switched reluctance motor that is distinct from the previously known models in that it is less labor-intensive in terms of computer modeling, and allows a more efficient construction of the EPS drive due to a more accurate interrelation between the specific conductance of the





air gap and mutual positions of the teeth of the stator and the rotor;

– an EPS system that improves the performance of the automobile and the quality of handling.

Research performed by V. I. Domanov, A. V. Domanov and their colleagues that studied issues in controlling the operation of the EPS system. The authors propose a system featuring a correction unit that accounts for the motor vehicle's operating conditions and personal traits of the driver. The correction feature relies on a driver-related signal, and an adjustment signal proportional to the speed of the automobile. It is noted that the use of the forward-looking correction mechanism has the potential of more than doubling the EPS stability zone relative to the traditional EPS system architecture [20].

Work [21] analyses the impact of external factors on the EPS system. It demonstrates that, in order to reduce the driver's workload and the resistance torque exerted by the road, the characteristic of the torque sensor needs to vary depending on the speed of the automobile. Such a variable characteristic can be achieved with either analog or digital methods.

Work [22] studies the operation of the EPS system in the presence of stray/random signals, and compares various EPS control structures by output signal dispersion levels.

The principles of EPS functioning in the modes of city traffic, freeway traffic, and parking maneuvers are presented in [23]. Another publication [24] offers a comparison between design features of an electrohydraulic power steering system and a Servoelectric EPS. The research objective of [25] is to develop a model of the complete steering system of a car equipped with an EPS. The authors offer a function block diagram of an EPS with a reducer and a switched reluctance motor.

Research paper [26] should be noted as it determines the key functions performed by the EPS electric motor's control system. A set of controls is incorporated in the electric motor's control algorithm, whose correct implementation can be achieved

through the use of a 32-bit microcontroller offered by the company Atmel. This microprocessor's features meet all the requirements to EPS systems of category M1 automobiles.

Perfecting the ECU operating algorithms is among mainstream areas of research. Thus, [27] analyses the microcontroller's algorithm for the purpose of better understanding the behavior of the EPS-equipped motor vehicle. The Matlab environment was used for modeling. As a result, theoretical dependencies were established of the resultant and compensatory torques on the turning angle of the steering column and the speed of the automobile. Article [28] summarizes an EPS analytical research project and synthesizes control algorithms by developing mathematical and digital models.

V. S. Moulgin [29] worked to create a new model for the input torque sensor whose principle of operation relies on the Hall effect. The author suggests that the torque applied to the steering column be measured based on the dependence of the change of distance between the Hall sensor and a magnet on the degree of the torsion bar twist.

A. I. Arkhipov [30] conducted experimental studies of the EPS input torque sensor's characteristics. Based on the results obtained with an automated test rig, the researcher finds that the sensor's output signals transmitted on two channels have the shape of a meander with a frequency of 2 kHz and an amplitude of 5 V. Depending on the torsion bar's twist angle, the duty cycle of the signals varies between 20 and 80 %, and in the absence of torque on the input shaft, the duty cycle value is 50 %.

Currently, the world's leading automakers are developing shaftless EPS systems. A shaftless system is construed as a system that has no mechanical linkage between the steering column and the steering mechanism, i.e. a system that relies on the so-called «drive-by-wire» technology. In terms of its design, a shaftless EPS system is one that has two coordinated electric drives, one on the steering column and the other on the steering rack, with no mechanical link between them. One of the two operates in the tracking

mode and turns the steerable wheels according to the signal from the steering wheel's position sensor. The other drive determines the torque on the steering column in proportion with the torque on the shaft of the steering mechanism, thus 'sensing the road' and returning the steering wheel to the neutral position when the steering wheel is released (the self-resetting feature) [31].

It is noted that the system under development has a number of advantages, such as:

- no rigid structural linkage of the motor vehicle's cabin and the steering mechanism to steerable wheels;

- the possibility of controlling the automobile with assistance from electronic systems, including an on-board computer;

- a compact size in comparison with traditional shaft-based power steering systems;

- low labor-intensity of maintenance and repair due to a smaller number of mechanical parts.

Numerous domestic and international automakers are working to develop drive-by-wire steering systems. However, there exist neither serially produced models nor publications disclosing the design principles or elements of systems under development [32].

Conclusions

The overview presented above shows that fitting motor vehicles that fall into the M1 category with electromechanical power steering systems remains a promising direction in the development of the automotive industry.

The overview identifies the key requirements to the EPS system, defines the key tasks that the system should address, considers various designs and functional features of the system as an element of a motor vehicle, and offers an analysis of the domestic experience in developing such systems and preparing them for serial production. For a number of reasons, modern automobiles are equipped primarily with columnar gearless EPS systems.

The overview summarizes the most prominent failures and faults of the EPS that occur in the course of the system's operation, and demonstrates that a built-in diagnostics system of a mechatronic unit is unable to track changes in the health of the unit as part of its operation.

Our analysis of the results obtained in the theoretical and experimental studies of both gearless and gear reducer-based EPS has provided evidence that developers tend to give more attention to various aspects of the design, operation, predicting and modeling of the unit's characteristics and individual elements of the EPS system. This definitely brings into the foreground the problem of the system's operational reliability, and makes indispensable continued research efforts in these areas with a stronger focus on quality-related characteristic of EPS systems.

REFERENCES

1. Kozlovsky, V. N. Ensuring high quality and reliability of automotive electrical systems [Obespechenie kachestva i nadezhnosti sistemy ehlektrooborudovaniya avtomobilye. Dis... dok. tehn. nauk]. D.Sc. (Eng) thesis. Togliatti, 2010, 440 p.

2. Electric power steering systems: features and shortcomings [Elektroosiliteli rulevogo upravleniya: osobennosti i nedostatki]. [Electronic resource]: http://www.zr.ru/content/articles/120125-elektroosiliteli_rulevogo_upravleniya_osobennosti_i_nedostatki/. Last accessed 18.05.2017.

3. Toyota launches a recall campaign in Russia for Toyota Highlander off-roads [V Rossii nachalas' otzynnaya kampaniya vnedorozhnika Toyota Highlander]. [Electronic resource]: <http://www.zr.ru/content/news/784124-v-rossii-pod-otzyv-popali-avtomobili-toyota-highlander/>. Last accessed 18.05.2017.

4. General Motors recalls more than six thousand police cars [General Motors otozval bolee 6 tysyach politseyskikh avtomobilye]. [Electronic resource]: <http://news.drom.ru/General-Motors-40361.html>. Last accessed 18.05.2017.

5. Polyakova, Y. V. Development and introduction of an assessment system to evaluate the quality and competitive standing of automobiles [Razrabotka i vnedrenie sistemy otsenki kachestva i konkurentosposobnosti avtomobilye. Dis... kand. tehn. nauk]. Ph.D. (Eng) thesis. Togliatti, 2016, 159 p.

6. Nikolayev, P. A., Kouklina, A. V. Testing of an electromechanical power steering system for resilience against electromagnetic impacts [Ispytaniya ehlektromekhanicheskogo usilitelya rulevogo upravleniya avtomobilya k ehlektromagnitnomu vozdeystviyu]. Tekhnologii ehlektromagnitnoj sovmestimosti, 2015, Iss. 2, pp. 38–41.

7. Emelyanov, V. V., Vasiliev, V. I. Device for accelerated testing of reliability of an electromechanical power steering of a car [Ustrojstvo dlja uskorenykh ispytanij na nadezhnost' elektromekhanicheskogo usilitelja rulevogo upravleniya avtomobilja]. Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Tehnicheskie nauki» [Bulletin of Kurgan State University, series Engineering science], 2014, Iss. 2, pp. 75–76.

8. Vasilyev, V. I., Emelyanov, V. V. A diagnostic method for electromechanical power steering systems [Metod diagnostirovaniya avtomobil'nogo rulevogo upravleniya s ehlektromekhanicheskim usilitelom]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2014, Iss. 6, p. 5.

9. Tyurin, M. V. Increase in efficiency of a gearless electromechanical power steering of a car. Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti bezreduktornogo elektromekhanicheskogo usilitelja rulevogo upravleniya avtomobilja. Dis... kand. tehn. nauk]. Novosibirsk, 2009, 167 p.

10. Kozlovsky, V. N., Maleev, R. A. Forecasting the stability of performance characteristics of automotive electromechanical power steering systems [Prognozirovanie stabil'nosti tekhnicheskikh kharakteristik ehlektromekhanicheskogo usilitelya rulevogo upravleniya avtomobilya]. Gruzovik, 2008, Iss. 1, pp. 13–15.

11. Kozlovsky, V. N., Maleev, R. A. Analysis of reliability of an automobile electromechanical power steering [Analiz nadezhnosti avtomobil'nogo elektromekhanicheskogo usilitelja rulevogo upravleniya]. Gruzovik, 2008, Iss. 12, pp. 37–38.

12. Pechnikov, A., Trubin, V. Electromechanical gearless power steering: principles of operation and applied electronic components [Elektromekhanicheskij bezreduktornyj usilitel' rulja: principy raboty i primenjaemye elektronnye komponenty]. Vestnik elektroniki, 2011, Iss. 1, pp. 4–8.

13. Bochenkov, B. M., Tyurin, M. V. Ways to increase the dynamic accuracy of control of the electromechanical power steering [Puti povysheniya dinamicheskoy tochnosti upravleniya elektromekhanicheskim usilitelom rulevogo upravleniya]. Sbornik nauchnykh trudov NGTU [Proceedings of Novosibirsk State Technical University], 2006, Iss. 3, pp. 3–10.

14. Yefimov, V. V. Numerical and experimental modeling of electromechanical components of automotive electronic systems. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Chislennoe i ehksperimental'noe modelirovanie ehlektromekhanicheskikh komponentov avtoehlektronnykh



system. *Avtoref. dis... kand. tehn. nauk*]. Cheboksary, 2011, 24 p.

15. Prokhorov, V. A., Devochkin, O. V. The automotive electric power steering system [*Elektrousilitel' rulevogo upravleniya avtomobilem*]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Moscow State Technical University], 2014, Iss. 2, pp. 58–61.

16. Ogorodnov, S. M., Sinichkin, S. G. Computation of an automotive power steering system with a stepper motor [*Raschet usilitel'nykh rulevogo upravleniya s shagovym ehlektricheskim dvigatelem dlya transportnykh sredstv*]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva* [Proceedings of R. E. Alexeyev Nizhny Novgorod State Technical University], 2012, Iss. 4, pp. 182–191.

17. Gourova, Y. G., Vakhitov, R. N., Kozitsyn, Y. A., Kolinichenko, O. A. Testing the reliability of the electromechanical power steering system in Lada Kalina cars [*Proverki na nadezhnost' usilitel'nykh ehlektromekhanicheskogo rulevogo upravleniya Lada Kalina*]. *Issues of transportation systems' functioning: proceedings of a national conference on research and best practices* [*Problemy funktsionirovaniya sistem transporta: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*]. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University, 2012, pp. 136–138.

18. Gourova, Y. G., Vyrvn, A. N., Mingazeyev, S. M., Sergeev, A. A. Running test rig for the electromechanical power steering system of Lada Kalina [*Stend progona na proverku usilitel'nykh ehlektromekhanicheskogo rulevogo upravleniya Lada Kalina*]. *Issues of transportation systems' functioning: proceedings of a national conference on research and best practices* [*Problemy funktsionirovaniya sistem transporta: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*]. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University, 2012, pp. 138–139.

19. Korolyov, V. V. The automotive electromechanical power steering system Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Sistema ehlektromekhanicheskogo usilitel'nykh rulevogo upravleniya avtomobilya. Avtoref. dis... kand. tehn. nauk*]. Togliatti, 2005, 20 p.

20. Domanov, V. I., Domanov, A. V. Analysis and synthesis of control systems for the electromechanical power steering [*Analiz i sintez sistem upravleniya ehlektromekhanicheskimi usilitelem rulya*]. *Vestnik UIGTU* [Proceedings of Ulyanovsk State Technical University], 2008, Iss. 3, pp. 51–56.

21. Domanov, V. I., Domanov, A. V. Impact of external forces on the automotive electric power steering system (EPS) [*Vliyaniye vneshnikh usilij na ehlektrousilitel'nykh rulevogo upravleniya avtomobilya (EUR)*]. *Contemporary problems in transportation research and technologies: Proceedings of the 5th International Conference on Science and Technology* [*Sovremennyye nauchno-tekhnicheskiye problemy transporta: Sb. nauchnykh trudov V mezhdunarodnoy nauchno-tekhn. Konferentsii*]. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University, 2009, pp. 30–33.

22. Domanov, A. V., Domanov, V. I., Sergeev, A. V. Influence of random signals on the operation of electric power steering [*Vliyaniye sluchajnykh signalov na rabotu ehlektrousilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *Elektrosnabzhenie i elektrooborudovanie*, 2013, Iss. 4, pp. 22–25.

23. Shalayev, D. V. Operation algorithms of the electric power steering system [*Algoritmy raboty ehlektrousilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *Actual problems of development of science and education: a collection of scientific papers on the materials of the International Scientific and Practical Conference* [*Aktual'nyye problemy razvitiya nauki i obrazovaniya: Sb. nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konferentsii*]. Part 1. Moscow, AR-Konsalt publ., 2014, pp. 101–103.

24. Arsenyuk, S. A. Electrohydraulic amplifier and electric power steering [*Elektrogidrousilitel' i ehlektrousilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *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, Vol. 3, pp. 33–37.

25. Nasibullin, R. T., Sergeev, V. A., Sungatov, I. Z. Model of an electromechanical power steering system [*Model' sistemy ehlektromekhanicheskogo usilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *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.

26. Kosenko, Y. O., Arkhipov, A. I. A strategy for constructing digital control subsystems for electric power steering systems [*Strategiya postroyeniya tsifrovyykh sistem upravleniya ehlektroprivodom usilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *Patterns and trends in the development of science: Proceedings of an international conference on research and best practices* [*Zakonomernosti i tendentsii razvitiya nauki: Sb. statej mezhdunarodnoy nauchno-prakt. Konferentsii*]. Ufa, Omega Science, 2015, pp. 26–28.

27. Kryukov, A. I., Palaguta, K. A., Shirokov, L. A. Modeling the operation of an electromechanical power steering system [*Modelirovaniye raboty usilitel'nykh ehlektromekhanicheskoy sistemy rulevogo upravleniya*]. *Mashinostroeniye i inzhenernoye obrazovanie*, 2013, Iss. 4, pp. 37–45.

28. Arefiev, V. A. Mathematical model of electric power steering [*Matematicheskaya model' ehlektrousilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskiye nauki* [Bulletin of Samara State University of Technology. Series: Engineering Sciences], 2005, Iss. 32, pp. 123–129.

29. Moulgin, V. S. The development of a steering torque sensor [*Razrabotka datchika usiliya rulevogo upravleniya*]. *Avtomobil' i ehlektronika. Sovremennyye tekhnologii*, 2013, Iss. 1, pp. 41–44.

30. Arkhipov, A. I. A study of the torque sensor [*Issledovaniye datchika momenta*]. *The role of engineering sciences in the development of society: Proceedings of an international conference on research and best practices*. [*Rol' tekhnicheskikh nauk v razvitiye obshchestva: Sb. statej mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konferentsii*]. Ufa, Aeterna publ., 2015, pp. 4–6.

31. Antonov, I. P. Developing a shaftless power steering system [*Razrabotka sistemy bezval'nogo usilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *Proceedings of the 53rd International Student Conference MNSK-2015: Mechatronics and Automation* [*Materialy 53-j mezhdunarodnoy nauchnoy studencheskoy konferentsii MNSK-2015: Mekhatronika i avtomatizatsiya*]. Novosibirsk, Novosibirsk State University, 2015, p. 42.

32. Antonov, I. P., Bochenkov, B. M. Developing a shaftless power steering system [*Razrabotka sistemy bezval'nogo usilitel'nykh rulevogo upravleniya*]. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2015, Iss. 8/3, pp. 454–457. ●

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.

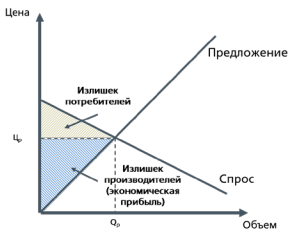
Smirnov, Alexey A. – Master's student at the department of Automobile transport of Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, AlexiFoX@yandex.ru.

Article received 13.01.2017, updated 18.04.2017, accepted 21.04.2017.

Т

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЙ ВЫБОР 98

*Графическая модель
отражает роль транспорта.*



СТОИМОСТЬ 106

*Расчёты в железнодорожном
строительстве.*

ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ 118

*Свой путь в макроэкономике:
эффект мультипликатора.*

ИНВЕСТИЦИИ 130

*Анализ привлекательности
инфраструктурных проектов.*

CUSTOMER CHOICE 98

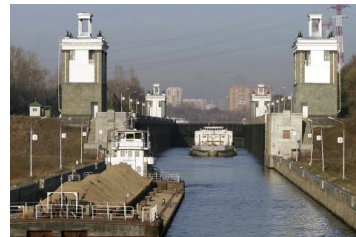
*Graphic model reflects
transport role.*

PRICE 106

*Calculations in railway
construction.*

INLAND WATER TRANSPORT 118

*Its own way across
macroeconomics:
multiplier effect.*



INVESTMENT 130

*Analysis of attractiveness
of infrastructure projects.*





Транспорт, экономический рост и общественное благосостояние



Дмитрий МАЧЕРЕТ

Dmitry A. MACHERET

Transport, Economic Growth and Public Well-Being

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 103)

В статье рассмотрены различные аспекты влияния транспорта на экономический рост и повышение общественного благосостояния. Показана взаимосвязь между развитием транспорта, экономической и демографической ситуацией в исторической ретроспективе. С помощью разработанной графической модели доказано позитивное значение транспорта для экономического развития стран и народов, роста благосостояния населения благодаря расширению потребительского выбора. Отмечено, что не только грузовой, но и пассажирский транспорт играют в этом свою несомненную роль.

Ключевые слова: транспорт, экономический рост, благосостояние, обмен, специализация, потребительский выбор, инновации.

Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики строительного бизнеса и управления собственностью Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Транспортная деятельность была неизменным условием возникновения первых цивилизаций. Без перемещения на значительные расстояния большого количества разнообразной продукции, без обеспечиваемого транспортом межрегионального обмена металлов и леса на сельскохозяйственные товары даже в древности не могли бы существовать города и густонаселённые сельскохозяйственные районы в долинах «великих исторических рек», ставших первозданными колыбелями цивилизаций [1].

1.

Развитие транспорта, как и социально-экономическое развитие в целом, никогда не было постоянно прогрессирующим. Но несмотря на длительные периоды стагнации и даже регресса, прогрессивные тенденции в итоге всегда брали верх.

Транспортный прогресс стал одним из важнейших факторов, положивших конец тысячелетней эпохе Средневековья и, начиная с эпохи Великих географических открытий, проложивших путь к формированию глобального, открытого рыночного общества [2].

Именно тогда, в эпоху торгового капитализма, появились очевидные признаки ускорения экономического и демографического роста [3]. А становление в XIX веке индустриального капитализма, ключевым фактором которого было появление и развитие парового транспорта (пароходов и железных дорог), сделало возможным наступление эпохи современного экономического подъёма, характеризующейся качественно более высокими темпами роста производства и повышения численности населения. При этом впервые в истории человечества темпы развития экономики стали устойчиво опережать рост численности населения [4, с. 22]. Это означало значимое и поступательное повышение благосостояния людей. Если с начала нашей эры до первой промышленной революции и эпохи современного экономического роста (1 г. н.э.—1820 г.) мировой ВВП на душу населения вырос, по имеющимся оценкам, в 1,4 раза, то с 1820 года до старта XXI века — более чем в девять раз [3, с. 576–577].

Количественный анализ показывает значимую взаимосвязь между развитием сети железных дорог и экономическим ростом в XIX—начале XX века в крупнейших экономиках мира (Великобритания, Франция, Германия, США, Россия) [5, 6].

В нынешних условиях на основе межстранового анализа также выявлена значимая зависимость уровня экономического развития от развития инфраструктуры сухопутного транспорта — железнодорожного и автомобильного [7]. При этом на примере железнодорожного транспорта установлена взаимосвязь между долгосрочной экономической динамикой («большими волнами» Кондратьева) и интенсивностью транспортных инноваций [8, 9].

Развитие транспорта означает расширение обмена, который увеличивает благосостояние участвующих в нём экономических субъектов, поскольку в результате каждого акта обмена «блага переходят от одного, который ценит их меньше, к другому, который ценит их больше» [10, с. 348]. Следовательно, в результате обмена благами между от-

дельными экономическими субъектами растёт общественное благосостояние. Создание новых ценностей в результате перемещения товаров подчёркивал лауреат Нобелевской премии фон Хайек: «...Количественное увеличение имеющегося запаса физических средств существования и жизненных удобств зависит не столько от видимого преобразования одних веществ и материалов в другие, сколько от процесса их перемещения, благодаря которому изменяется их относительная значимость и ценность» [11, с. 161].

Кроме того, обусловленный транспортной деятельностью рыночный обмен делает возможной специализацию производства, а это — мощнейший фактор роста экономики и её эффективности на основе реализации закона сравнительных преимуществ, сформулированного ещё Давидом Рикардо [12].

2.

Разработанная автором графическая модель показала, что в результате создания нового межрегионального транспортного сообщения, дающего регионам возможность специализироваться на производстве тех товаров, для которых они обладают сравнительным преимуществом, увеличивается объём производства и потребления во всех участвующих в специализированном производстве регионах, а цены на товары снижаются [13]. Другими словами, экономический рост получает дополнительный импульс, а общественное благосостояние — повышается.

Но благосостояние или богатство людей и, соответственно, общества, которое они образуют, определяется не просто количеством благ или получаемым доходом: «...Богатство можно определить как широту покупательского выбора. Индивидуум ощущает расширение возможностей выбора как рост богатства, это расширение не может быть чисто количественным, поскольку, в соответствии с теорией предельной полезности, ценность любого блага уменьшается при увеличении его количества. Расширение возможностей должно носить качественный характер. В этом смысле экономический



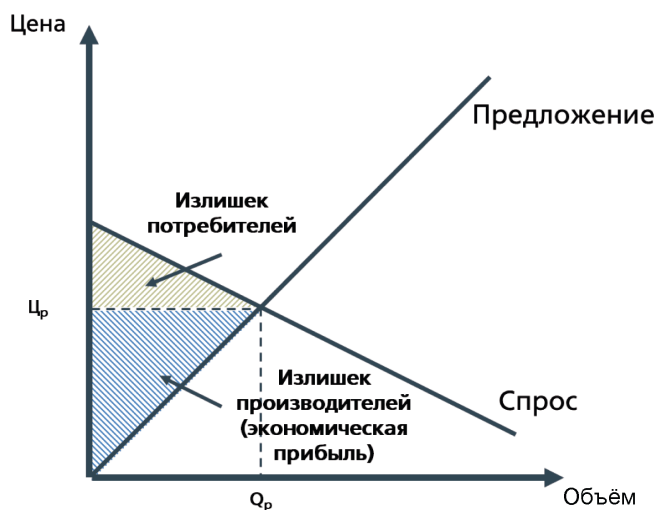


Рис. 1. Региональный рынок условного товара при отсутствии заменителя.

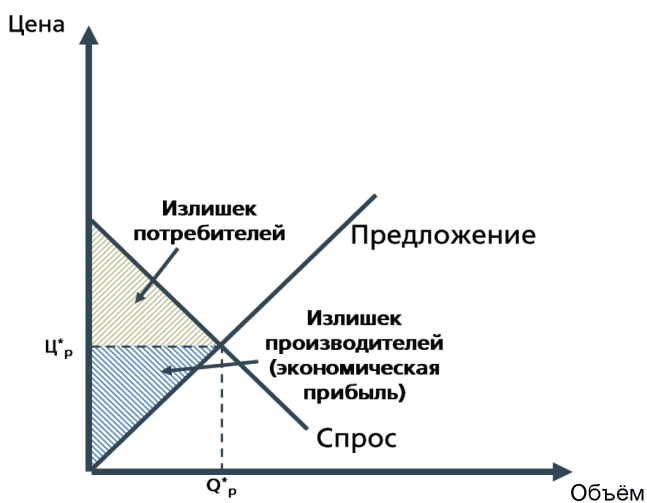


Рис. 2. Региональный рынок условного товара при наличии заменителя.

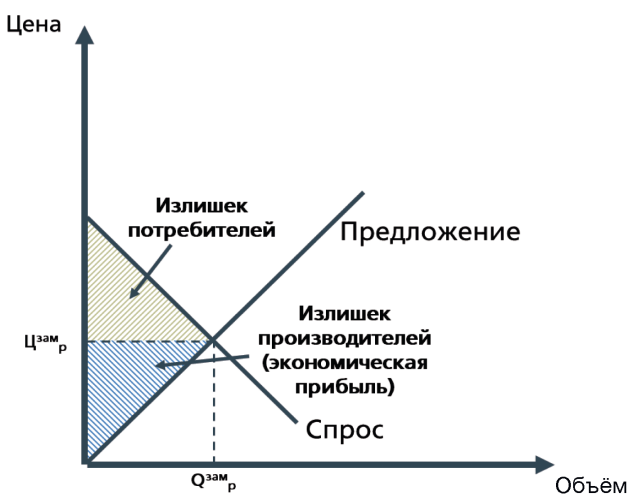


Рис. 3. Региональный рынок товара-заменителя.

рост отчасти является качественным расширением возможностей потребительского выбора...» [10, с. 317].

Влияние транспорта на экономический рост и общественное благосостояние через расширение потребительского выбора помогает раскрыть упомянутая графическая модель (рис. 1–3).

На рис. 1 показаны основные характеристики (спрос, предложение, равновесные цена и объём) регионального рынка условного товара, для которого отсутствуют близкие аналоги (заменители) и спрос на который удовлетворяется за счёт местного производства. Затем, благодаря организации транспортного сообщения, в регионе появляется аналог (заменитель) рассматриваемого товара, производимый в другом регионе. Для того чтобы выделить влияние на уровень благосостояния именно расширения потребительского выбора, условимся, что график предложения товара-заменителя точно совпадает с предложением исходного товара (то, что ввозимый товар с учётом издержек транспортировки предлагается по той же цене, что и продукция местного производства, является вполне правдоподобным допущением, так как при производстве товаров, ориентированном на широкое распространение в разных регионах, проявляется эффект масштаба, который нередко позволяет продавать их даже дешевле, чем товары местных производителей, ориентированных на локальные рынки).

При этом предположим, что и качественные характеристики товара-заменителя в целом не сильно отличаются от характеристик исходного товара, а отличия их скорее «вкусовые», так что некоторые потребители переключатся на покупку товара-заменителя, другие – сохранят верность привычному товару, а иные будут сочетать покупки того и этого (для внесения разнообразия в свои потребности). Примем условие, что итогом такого выбора будет равное распределение величины спроса между традиционным товаром и товаром-заменителем при каждом уровне цены. Это значит, что графики спроса на традиционный товар и товар-заменитель будут

идентичны и иметь вдвое больший угол наклона к горизонтальной оси по сравнению с первоначальным графиком спроса на исходный товар.

Таким образом, в результате организации транспортного сообщения в рассматриваемом регионе сформируются имеющие одинаковые параметры рынки двух аналогичных товаров (рис. 2, 3). Влияние транспортного сообщения на уровень благосостояния будет определяться исключительно появлением у потребителей возможности выбора из двух аналогичных товаров, предлагаемых по одним и тем же ценам. Каково это влияние – видно из сопоставления рис. 1 с рис. 2 и 3. Равновесная цена на каждый из двух товаров оказывается ниже, чем на исходный товар при отсутствии заменителя, а суммарный объём их потребления – выше, чем объём потребления исходного товара при отсутствии заменителя. При этом суммарный потребительский излишек существенно возрастает, потребители однозначно выигрывают. А главным показателем экономического прогресса, в конечном счёте, является именно благосостояние потребителя [14, с. 233].

3.

Суммарный излишек производителей (который можно трактовать как экономическую прибыль) возрастает незначительно и распределяется поровну между местными производителями исходного товара и производителями товара-заменителя из иного региона. Если говорить об объёмах производства исходного товара для нужд данного региона, соответствующих доходах и экономической прибыли его производителей, то они существенно сокращаются. Но трактовать это как ущерб для экономики региона можно только исходя из меркантилистских представлений четырёхсотлетней давности (которые, впрочем, весьма живучи). Во-первых, благодаря транспортному сообщению, местные производители могут наладить поставки рассматриваемого товара в иные регионы (если, конечно, обеспечат его конкурентоспособность), в итоге не сократив, а увеличив объёмы производства, доходы и прибыль. Во-вторых, наименее конкурентоспособные



производители должны будут либо снизить издержки, что всегда на пользу для экономического роста и повышения общественного благосостояния, либо, если это им не удастся, уйти с рынка. В последнем случае трудовые и материальные ресурсы для производства товара, неэффективность которого проявилась на рынке, в итоге будут переориентированы на иные, более востребованные потребителями, нужды.

В представленной модели выявлено значительное позитивное влияние появления на рынке благодаря развитию транспорта одного альтернативного товара, обладающего, по сути, теми же характеристиками, что и традиционный. В реальной жизни, которая неизмеримо богаче любой модели, на рынках при содействии транспорта появились многие тысячи новых товаров с самыми разными качественными и ценовыми характеристиками, что стало одной из важнейших составляющих экономического роста и повышения благосостояния во всем мире. Расширение товарного ассортимента и потребительского выбора происходило с глубокой древности и продолжение его в будущем является залогом востребованности транспортных услуг [15].

Что касается развития пассажирского транспорта, оно также способствует расширению потребительского выбора — прежде всего в сфере услуг (образовательных, медицинских, рекреационных), тем самым позитивно влияя на повышение благосостояния и экономического роста [16]. При этом в целом развитие транспорта повышает для «большинства людей возможности выбирать и формировать качество собственной жизни» [10, с. 343–344], а это — ключевой аспект человеческого благополучия.

И, наконец, развитие транспорта и обмена, способствуя распространению продукции эффективных инновационных производств, самых совершенных технологий и быстрому перемещению носителей знаний и компетенций, «сокращает издержки изобретений и инноваций, что, в свою очередь, увеличивает богатство общества»

[10, с. 346]. То есть наращивание всеобщего благосостояния идёт за счёт того, что транспортный ресурс обеспечивает на расширенных рынках взаимовыгодный обмен товарами и услугами, даёт возможность специализировать производство и реализовывать закон сравнительных преимуществ, ускоряет диффузию инноваций и стимулирует творческий поиск на пути к новому качеству жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мачерет Д. А. Транспортный фактор в эпоху древних цивилизаций // Мир транспорта. — 2014. — № 2. — С. 230–241.
2. Мачерет Д. А. Социально-экономическая роль транспорта в Средние века // Мир транспорта. — 2015. — № 2. — С. 228–237.
3. Мэддисон Э. Контуры мировой экономики в 1–2030 гг. Очерки макроэкономической истории: Пер. с англ. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2012. — 584 с.
4. Гайдар Е. Т. Долгое время. Россия в мире: очерки экономической истории. — М.: Дело, 2005. — 656 с.
5. Мачерет Д. А. Создание сети железных дорог и экономический рост // Мир транспорта. — 2011. — № 1. — С. 164–169.
6. Мачерет Д. А. Создание сети железных дорог и ускорение развития страны // Мир транспорта. — 2012. — № 4. — С. 184–192.
7. Мачерет Д. А., Рышков А. В., Белоглазов А. Ю., Захаров К. В. Макроэкономическая оценка развития транспортной инфраструктуры // Вестник ВНИИЖТ. — 2010. — № 5. — С. 3–10.
8. Измайкова А. В. Волны инновационного развития железных дорог // Мир транспорта. — 2015. — № 5. — С. 26–38.
9. Мачерет Д. А., Измайкова А. В. Экономическая роль инноваций в долгосрочном развитии железнодорожного транспорта. — М.: МИИТ, 2016. — 162 с.
10. Розенберг Н., Бирдселл Л. Е. Как Запад стал богатым: экономическое преобразование индустриального мира: Пер. с англ. — М.; Челябинск: Социум; ИРИСЭН, 2015. — 448 с.
11. Хайек Ф. А. Пагубная самонадеянность. Ошибки социализма: Пер. с англ. — М.: Новости, 1992. — 304 с.
12. Рикардо Д. Начала политической экономии и налогового обложения. Избранное: Пер. с англ. — М.: Эксмо, 2009. — 960 с.
13. Мачерет Д. А. Из кармана Пьера в карман Жака // Мир транспорта. — 2003. — № 2. — С. 12–22.
14. Мокир Дж. Рычаг богатства. Технологическая креативность и экономический прогресс: Пер. с англ. — М.: Изд-во Института Гайдара, 2014. — 504 с.
15. Мачерет Д. А. Будущее транспорта в контексте мегаэкономических изменений // Мир транспорта. — 2014. — № 6. — С. 6–13.
16. Мачерет Д. А. Стратегические перспективы роста железнодорожных перевозок в России с учетом мировых тенденций // Экономика железных дорог. — 2017. — № 6. — С. 13–22. ●

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

Статья поступила в редакцию 09.08.2017, принята к публикации 21.10.2017.

TRANSPORT, ECONOMIC GROWTH AND PUBLIC WELL-BEING

Macheret, Dmitry A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article considers different aspects of the impact of the transport on economic growth and on increasing public well-being. The author argues that historical retrospective analysis proves the relationship between transport and transportation developments and economic and demographic situation. The developed graph model also can be used as a proof of positive influence of transport on economic development of countries and societies, in the growth of populations' well-being thanks to extended customer choice. The author highlights the evident contributions of both passenger and freight transportation.

Keywords: transport, economic growth, well-being, exchanges, diversification, differentiation, customer choice, innovation.

Background. Transportation activities were among consistent preconditions of emergence of first civilizations. Even in ancient times cities and densely populated agricultural areas in the valleys of «great historical rivers», that had become primitive cradles of civilizations [1], could not exist without long distance transporting of large volumes of various goods, without transport support for interregional exchange of metals and timber for agricultural goods.

Objective. The author's objective is to show long term relationship between transport and transportation developments and economic and demographic situation.

Methods. The author uses contents and historical analysis, economic analytical methods, graph construction techniques.

Results.

1.

Developments of transport, as well as social and economic developments overall, have never been permanently progressing. But despite long stagnation and regressive periods, progressive trends finally have always dominated.

Progress in transportation was among key factors that had put an end to the millenarian period of Middle Ages and starting from the Age of Discovery has paved the way to global open market society [2].

It was exactly then, at the epoch of early merchant capitalism, that first evident signs and markers of acceleration of economic and demographic growth emerged [3]. And the rise and development of industrial capitalism in 19th century characterized as by key factor by emergence and evolution of steam transport (steam vessels and railways), made it possible the advance of the era of modern economic growth followed by qualitatively higher rates of production and population growth. It is to note that for the first time in the history of the mankind the rates of economic developments began to constantly outpace the population growth [4, p. 22]. It meant considerable and consecutive increase in people's well-being. If from the beginning of the Common Era and till first industrial revolution and era of modern economic growth (i.e. from 1 A.D. till years 1820s) world GDP per capita had increased, in accordance with known estimations, by 1,4 times, then from 1820 till the beginning of the 21st century it has increased by more than 9 times [3, pp. 576–577].

Quantitative analysis shows meaningful relationship between the development of the railway network and the economic growth in 19th and early 20th century in biggest national economies (Great Britain, France, Germany, United States and Russia) [5, 6].

Interstate analysis of modern situation also reveals significant development of the level of

economic development on the development of infrastructure of land transport (both road and railway transport) [7]. The relationship between long term economic dynamics (Kondratiev long waves) and intensity of transport innovations has been established at the example of railway transportation sector [8, 9].

Development of transport means extension of exchanges that increase well-being of participating economic actors as each exchange action results in «goods transfer from one who less appreciates them to another who more appreciates them» [10, p. 348]. Consequently, goods exchange between two economic actors results in increase of public well-being. Nobel prize winner Friedrich A. von Hayek underlined creation of new values caused by displacement of goods: «...Quantitative increase in existing stock of physical means of subsistence and amenities of life depends mostly not on visible transformation of given substances and materials into other ones, but rather on the process of their displacement, as thank to that moving their relative importance and value change!» [11, p. 161].

Besides, market exchanges conditioned by transportation activities opens opportunity for diversification and differentiation of the production, and this is a powerful factor of growth of economics and of its efficiency on the basis of the the law of comparative advantage formulated by David Ricardo [12].

2.

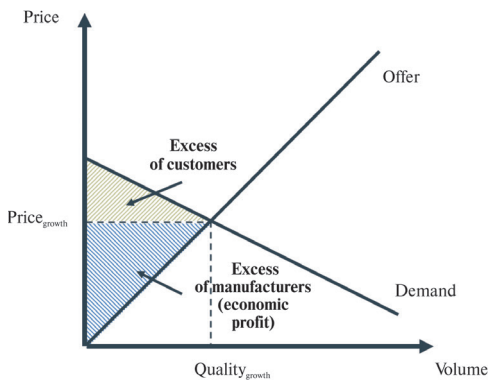
The graph model developed by the author showed that creation of new interregional transportation networks has allowed the regions to focus on those goods, for production of which they have comparative advantage, and resulted in increase in production and consumption in all the regions that participate in differentiation of production, and in decrease in prices of goods [13]. In other words, economic growth gets additional impetus, and the public well-being grows.

But well-being or wealth of people and, consequently, of societies that they constitute are not determined purely by number of goods either by volume of revenues: «...The wealth can be determined as range of customer's choice. A person perceives extension of capacity to choose as a growth of the wealth, and this extension cannot be quantitative only as in conformity with the theory of marginal utility the value of each good diminishes following increase in its number. Extension of possibility should be of qualitative character. In that very sense economic growth to some extent is qualitative extension of possibility of customer choice...» [10, p. 317].

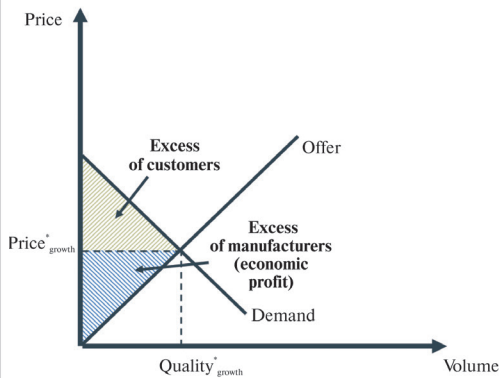
The impact of the transport on economic growth and public well-being through extension of customer

¹ Here and after – return remittance from Russian text – ed.note





Pic. 1. Regional market of a conditional good where substitute items are absent.



Pic. 2. Regional market of a conventional good where substitute items are present.

choice can be illustrated with the help of a graphic model (Pic. 1–3).

Pic. 1 shows main features (demand, offer, market-clearing price and volume) of the regional market of a conventional commodity in the case when close analog goods (substitute goods) are absent and demand is satisfied by local production. Then, thanks to organization of transportation networks, an analog (substitute) good, manufactured in another region, emerges. In order to identify the very impact of extension of customer choice on the level of well-being, let's agree that the schedule of offer of substitute good fully coincides with the schedule of offer of the original good (the situation when an imported good, even taking into account transportation costs, is offered at the exactly the same price as the price of local product is a plausible assumption, as manufacturing of items focused on their wide distribution in different regions is followed by the scale effect, that allows to sell them even cheaper than goods of local manufacturers who are focused on local markets only).

Let's suppose that qualitative features of a substitute item don't differ too much from the features of an original product, their differences depend rather on taste-based option, and so some customers will switch over to substitute good, other will remain loyal to the usual product, and some will combine purchases of original and substitute goods (to diversify their needs). Let's assume that such a choice will result in equal distribution of demand rate between

traditional item and a substitute item at each price level. It means that the graphs of demand regarding traditional item and substitute item will be identical and will have angle of inclination towards horizontal axle that will be twice larger than the angle at the initial graph of the demand regarding original item.

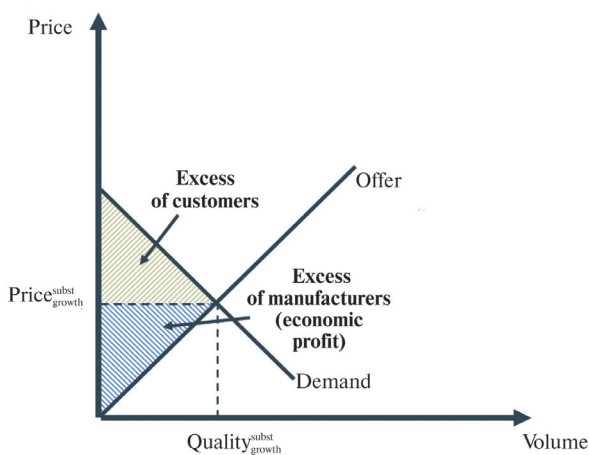
So organization of transportation facilities in a considered region will result in development of the markets of two analog items with the same parameters (Pic. 2 and 3). The impact of transportation on the level of well-being will be determined only by the emergence of possibility for customers to opt for one of two similar products offered at the same prices. This impact is illustrated by comparison of the Pic. 1 with Pic. 2 and 3. Market-clearing price of each of two items will be lower than the price of the original item in the absence of substituting goods, and the total volume of consumption of both items will be higher than the volume of consumption of the original item in the absence of substituting goods. In that situation total customer excess considerably grows and customers will be uniquely in a winning position, the well-being of customers being finally main indicator of economic progress [14, p. 233].

3.

Total excess of manufacturers (that can be considered as economic profit) grows slightly and is distributed equally between local manufacturers of original item and manufacturers of a substitute good originated from another region. If we consider production volumes of the original item for the needs of a local region, relevant revenues and economic profitability for local manufacturers, they considerably decrease. But those losses can be considered as a damage to regional economics only in the case when one use four centuries old merchant doctrines (it should be nevertheless noted that they are still alive). First, local manufacturers can use developed transportation facilities to forward their products to other regions (if only they can provide for their competitiveness), that will not cause reduction but will result in growing production volumes, profits and revenues. Second, less competitive manufacturers should either reduce costs (and that is always positive for economic growth and increase in public well-being), or, if they fail, should leave the market. In the last case labor and material resources, previously used for manufacturing of an item that turned to be ineffective in the market, will be refocused on the other needs, more demanded by customers.

The described model reveals important positive impact of emergence on the market, thanks to transportation developments, of a single alternative item with the same features that the traditional item possessed. The real life that is enormously richer than any model, and many thousands of new goods with very different price and qualitative features entered the markets thanks to transport contribution. This is one of the most important constituent elements of economic growth and increasing well-being over the world. Diversification of lists of offered goods and of customer options have continued since high antiquity and the continuation of that process into the future will guarantee that transportation services will be in high demand [15].

As far as passenger transportation is concerned, it also contributes to the extension of customer choice, particularly in the sphere of services



Pic. 3. Regional market of a substitute item.

(education and training, health, recreation), thus positively affecting increasing public well-being and economic growth [16]. On the whole developments in transport sphere extends for «most people their capacity to choose and to develop the quality of their own life» [10, pp. 343–344], and this is a key aspect of human well-being.

Finally, developments of transport and exchanges, by facilitating distribution of products of efficient innovative enterprises, of new technology and fast travelling of persons possessing high knowledge and competence, «reduces costs of inventions and innovations, thus in turn increasing the wealth of the society» [10, p. 346]. E.g. growth of common well-being is explained by the fact that transportation resources provide mutually beneficial exchange of goods and services in the enlarged markets, extend opportunity to diversify and differentiate production and to implement the law of comparative advantage, accelerate diffusion of innovation, and give impetus to creative searching of new quality of life.

REFERENCES

1. Macheret, Dmitry A. Transport Factor in the Era of Ancient Civilizations. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 2, pp. 230–241.
2. Macheret, Dmitry A. Socio-Economic Role of Transport in the Middle Ages. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 2, pp. 228–237.
3. Maddison, Angus. *Contours of the World Economy 1–2030 AD: Essays in Macro-Economic History*. [Russian edition]. Moscow, Gaidar Institute Publ., 2012, 584 p.
4. Gaidar, E. T. Long time. Russia in the world: essays in history of economics [*Dolgoe vremia. Rossiya v mire: ocherki ekonomicheskoy istorii*]. Moscow, Delo publ., 2005, 656 p.
5. Macheret, Dmitry A. Creation of Railway Network and Economic Growth. *World of Transport and Transportation*, Vol. 11, 2011, Iss. 1, pp. 164–169.
6. Macheret, Dmitry A. Creation of Railway Network and Acceleration of Development of Russia. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 4, pp. 184–192.
7. Macheret, D. A., Ryshkov, A. V., Beloglazov, A. Yu., Zakharov, K. V. Macroeconomic assessment of the development of transport infrastructure [*Makro-ekonomicheskaya otsenka razvitiya transportnoy infrastruktury*]. *Vestnik VNIIZhT*, 2010, № 5, pp. 3–10.
8. Izmaikova, Anastasia V. Waves of Railway Innovative Development. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 5, pp. 26–38.
9. Macheret, Dmitry A., Izmaikova, Anastasia V. Economic role of innovation in long term development of railways [*Ekonomicheskaya rol' innovatsiy v dolgosrochnom razvitiy zheleznodorozhnogo transporta*]. Moscow, MIIT University publ., 2016, 162 p.
10. Rosenberg, Nathan, Birdzell, L. E. How the West Grew Rich: The Economic Transformation Of The Industrial World [Russian edition: *Kak zapad stal bogatym: ekonomicheskoe preobrazovanie industrialnogo mira*]. Moscow, Chelyabinsk, Socium, IRISEN publ., 2015, 448 p.
11. Hayek, F. A. The Fatal Conceit. The Errors of Socialism [Russian edition: *Pagubnaya samonadeyannost'. Oshibki socializma*]. Moscow, Novosti publ., 1992, 304 p.
12. Ricardo, David. The principles of political economy and taxation. Selected works [*Nachala politicheskoy ekonomiki i nalogovogo oblozheniya. Izbrannoye*]. Moscow, Eksmo publ., 2009, 960 p.
13. Macheret, Dmitry A. Out of Pierre's pocket into Jacques' one. *World of Transport and Transportation*, Vol. 2, 2003, Iss. 2, pp. 12–22.
14. Mokyry, Joel. The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress [Russian edition]. Moscow, Gaidar Institute publ., 2014, 504 p.
15. Macheret, Dmitry A. The Future of Transport in the Context of Mega-economic Changes. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 6, pp. 6–13.
16. Macheret, Dmitry A. Strategic Prospects for the Growth of Railway Transportation in Russia with the account for World Trends [*Strategicheskiye perspektivy rosta zheleznodorozhnykh perezovozok v Rossiyyi s uchetom mirovykh tenentsiy*]. *Ekonomika zheleznnykh dorog*, 2017, № 6, pp. 13–22.

Information about the author:

Macheret, Dmitry A. – D.Sc. (Economics), professor, head of the department of the economics of transport infrastructure and construction business management, Russian University of Transport, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

Article received 09.08.2017, accepted 21.10.2017.





Анализ компонентов стоимости строительной продукции



Вячеслав СОЛОВЬЁВ

Vyacheslav V. SOLOVYOV

Analysis of Components of the Cost of Construction Products

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 113)

Существующая ситуация в системе сметного ценообразования определяет необходимость поиска методов оценки точности нормативов и их соответствия фактическим затратам. В статье рассмотрены вопросы функционального анализа коррекций в структуре сметной стоимости строительной продукции, происходящих вследствие изменения требований системы сметного нормирования. Предложены методические подходы к определению функционального состояния затрат по видам строительства с использованием частных факторозависимых соотношений.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, строительные объекты, нормы, сметная стоимость, анализ, прибыль, накладные расходы.

Соловьёв Вячеслав Владимирович – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики строительного бизнеса и управления собственностью Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Экономическая оценка и анализ инвестиционных процессов при создании объектов транспортной инфраструктуры сопряжены с проблемами расчёта капиталовложений. Это считается одной из фундаментальных особенностей строительства [1]. Система экономических нормативов в строительной отрасли представляет собой совокупность ресурсных, стоимостных норм и поправочных величин, находящихся в сложных функциональных зависимостях от технологических процессов. Существующие сегодня научно-методические разработки в сфере сметного нормирования и ценообразования не затрагивают круг проблем, касающихся функционального анализа компонентов сметной стоимости в разрезе требований нормативной базы [2].

Целью публикуемой статьи является выявление и количественное описание происходящих изменений в системе нормативного обеспечения строительства, оценка роли косвенных сметных затрат в нормативном выражении.

Решение сопутствующих этому задач связано с изучением элементов нормативной системы – расценок, процентных

норм, коэффициентов, тарифов и индексов. Результат любого процесса переработки, корректировки нормативной базы для участников строительного бизнеса — учтённая в виде целевого индикатора величина стоимостного уточнения расценки на каждый вид строительно-монтажных работ (СМР), выраженная в процентах. Сама по себе она прежде всего мерило качественного уровня действующих нормативов. Значительный процент уточнения, превышающий практическую точность определения сметной стоимости, свидетельствует либо об отставании учтённой нормой ресурсно-технологической модели от реально существующего процесса, либо о том, что норма использовалась применительно к определённой группе работ.

Второй случай представляет основной интерес при расчётах уточнения номенклатуры норм. Принцип усреднения, заложенный в основу ценообразования, практически никак не был подтверждён количественно, не имел законодательно установленных границ, а соответственно и научного обоснования. В советское время в качестве ориентира для разграничения двух смежных норм существовало лишь понятие точности определения сметной стоимости. Если единичная расценка обеспечивала пятипроцентную точность в части определения прямых затрат, то при пропорциональном способе расчёта накладных расходов и плановых накоплений (от суммы прямых затрат) точность сохранялась.

С введением в действие сметно-нормативной базы (СНБ) 2001 года [1] порядок расчёта накладных расходов и сметной прибыли был изменён — их величина стала определяться не всеми прямыми затратами, а лишь заработной платой. Причём нормы накладных расходов вместо дифференциации по видам строительства получили дифференциацию по видам работ. В таких условиях вопрос о разграничении смежных норм либо их объединении приобрёл гораздо большую значимость: раз непосредственная связь между составом расценки и сметы изменена, необходим иной подход — с участием строго научного экономического анализа. Наиболее остро это проявилось

при формировании территориальных сметных баз [3].

В проводимом исследовании установлена необходимость расчёта границ данного параметра, поэтому задачу рациональности разграничения смежных норм следует решать как частную, получив значения, применимые для отдельных случаев нормирования, не связанных с расчётом целевого индикатора. Это позволит в процессе разработки норм и расценок оперативно судить о разделении или объединении норм, опираясь на предельные значения индикатора. При расчёте же индикатора можно использовать предельные значения для оценки достаточности проведённого уточнения, либо в прогнозном расчёте — для оценки предельного экономического эффекта.

* * *

Предельные значения стоимостного уточнения расценки (особенно укрупнённой) находятся на основе требований действующей нормативной базы в части начисления накладных расходов и сметной прибыли [4]. Согласно МДС 81–25.2001 сметная прибыль определяется с использованием:

- общеотраслевых нормативов, устанавливаемых для всех исполнителей работ;
- нормативов по видам строительно-монтажных работ;
- индивидуальной нормы (в отдельных случаях) для конкретной подрядной организации.

Решение по выбору варианта исчисления величины сметной прибыли предоставляется инвестору и подрядчику на равноправной основе.

При определении сметной стоимости строительно-монтажных работ общеотраслевой норматив сметной прибыли составляет 65 % к величине средств на оплату труда рабочих (строителей и механизаторов) и используется для выполнения общеэкономических расчётов в инвестиционной сфере. Он же может быть использован при макрооценке нормативного обеспечения строительной отрасли. Он же в составе сметной стоимости ремонтно-строительных работ принимается равным 50 % к величине средств на



оплату труда рабочих. Кроме того, общепромышленные нормативы сметной прибыли рекомендуется применять для разработки инвесторских смет, технико-экономического обоснования проектов и определения начальной цены предмета конкурса при проведении подрядных торгов.

Поскольку по согласованию между заказчиком-застройщиком и подрядчиком нормативы сметной прибыли допустимо применять на стадии подготовки рабочей документации и при расчётах за выполненные работы, то анализ статистических данных по завершённым объектам может выполняться с учётом среднеотраслевого показателя. В то же время анализ уровня затрат в отдельных расценках путём сопоставления нормативных затрат с фактической стоимостью работ требует применения нормативов сметной прибыли по видам СМР, поскольку при определении сметной стоимости на стадии подготовки документации и расчётов за выполненный труд применяются нормативы сметной прибыли по видам строительных и монтажных работ.

Для определения стоимости строительства на различных стадиях инвестиционного процесса МДС 81–33.2004 рекомендует использовать систему норм накладных расходов, которые по своему функциональному назначению и масштабу применения подразделяются на следующие уровни:

- укрупнённые нормативы по основным видам строительства;
- нормативы по видам строительных, монтажных и ремонтно-строительных работ;
- индивидуальные нормы для конкретной строительной-монтажной или ремонтно-строительной организации.

Также в нормативный документ введена среднеотраслевая структура накладных расходов, применимая при обобщённом стоимостном анализе, в том числе возможной оценке и самой нормативной системы.

При рассмотрении аспекта нормативного обеспечения ценообразования в части расчёта величин сметной прибыли и накладных расходов следует учесть:

- установлена иерархия норм – двухступенчатая система показателей на из-

мерители комплексных процессов и рабочих процессов;

- дана принципиальная возможность учёта фирменного фактора в организации строительства, выраженная в индивидуальных нормах;

- расширен круг применения именно утверждаемых методических документов для задач инвесторской оценки проектов и научных исследований.

Процессы нормативного и методического обеспечения ценообразования протекают отнюдь не синхронно. При этом требования к порядку расчёта сметной стоимости и отдельных её составляющих могут меняться достаточно основательно в определённые моменты времени, что можно продемонстрировать на примере введения СНБ-2001. Тогда изменился порядок учёта накладных расходов и сметной прибыли, стоимости и состава материалов в расценках и затрат на их доставку. Изменения коснулись и прочих статей в составе сводного сметного расчёта.

Содержание норм и расценок, если абстрагироваться от ценового фактора, в целом по нормативной системе меняется постепенно. Разработка технологических карт, нормалей, проведение наблюдений, создание элементных норм – все эти процессы весьма затратные и длительные, занимают годы даже для отдельно взятых сборников. Поэтому с течением времени возникают скачкообразные изменения, разрывы в цепи сопоставления затрат на строительство, обусловленные сменой методической основы ценообразования. Позднее происходит «сглаживание» возникшей разницы. Подрядные и проектные организации приспособляют собственные методы и технологии составления ПОС и смет, адаптируют финансово-хозяйственную деятельность под изменившуюся структуру сметной стоимости, и в результате в какой-то момент структура общих издержек под влиянием фактора ценообразования приобретает иной вид и другие пропорции.

По сути, можно различить два характерных временных периода в системе методического и нормативного обеспечения строительства.

**Расчёт единовременного изменения сметной стоимости
под действием нормативно-методического фактора**

Вид строительства и СМР	Нормы СНБ-1984			Нормы СНБ-2001			Доля заработной платы в составе ПЗ	гр. 4/ гр. 7
	НР, %	СП, %	$K_{\text{Х1}}$	НР, %	СП, %	$K_{\text{Х1}}$		
Железнодорожное строительство	17	8	1,26	114	65	1,36	0,20	0,93
Земляные механизированные работы				95	50	1,29		0,98
Монолитные фундаменты				105	65	1,34		0,94
Сборные железобетонные каркасы				130	85	1,43		0,88
Кирпичные стены				122	65	1,37		0,92
Наружная отделка				105	55	1,32		0,95
Теплоснабжение				130	89	1,44		0,86
Озеленение				115	90	1,41		0,89

Пассивный – отличается неизменностью методических условий и законодательных ограничений в сфере ценообразования. При этом система нормативного обеспечения естественным образом изменяется, перерабатываются отдельные нормы, исправляются ошибки в базе, что имеет своей целью приближение нормативных значений (следовательно, и величины сметных затрат) к показателям действующих в строительном производстве нормативов.

Активный – в этот период происходит резкое изменение норм законодательного регулирования строительства, необязательно только в части определения сметной стоимости. В качестве примеров можно привести требования по страхованию строительных рисков, правилам организации работ и доставки строительных грузов в крупных городских агломерациях, испытанию и сертификации строительных материалов, коррекции налоговой нагрузки для физических лиц и организаций. Эти единовременные изменения возникают периодически (вернее будет написать: непредсказуемо), предопределяя систему общественных издержек производства. Однако для строительства характерным событием наступления активного периода является изменение сметно-методических требований, часто приуроченное к введению новой сметно-нормативной базы.

Резкое единовременное изменение условий расчёта естественным образом при-

водит к изменению показателей сметной стоимости работ, приближая или, наоборот, отдаляя расчётные значения стоимости от реальных, обусловленных статистически обоснованной нормалью процесса.

Некоторые изменения в нормативном обеспечении строительства способны приводить к скачкообразному снижению стоимости строительства. Один из таких примеров – индексация стоимости ресурсов, производимая на федеральном, региональном и отраслевом уровнях. Используемые при этом методики [5] не гарантируют точности индексации цен в пределах требований рынка к функционированию подрядных организаций.

Если в СНБ-1984 и ранее порядок косвенного определения затрат был основан на применении процентных нормативов к величине прямых затрат, то с введением в действие МДС 81–33.2004 базой для расчёта стала сметная заработная плата рабочих и машинистов. Изменились и сами процентные нормы с дифференциацией по видам строительства. Применяя среднотраслевые показатели долей заработной платы в составе прямых затрат, можно найти величину единовременного скачка сметной стоимости от изменения нормативно-методических условий (таблица 1). Для этого следует определиться с номенклатурой норм. Соответственно были рассмотрены железнодорожное строительство и возведение промышленных зданий, которые могут быть представлены как в составе же-



лезнодорожных строек, так и в отдельности, при сооружении депо, вокзалов, постов электрической централизации (ЭЦ).

Для количественного описания фактора x_1 были использованы линейные уравнения сметной стоимости СМР в разных смежных нормативных базах:

$$C_{СМР}^{84} = ПЗ^{84} \cdot K_{x_1}, \quad (1)$$

$$C_{СМР}^{01} = ПЗ^{01} \cdot K_{x_1}, \quad (2)$$

где $ПЗ^{84}$, $ПЗ^{01}$ – величина прямых затрат, исчисляемая по требованиям сметных норм смежных нормативных баз – СНБ-1984 и СНБ-2001;

K_{x_1} , K_{x_1}' – коэффициенты, учитывающие начисление накладных расходов и сметной прибыли по методическим требованиям СНБ-1984 и СНБ-2001.

$$K_{x_1} = \left(1 + \frac{HP^{84}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{СП^{84}}{100}\right), \quad (3)$$

$$K_{x_1}' = 1 + D_{от} \frac{HP^{01} + СП^{01}}{100}, \quad (4)$$

где HP и $СП$ – нормы накладных расходов и сметной прибыли; $D_{от}$ – доля оплаты труда рабочих в прямых затратах.

Как видно из таблицы 1, в результате единомоментного изменения порядка начисления накладных затрат и сметной прибыли для каждого вида работ произошло изменение их величины на $\Delta K_{x_1} = K_{x_1}' - K_{x_1}$, что объясняет относительное изменение сметной стоимости СМР (в графе 9).

Учитывая это, сметная стоимость строительства может быть определена уравнением

$$C_{стр} = C_{смр} (1 + k_y) + O_{бы}, \quad (5)$$

где k_y – коэффициент, учитывающий условно зависимые от сметной стоимости СМР затраты из числа затрат на оборудование, инвентарь и прочее; $O_{бы}$ – остальные затраты на оборудование, инвентарь и прочее, определяемые без условной связи со стоимостью СМР.

На основании данного метода становится возможным рассчитать количественные параметры изменения. Принимая для железнодорожного строительства $k_y = 0,61$ и $O_{бы} = \text{const}$ для случая изменения нормативных требований к накладным расходам и сметной прибыли для условной стройки, подставляя их в (5), получим:

$$C_{стр} = 1,61 C_{смр} + \text{const}. \quad (6)$$

Это даёт возможность определить некоторые параметры частной стоимостной модели. Рационально ограничить количество вычислений наиболее значимыми видами работ для транспортного строительства. Так, при строительстве новой железной дороги за редким исключением (в равнинной местности при хороших геолитологических условиях) значимыми являются объекты сооружаемого земляного полотна на перегонах и станциях. Принимая величину $\Delta K_{x_1} = K_{x_1}' - K_{x_1}$ за количественное значение фактора x_1 , можно описать изменение функции сметной стоимости строительства (т.е. величины инвестиционных затрат) от воздействия нормативной среды $\Delta F_{Сстр}(x_1)$ в условиях пренебрежительного малого отрезка времени $t \rightarrow 0$. При линейном характере нормативно задаваемой функции величины сметных затрат (моделью сметной стоимости строительства) определение искомого изменения функции будет связано с выражением:

$$\Delta F_{Сстр}(x_1) = F_{Сстр}(x_1) - F_{Сстр}(x_1'), \quad (7)$$

где x_1' – новое значение нормативно-методического фактора x_1 .

Подставляя (3) и (4) в соотношение (7) и сокращая неизменяющую часть, имеем:

$$\Delta F_{смп}(x_1) = \left[\left(\frac{HP^{84}}{100} + 1 \right) \cdot \left(\frac{СП^{84}}{100} \right) \cdot \left(ПЗ - ПЗ \cdot D_{от} \left(\frac{HP^{01} + СП^{01}}{100} \right) \right) \right] \cdot 1,61$$

Или представив выражение в квадратных скобках за аргумент A_1 и вынеся прямые затраты, определяемые неизменной нормативной базой при $t \rightarrow 0$, получаем:

$$\Delta F_{Сстр}(x_1) = 1,61 \cdot ПЗ \cdot A_1. \quad (8)$$

В рассмотренном примере для железнодорожного строительства в целом $A_1 = 1,26 - 1,36 = -0,10$, т.е. $\Delta F_{Сстр}(x_1) = -1,61 \cdot ПЗ \cdot 0,10 = -0,161 \cdot ПЗ$, а для работ по устройству сетей теплоснабжения (для которых значение в последней графе наименьшее) $A_1 = 1,26 - 1,44 = -0,18$, т.е. $\Delta F_{Сстр}(x_1) = 1,61 \cdot ПЗ \cdot 0,18 = -0,290 \cdot ПЗ$. В то же самое время для работ, имеющих наиболее существенное значение в линейном железнодорожном строительстве – земляных: $A_1 = 1,26 - 1,29 = -0,03$, то есть $\Delta F_{Сстр}(x_1) = -1,61 \cdot ПЗ \cdot 0,03 = -0,048 \cdot ПЗ$.

Примеры взаимосвязанных компонентов функции сметной стоимости строительства

{C _n }	{A _n }
Цена импортных строительных материалов, франко-таможня	Изменения в таможенном законодательстве
Амортизационные отчисления в составе цены машино-часа	То же
То же	Изменения норм амортизации по амортизационным группам
Условно-постоянные затраты в продукции подсобного производства	То же
То же	Изменения правил Госгортехнадзора для подъёмного оборудования промпредприятий
Цена отечественных строительных материалов, франко-склад поставщика	То же

Таким путём можно проанализировать любую выборку. В том числе составляя модели строительства различных объектов со статистически обоснованными распределениями затрат. При переходе на СНБ-2001 в отраслевых печатных изданиях, на конференциях и семинарах по ценообразованию поднимались вопросы о том, что стоимость того или иного вида строительства (группы объектов) стала ниже или выше, чем прежде [6]. Появились претензии производственного сообщества к разработчикам методической и нормативной системы.

Чаще всего проводилось сопоставление смет, составленных в двух смежных базах, на аналогичные объекты. Однако не учитывался факт, что для строительства, особенно транспортного, определение сметной стоимости зависит не только от конструктивного очертания сооружения и объёмов работ, но и от организационных условий, местных особенностей строительства. При этом простое сопоставление сметной стоимости не открывало причины изменений. Другой крайностью стало частное исследование величин расценок и норм в отрыве от совокупной картины их применения. Например, снижение тарифных ставок рабочих могло компенсироваться увеличением норм накладных расходов, учёт схем доставки в закрытых расценках — отпускными ценами на материалы и т.д. Это не давало ответа на вопрос о связи причин и следствий, когда дело касалось изменения сметных затрат на строительство.

Предлагаемый метод свободен от недостатков практического, «ремеслен-

ного» подхода к оценке последствий ротаций сметно-нормативных баз и тому подобных единовременных изменений нормативных требований. Представление частных изменений стоимостной системы в виде $\Delta F_{\text{сстр}}(x_1)$ с описанием зависимостей по отдельным факторам влияния x_1 через нормативное описание компонентов сметной стоимости позволяет свести исследование к заранее определённым задачам. В качестве параметров влияния в таких исследовательских задачах можно предложить следующие:

- нормы накладных расходов, сметной прибыли, затрат на временные здания и сооружения, зимних удорожаний;
- нормативные требования к структуре сметного фонда оплаты труда рабочих и оплаты труда административного персонала;
- налоговое законодательство (социальные отчисления, НДФЛ, налог на прибыль, налоги на основные фонды);
- квалификационные требования к исполнителям (ЕТКС) и положения трудового законодательства (ТК РФ);
- правила учёта, регистрации, других действий со строительными и транспортными машинами;
- внедрение стандартов качества ИСО и отраслевых (корпоративных) технологий управления строительным производством;
- правила учёта затрат при определении сметных цен на эксплуатацию машин;
- методические правила и требования заказчиков к замене или корректировке набора ресурсов, учитываемых единичными расценками;



- правила разработки и применения укрупнённых показателей при определении стоимости строительства;
- характер учёта затрат на доставку строительных материалов в составе расценок и смет;
- применение поправочных коэффициентов, определяемых технологическими и организационными условиями строительства;
- индексация стоимости СМР и ресурсов в расценках;
- структурные перемены в импорте продукции машиностроения и строительных материалов.

Для каждого случая набор функционалов будет определяться обстоятельствами происходящих изменений в системе нормативного обеспечения и экономической среде.

Формула (8) будет справедлива для расчёта в заданный момент времени, однако следует принимать во внимание, что изменения нормативного и методического обеспечения строительства могут иметь и континуальный характер – например, при ежемесячной индексации цен на ресурсы. Тогда на значительном горизонте расчёта при учёте множества факторов x_i целесообразно представление непрерывной дифференцируемой функции:

$$F_{\text{СМР}} = F(c_1 A_1 + c_2 A_2 + \dots + c_n A_n), \quad (9)$$

в которой множество аргументов $\{A_n\}$ поэлементно связано с компонентами сметных затрат $\{c_n\}$. Примеры возможных вариантов представлены в таблице 2.

Для отрезка времени $t \in \{0 \dots \infty\}$ возможно определение интенсивности изменения стоимости строительной продукции на основе дифференциации функционала стоимости $F_{\text{СМР}} = F(c_1 A_1 + c_2 A_2 + \dots + c_n A_n)$

по времени. Анализ $\frac{dF_{\text{СМР}}}{dt}$ позволит вы-

полнить сопоставление изменений стоимости продукции строительства с динамикой макроэкономических процессов – как традиционных (инфляция, изменение структур общественных издержек при НТП), так и носящих разовый характер (дефолт, санкции).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительное число примеров, подобных рассмотренным, в системе ценообразования можно выявить и описать количественно, по крайней мере, в укрупнённом виде [7]. По масштабам такая работа должна соответствовать общегосударственной целевой программе модернизации нормативного обеспечения строительства. В настоящее время по причинам нехватки средств нет оснований ожидать включения масштабных научных исследований по проблеме в планы НИОКР профильных ведомств, однако выработать в рамках исследований научно-методический подход построения динамической модели нормативного обеспечения строительства вполне можно. Не исключено также и частное подтверждение методов с опорой на статистические данные и инвестиционные проекты.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод о существовании стоимостных «скачков», сопутствующих процессам перехода между сметно-нормативными базами, причём характер последствий этого неодинаков для различных видов строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Б. А., Соловьёв В. В. Недвижимость железнодорожного транспорта России // Недвижимость: экономика, управление. – 2013. – № 2. – С. 128–130.
2. Соловьёв В. В. Значение концепции «400 дней» для отраслевого сметного нормирования // Экономика железных дорог. – 2015. – № 5. – С. 62–69.
3. Гавриленков А. А., Соловьёв В. В., Гавриленкова С. Н. Особенности определения затрат на реконструкцию транспортной инфраструктуры Москвы // Транспортное дело России. – 2011. – № 3. – С. 76–77.
4. Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве. МДС 81–33.2004. Утверждены постановлением Госстроя России от 12.01.2004 г. № 6.
5. Методические указания по определению величины сметной прибыли в строительстве. МДС 81–25.2001. Утверждены постановлением Госстроя России от 28.02.2001 г. № 15.
6. Методика определения сметной стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации. МДС 81–35.2004 (с изменением от 20.03.2006 г.) Утверждена постановлением Госстроя России от 05.03.2004 г. № 15/1.
7. Соловьёв В. В. Отраслевые особенности определения укрупнённых показателей стоимости строительства // Экономика железных дорог. – 2016. – № 6. – С. 46–53. ●

Координаты автора: **Соловьёв В. В.** – s35681@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 30.03.2017, принята к публикации 21.05.2017.

ANALYSIS OF COMPONENTS OF THE COST OF CONSTRUCTION PRODUCTS

Solovyov, Vyacheslav V., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The existing situation in the system of estimated pricing determines the need to find methods for assessing the accuracy of standards and their compliance with actual costs. In the article the issues of the functional analysis of corrections in the structure

Keywords: transport infrastructure, construction objects, norms, estimated cost, analysis, profit, overhead expenses.

Background. Economic evaluation and analysis of investment processes in creation of transport infrastructure facilities are associated with the problems of calculating capital investment. This is considered as one of the fundamental features of construction [1]. The system of economic standards in the construction industry is a set of resource, value norms and correction values that are in complex functional dependencies on technological processes. Existing scientific and methodological developments in the field of estimated valuation and pricing do not affect the range of problems related to the functional analysis of components of the estimated cost in terms of regulatory requirements [2].

The objective of the article is to identify and quantify the changes in the system of regulatory support for construction, estimate the role of indirect estimated costs in normative terms.

The solution of the accompanying tasks is connected with the study of the elements of the regulatory system – quotations, interest rates, coefficients, tariffs and indices. The result of any processing, adjusting the regulatory base for the participants in the construction business is the value of the cost adjustment of the price for each type of construction and installation work (CIW), expressed as a percentage, taken into account in the form of a target indicator. Per se it primarily measures the qualitative level of existing standards. A significant percentage of refinement, exceeding practical accuracy of determining the estimated cost, either indicates a lag in the resource-technology model that was taken into account by the actual process, or that the norm was used in relation to a certain range of work.

The second case is of primary interest in calculating the specification of the nomenclature of norms. The principle of averaging, which was the basis of pricing, was practically not confirmed in any way quantitatively, had no legislatively established boundaries, and, accordingly, a scientific justification. In the Soviet era, as a guide for distinguishing two adjacent norms, there was only the concept of accuracy of determining the estimated cost. If the unit cost provided 5 % accuracy in terms of determining direct costs, then with the proportional method of calculating overhead expenses and planned savings (from the amount of direct costs), accuracy was maintained.

With the introduction of the 2001 estimated-normative base (SNB) [1], the procedure for calculating overhead expenses and estimated profits has been changed – their magnitude has not been determined by all direct costs, but only by wages. Moreover, the norms of overhead costs, instead of differentiation by type of construction, have differentiated by type of work. In such

of the estimated cost of construction products that occur due to changes in the requirements of the system of estimated valuations are considered. Methodical approaches to determination of the functional state of expenditures by types of construction using private factor-dependent relationships are proposed.

circumstances, the issue of delimitation of related norms or their unification has acquired a much greater significance: once the direct link between the composition of the price and the estimate has been changed, a different approach is needed, involving strictly scientific economic analysis. This was most acutely manifested in the formation of territorial estimate bases [3].

In our study, we have established the necessity of calculating the boundaries of a given parameter, so the problem of rationality of delimiting adjacent norms should be solved as a private one, having values that are applicable for individual cases of rationing that are not related to the calculation of the target indicator. This will allow, in the process of developing norms and rates, to judge operatively the division or combination of norms, based on the limiting values of the indicator. When calculating the indicator, it is possible to use limit values to assess the adequacy of the refinement carried out, or in the forecast calculation – to estimate the marginal economic effect.

Objective. The objective of the author is to consider the issue of analysis of components of the cost of construction products.

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

Results.

Limit values of the cost specification of the price (especially aggregated) are based on the requirements of the current regulatory framework in terms of charging overhead expenses and estimated profit [4]. According to MDS81–25.2001, the estimated profit is determined using:

- industry-wide standards established for all contractors;
- specifications for types of construction and installation work;
- individual norms (in some cases) for a particular contractor organization.

The decision on the choice of the calculation of the amount of the estimated profit is provided to the investor and the contractor on an equal basis.

When determining the estimated cost of construction and installation works, the industry-wide standard of the estimated profit is 65 % of the amount of means for remuneration of labor of workers (builders and machine operators) and is used to perform general economic calculations in the investment sphere. It can also be used for macro-assessment of regulatory support for the construction industry. As a part of the estimated cost of repair and construction work it is taken equal to 50 % of the amount of funds for remuneration of labor of workers. In addition, industry-wide standards of estimated profit are recommended to





be applied for development of investment estimates, feasibility studies of projects and determining the initial price of the subject of the tender for the conduct of contract auctions.

Since by agreement between the customer-builder and the contractor the standards of the estimated profit can be applied at the stage of preparation of the working documentation and in calculations for the performed work, the analysis of statistical data on completed objects can be carried out taking into account the industry average index. At the same time, the analysis of the level of costs in certain prices by comparing the standard costs with the actual cost of work requires the application of standards for the estimated profit by types of construction and installation work, since in determining the estimated cost at the stage of preparation of documentation and calculations for the work performed, the standards of estimated profit by types of construction and installation works.

To determine the cost of construction at various stages of the investment process, MDS81–33.2004 recommends the use of a system of norms for overhead expenses that, according to their functional purpose and scope of application, are divided into the following levels:

- enlarged standards for the main types of construction;
- specifications for types of construction, installation and repair and construction work;
- individual standards for a particular construction, installation or repair and construction organization.

Also, the normative document introduces an average branch structure of overhead expenses that is applicable to generalized cost analysis, including a possible evaluation of the regulatory system itself.

When considering the aspect of normative provision of pricing in terms of calculating the values of the estimated profit and overhead costs, it is necessary to take into account:

- hierarchy of norms – a two-level system of indicators for measuring complex processes and work processes is established;

- the principal possibility of taking into account the corporate factor in the organization of construction, expressed in individual norms, is given;

- the scope of application of approved methodological documents for the tasks of investor project evaluation and scientific research is expanded.

The processes of normative and methodological support of pricing are not synchronous at all. In this case, the requirements for the procedure for calculating the estimated cost and its individual components can change quite thoroughly at certain points in time, which can be demonstrated by the introduction of SNB-2001. Then the order of accounting for overhead costs and estimated profit, the cost and composition of materials in the pricing and the cost of their delivery changed. Changes have also affected other items in the consolidated estimate.

The content of norms and quotations, if abstracted from the price factor, in general by the regulatory system changes gradually. Development of technological maps, normals, observation, creation of elemental norms – all these processes are very time-consuming and long, take years, even for individual collections. Therefore, over time, jumps occur, gaps in the chain of comparison of construction costs, caused by a change in the methodological basis of pricing. Later there is a «smoothing:» of the difference. Contracting and design organizations adapt their own methods and technologies for compiling POK and estimates, adapt financial and economic activities to the changed structure of the estimated cost, and as a result, at some point, the structure of public costs under the influence of the pricing factor takes on a different form and other proportions.

In fact, it is possible to distinguish two characteristic time periods in the system of

Table 1

Calculation of a one-time change in the estimated cost under the influence of the regulatory methodical factor

Type of construction and CIW	Norms of SNB-1984			Norms of SNB-2001			Share of wages in DC	gr. 4/gr. 7
	DC, %	EP, %	K _{x1}	OE, %	EP, %	K _{x1'}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Railway construction	17	8	1,26	114	65	1,36	0,20	0,93
Earth mechanized works				95	50	1,29		0,98
Monolithic foundations				105	65	1,34		0,94
Prefabricated reinforced concrete frames				130	85	1,43		0,88
Brick walls				122	65	1,37		0,92
Exterior finish				105	55	1,32		0,95
Heat supply				130	89	1,44		0,86
Landscaping				115	90	1,41		0,89

methodical and normative provision of construction.

Passive – is characterized by the invariability of methodological conditions and legislative restrictions in the field of pricing. At the same time, the regulatory support system naturally changes, individual norms are processed, errors in the database are corrected, which is aimed at approximating the normative values (hence, the estimated costs) to the indices of the normals in construction.

Active – during this period there is a sharp change in the norms of legislative regulation of construction, not necessarily only in terms of determining the estimated cost. Examples include building risk insurance, organization of work and delivery of construction materials in large urban agglomerations, testing and certification of building materials, and correcting the tax burden for individuals and organizations. These non-recurring changes occur periodically (or rather write: unpredictably), predetermining the system of social production costs. However, for construction, a characteristic event of the onset of the active period is a change in the estimates and methodological requirements, often confined to the introduction of a new estimate and regulatory framework.

A sharp one-time change in the terms of the calculation naturally leads to a change in the estimates of the estimated cost of work, approximating or, conversely, deviating the calculated values of cost from the real ones, conditioned by a statistically grounded process normal.

Some changes in the regulatory provision of construction can lead to a spasmodic reduction in the cost of construction. One such example is the indexation of the cost of resources produced at the federal, regional and sectoral levels. The methods used in this [5] do not guarantee the accuracy of price indexation within the limits of market requirements for the functioning of contracting organizations.

If in SNB-1984 and earlier the order of indirect determination of costs was based on the application of interest rates to the amount of direct costs, then with the introduction of MDS81–33.2004, the

estimated wages of workers and machinists became the basis for the calculation. Percentage have also changed, with differentiation by type of construction. Applying the industry-average indicators of wage shares as part of direct costs, one can find the magnitude of a one-time jump in the estimated cost from a change in the regulatory and methodological conditions (Table 1). For this it is necessary to determine the nomenclature of norms. Correspondingly, railway construction and construction of industrial buildings were considered, which can be represented both as part of railway construction projects, and separately, in the construction of depots, stations, EC posts.

For the quantitative description of the factor x_{11} , linear equations of the estimated cost of CIW were used in various adjacent normative bases:

$$C_{CIW}^{84} = DC^{84} * K_{x1'} \tag{1}$$

$$C_{CIW}^{01} = DC^{01} * K_{x1''} \tag{2}$$

where DC^{84} , DC^{01} – the amount of direct costs, calculated in accordance with the requirements of the estimated norms of adjacent regulatory bases – SNB-1984 and SNB-2001;

$K_{x1'}$, $K_{x1''}$ – coefficients that take into account the accrual of overhead expenses and estimated profit according to the methodological requirements of SNB-1984 and SNB-2001.

$$K_{x1} = \left(1 + \frac{OE^{84}}{100}\right) * \left(1 + \frac{EP^{84}}{100}\right) \tag{3}$$

$$K_{x1'} = 1 + D_{rL} * \frac{OE^{01} + EP^{01}}{100} \tag{4}$$

where OE and EP – norms of overhead expenses and estimated profit;

D_{rL} – the share of remuneration of labor of workers in direct costs.

As can be seen from Table 1, as a result of a single-moment change in the procedure for calculating overhead expenses and estimated profit for each type of work, their value changed to $\Delta K_{x1} = K_{x1'} - K_{x1}$, which explains the relative change in the estimated cost of CIW (in column 9).

Given this, the estimated cost of construction can be determined by the equation

$$C_{constr} = C_{CIW} * (1 + k_c) + R_{wc'} \tag{5}$$



Examples of interrelated components of the estimated construction cost function

{c _n }	{A _n }
Price of imported building materials, ex-customs	Changes in customs legislation
Depreciation deductions as part of the car-hour price	The same
The same	Changes in depreciation rates for depreciation groups
Conditionally constant costs in the production of auxiliary production	The same
The same	Changes in the rules of Gosgortekhnadzor for lifting equipment of industrial enterprises
Price of domestic building materials, supplier's ex-warehouse	The same

where k_c – coefficient that takes into account the costs conventionally dependent on the estimated cost of CIW from the number of costs for equipment, inventory and so on;

R_{wc} – remaining costs for equipment, inventory and other, determined without a conditional connection with the cost of CIW.

Based on this method, it becomes possible to calculate the quantitative parameters of the change. Taking for the railway construction $k_c = 0.61$ and $R_{wc} = \text{const}$ for the case of a change in the regulatory requirements for overhead expenses and the estimated profit for conditional construction, substituting them in (5), we get:

$$C_{\text{constr}} = 1,61C_{\text{ciw}} + \text{const.} \quad (6)$$

This makes it possible to determine some parameters of the private value model. It is rational to limit the number of calculations to the most significant types of work for transport construction. Thus, in the construction of a new railway, with rare exceptions (in a flat terrain with good geolithological conditions), the objects of the erected roadbed on the hauls and stations are significant. Taking the value $\Delta K_{x1} = K_{x1} - K_{x1}$ for the quantitative value of the factor x_1 , it is possible to describe the change in the function of the estimated construction cost (i.e., investment costs) from the action of the normative medium $\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1)$ under the conditions of a negligible small time interval $t \rightarrow 0$. With the linear character of the normatively given function of the estimated costs (a model of the estimated cost of construction), the definition of the desired change in the function will be related to the expression:

$$\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1) = F_{\text{Cconstr}}(x_1) - F_{\text{Cconstr}}(x_1), \quad (7)$$

where x_1 – new value of the regulatory methodical factor x_1 .

Substituting (3) and (4) in relation (7) and reducing the unchanged part, we have:

$$\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1) = \left[\left(\frac{OE^{84}}{100} + 1 \right) \cdot \left(\frac{EP^{84}}{100} \right) \cdot DC - \right. \\ \left. DC \cdot D_L \left(\frac{OE^{01} + EP^{01}}{100} \right) \right] \cdot 1,61$$

Or, by presenting the expression in square brackets as argument A_1 , and taking out the direct costs determined by the unchanged normative base as $t \rightarrow 0$, we get:

$$\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1) = 1,61 \cdot DC \cdot A_1. \quad (8)$$

In the considered example for railway construction in general $A_1 = 1,26 - 1,36 = -0,10$, i.e. $\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1) = -1,61 \cdot DC \cdot 0,10 = -0,161 \cdot DC$, and for works on the

construction of heat supply networks (for which the value in the last column is the smallest), $A_1 = 1,26 - 1,44 = -0,18$, i.e. $\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1) = 1,61 \cdot DC \cdot 0,18 = -0,290 \cdot DC$. At the same time, for works of the most significant importance in linear railway construction – earthwork: $A_1 = 1,26 - 1,29 = -0,03$, i.e. $\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1) = -1,61 \cdot DC \cdot 0,03 = -0,048 \cdot DC$.

In this way, it is possible to analyze any sample. Including building models for the construction of various facilities with statistically justified cost allocations. When switching to the SNB-2001 in industry publications, at conferences and seminars on pricing, questions were raised about the fact that the cost of a particular type of construction (group of facilities) became lower or higher than before [6]. There were claims of the production community to the developers of the methodical and normative system.

Most often, a comparison was made of estimates compiled in two adjacent bases for similar facilities. However, the fact was not taken into account that, for construction, especially transport, the definition of the estimated value depends not only on the structural outline of the structure and the amount of work, but also on the organizational conditions and local features of the construction. However, a simple comparison of the estimated cost did not disclose the reasons for the changes. Another extreme was the private study of the values of quotations and norms in isolation from the combined picture of their application. For example, the reduction in the tariff rates of workers could be compensated by an increase in the norms of overhead expenses, accounting for delivery schemes at closed prices – selling prices for materials, etc. This did not give an answer to the question of the relationship of causes and effects when it came to changing the estimated construction costs.

The proposed method is free from the shortcomings of a practical, «handicraft» approach to assessing the consequences of rotations of estimate-normative bases and such similar one-time changes in regulatory requirements. The representation of the partial changes in the value system in the form $\Delta F_{\text{Cconstr}}(x_1)$ with the description of the dependencies on the individual factors of influence x_i through the normative description of the components of the estimated cost allows us to reduce the study to predetermined tasks. As parameters of influence in such research tasks, the following can be proposed:

- norms of overhead expenses, estimated profit, expenses for temporary buildings and structures, winter appreciation;
- regulatory requirements to the structure of the estimated fund of labor remuneration for workers and remuneration of administrative staff;

- tax legislation (social deductions, personal income tax, profit tax, taxes on fixed assets);
- qualification requirements for performers (ETCS) and the provisions of labor legislation (Russian Labor Code);
- rules for accounting, registration, other actions with construction and transport vehicles;
- implementation of ISO quality standards and industry (corporate) technologies for building production management;
- cost accounting rules for determining the estimated prices for the operation of machinery;
- methodological rules and requirements of customers to replace or adjust a set of resources accounted for by unitary rates;
- rules for development and application of aggregated indicators in determining the cost of construction;
- nature of accounting for costs of delivery of construction materials in the composition of prices and estimates;
- application of correction factors determined by technological and organizational conditions of construction;
- indexing the cost of CIW and resources in pricing;
- structural changes in the import of machinery and building materials.

For each case, the set of functionals will be determined by the circumstances of the ongoing changes in the regulatory support system and the economic environment.

Formula (8) will be valid for the calculation at a given point in time, but it should be taken into account that changes in the regulatory and methodological support of construction can have a continuum character – for example, with monthly indexation of prices for resources. Then, on a significant calculation horizon, considering the set of factors x_p , it is expedient to represent a continuous differentiable function:

$$F_{\text{Cconst}} = F(c_1 A_1 + c_2 A_2 + \dots + c_n A_n), \quad (9)$$

in which the set of arguments $\{A_n\}$ is element-wise associated with the components of the estimated costs $\{c_n\}$. Examples of possible options are shown in Table 2.

For the time interval $t \in \{0.. \infty\}$ it is possible to determine the intensity of the change in the value of construction products on the basis of differentiation of the functional of the cost

$$F_{\text{Cconst}} = F(c_1 A_1 + c_2 A_2 + \dots + c_n A_n) \text{ in time.}$$

The analysis $\frac{dF_{\text{Cconst}}}{dt}$ will make it possible to

compare the changes in the cost of construction products with the dynamics of macroeconomic processes – both traditional (inflation, changes in social cost structures in the NTP), and those that are of a one-time nature (default, sanctions).

Conclusion. A significant number of examples similar to those considered in the pricing system can be identified and described quantitatively, at least in the enlarged form [7]. In terms of scope, such work should correspond to the general federal target program for modernization of

regulatory support for construction. At the present time, for reasons of lack of funds, there is no reason to expect the inclusion of large-scale scientific research on the problem in the R&D plans of the profile agencies, however, it is entirely possible to develop a scientific-methodical approach to construct a dynamic model of regulatory support for construction. There is also the possibility of private confirmation of methods based on statistical data and investment projects.

On the basis of the studies carried out, it can be concluded that there are cost «leaps» that accompany the transition processes between estimates and regulatory databases, and the nature of the consequences of this is different for different types of construction.

REFERENCES

1. Volkov, B. A., Solovyov, V. V. The real estate of the railway transport in Russia [*Nedvizhimost' zheleznodorozhnogo transporta Rossii*]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie*, 2013, Iss. 2, pp. 128–130.
2. Solovyov, V. V. The meaning of the concept of «400 days» for the sectoral estimated rationing [*Znachenie koncepcii «400 dnei» dlja otraslevogo smetnogo normirovaniya*]. *Ekonomika zheleznih dorog*, 2015, Iss. 5, pp. 62–69.
3. Gavrilencov, A. A., Solovyov, V. V., Gavrilenkova, S. N. The specifics of determining costs for reconstruction of the transport infrastructure of Moscow [*Osobennosti opredeleniya zatrat na rekonstrukciju transportnoj infrastruktury Moskvy*]. *Transportnoe delo Rossii*, 2011, Iss. 3, pp. 76–77.
4. Methodological guidelines for determining the amount of overhead expenses in construction. MDS81–33.2004. Approved by the decision of the State Construction Committee of Russia dated 12.01.2004. No. 6 [*Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju velichiny nakladnyh rashodov v stroitel'stve*]. MDS81–33.2004. *Uverzhdeny postanovleniem Gosstroja Rossii ot 12.01.2004 g. № 6*].
5. Methodological guidelines for determining the magnitude of the estimated profit in construction. MDS81–25.2001. Approved by the resolution of the State Construction Committee of Russia of 28.02.2001 No. 15 [*Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju velichiny smetnoj pribyli v stroitel'stve*]. MDS81–25.2001. *Uverzhdeny postanovleniem Gosstroja Rossii ot 28.02.2001 g. № 15*].
6. Methods of determining the estimated cost of construction products on the territory of the Russian Federation. MDS81–35.2004 (as amended on 20.03.2006) Approved by Resolution of the State Construction Committee of Russia of 05.03.2004 No. 15/1 [*Metodika opredeleniya smetnoj stoimosti stroitel'noj produkcii na territorii Rossijskoj Federacii*]. MDS81–35.2004 (*s izmeneniem ot 20.03.2006 g.*) *Uverzhdena postanovleniem Gosstroja Rossii ot 05.03.2004 g. № 15/1*].
7. Solovyov, V. V. Industry features of determining the enlarged indicators of the cost of construction [*Otraslevye osobennosti opredeleniya ukрупnennyh pokazatelej stoimosti stroitel'stva*]. *Ekonomika zheleznih dorog*, 2016, 6, pp. 46–53. ●

Information about the author:

Solovyov, Vyacheslav V. – Ph.D. (Economics), associate professor at the department of Construction Economics and Property Management of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, s35681@yandex.ru.

Article received 30.03.2017, accepted 21.05.2017.





Макроэкономический подход к обоснованию транспортных проектов



Ольга ФРОЛОВА

Olga N. FROLOVA

Macroeconomic Approach to Justification of Transport Projects

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 125)

В статье рассматриваются подходы к обоснованию транспортных проектов в странах с развитой экономикой, приведены модели оценки, используемые при анализе инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры. Актуализированы преимущества внутреннего водного транспорта (малые издержки при перевозке навалочных грузов, низкие расходы на содержание и ремонт инфраструктуры, экологичность, безопасность) при обосновании целесообразности передачи ему части грузопотоков навалочных грузов с наземных видов транспорта. Приведены результаты расчётов мультипликативного эффекта на примере проекта развития водного транспорта в речных бассейнах европейской части России.

Ключевые слова: водный транспорт, модели оценки транспортных проектов, макроэкономическое обоснование, мультипликативный эффект.

Фролова Ольга Николаевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, Россия.

Страны с развитой экономикой обладают богатым опытом в области методологии оценки крупномасштабных транспортных проектов, мегапроектов в области транспортной инфраструктуры. В работе К. П. Глушенко приводятся ссылки на методические подходы, применяемые прежде всего в странах ЕС, по оценке эффективности крупных инвестиционных проектов и говорится о том, что предложения по их развитию основаны на результатах анализа, проведённого авторитетными исследовательскими группами [3, с. 93]. Он уверен: отечественные оценки эффективности крупных инвестиционных проектов должны опираться на опыт развитых стран.

МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ

Исследователями PricewaterhouseCoopers (PwC) были проанализированы решения пяти ведущих стран – Великобритании, Австралии, Японии, Швеции, Канады в области транспортных проектов, механизмов инвестирования, применения моделей количественной и качественной оценки. Обобщённые в исследовании [5, с. 9] и структурно пред-

Модели оценки, используемые при анализе инвестиционных проектов по развитию транспортной инфраструктуры

№	Модель оценки	Суть модели	Модель наиболее эффективна при следующих условиях
1.	Анализ экономической эффективности (соотношение затрат и выгод)	Модель основана на расчётах затрат и выгод, это позволяет оценить, как проект отразится на интересах общества и экономики	1. Учитываются экономические издержки и выгоды для всего населения, а не только заинтересованной стороны. 2. Обеспечивается оптимальное соотношение между затратами и выгодами на уровне финансов, экономики, социальной сферы и охраны окружающей среды. 3. Проводится сравнительный анализ издержек и выгод по различным моделям, сценариям привлечения капитала, стратегиям управления проектом.
2.	Анализ на основе множественных критериев	Модель основана на сопоставлении различных вариантов реализации проекта с точки зрения достижения поставленных целей и применения измеримых критериев	1. Поставленные цели выходят за рамки экономических и финансовых задач и включают в себя такие вопросы, как безопасность, доступность, экологичность. 2. Сложно дать количественную оценку основных преимуществ и выгод. 3. Налажено взаимодействие с заинтересованными сторонами, совместно разрабатываются критерии и чётко распределяется ответственность за конечные результаты.
3.	Анализ экономического воздействия	Модель основана на оценке, как проект отразится на жизни населения и деятельности компании в своём регионе с экономической точки зрения	1. Анализируется степень и характер экономического воздействия и его специфика на уровне регионов. 2. Оценивается влияние проекта на основные экономические показатели: ВВП, реальное потребление, доходы, инвестиции, занятость населения, поступления в гос. бюджет, процентные ставки, обменный курс, условия сделки. 3. Анализ выполняется с использованием программы компьютерного моделирования.
4.	Анализ эффективности затрат	Модель основана на оценке преимуществ от реализации проекта не в денежном выражении, а в других показателях, например, общественной пользы	1. Сложно дать количественную оценку выгоды. 2. Оцениваются аналогичные варианты решения задач.

ставленные в таблице 1 модели включают анализ экономической эффективности (затраты и выгоды), анализ на основе множественных критериев, анализ экономического воздействия, анализ эффективности затрат.

Представленные модели являются важными инструментами на протяжении всего процесса принятия решений о вложении средств, они обеспечивают баланс количественных и качественных показателей оценки. Но также необходимо подчеркнуть, что в таблице 1 отсутствует модель финансовой оценки, представленная в исследовании, она базируется на расчётах затрат и выгод для конкретной организации. Её «изъятие» специалисты PwC объясняют тем, что проведение только финансового анализа для проектов в сфере транспорта недостаточно, поскольку он не учитывает общеэкономические затраты и выгоды на уровне региона или страны.

Результаты исследования показали, что оценка проектов с применением

перечисленных моделей обеспечивает комплексный подход к обоснованию эффективности, а использование комплексной методологии на систематической основе позволяет лицам, принимающим решения (транспортным чиновникам), осуществлять выбор и определять приоритетность инвестирования в те или иные варианты проектов при измерении выгод.

Обобщая зарубежный и отечественный опыт, К. П. Глушенко предлагает три основных подхода к оценке эффективности крупных инвестиционных проектов (КИП):

- микроэкономический — анализ затрат и результатов (cost-benefit analysis) [3, с. 95];

- многокритериальный — совокупность различных методов многокритериальной оптимизации (различные для разных стран); показатели, характеризующие измерение эффективности, могут быть — числовыми, порядковыми, качественными [4, с. 40];



Инструментарий оценки внешних эффектов при реализации инфраструктурных проектов на железнодорожном транспорте

№	Модель	Оценка внешних эффектов
1.	Межотраслевая балансовая модель с разбивкой по ФО	Общеэкономические эффекты от расшивки «узких мест». Бюджетные эффекты. Мультипликативные эффекты инвестиционного спроса.
2.	Модель общего равновесия с разбивкой по ФО	Влияние транспортных издержек на рост ВВП. Последствия перехода к РАВ-тарифам для экономического роста. Общеэкономические эффекты от реализации проектов.
3.	Эконометрические модели	Влияние проектов ВСМ на рост инвестиций. Влияние ускорения пригородного железнодорожного сообщения на экономический рост агломераций. Экономические эффекты. Рост безопасности перевозок.
4.	Мировая модель контейнерных перевозок	Прогнозирование контейнерного транзита.

• макроэкономический – оценка вклада КИП в изменение ВВП, с помощью мультипликатора рассчитывается косвенный вклад проекта за счёт увеличения спроса в цепочке взаимосвязанных отраслей и увеличения конечного потребления [4, с. 42].

Развивая накопленный опыт, специалисты фонда «Центр стратегических разработок» в своём исследовании аргументируют, что расчёт эффективности инфраструктурных проектов на основе определения прямых эффектов и затрат не даёт объективных результатов, ибо подавляющая часть оценок носит косвенный характер и остаётся неучтенной, что существенно занижает реальную интегральную эффективность [6, с. 18]. Применительно к железнодорожному транспорту в исследовании рассматриваются:

- прямые эффекты;
- мультимодальные эффекты;
- внешние (индуцированные) эффекты [6, с. 30–32].

Предлагается инструментарий оценки внешних эффектов при реализации инфраструктурных проектов на железнодорожном транспорте и модели оценки, структурно представленные в таблице 2. То есть налицо уход от прямых эффектов.

**«ВЫГОДНЫЙ ПУТЬ»
В МАКРОЭКОНОМИКЕ**

Переходя к рассмотрению макроэкономического подхода к обоснованию проекта развития внутреннего водного

транспорта (ВВТ), следует заметить, что в последнее время позиции ВВТ весьма ослаблены. Это обусловлено наличием «узких» мест на внутренних водных путях, которые не обеспечивают минимально необходимую глубину в четыре метра в рамках Единой глубоководной системы, ограничивая пропускную способность флота. Ситуация не позволяет использовать традиционные конкурентные преимущества внутреннего водного транспорта: малые издержки при перевозке речных грузов, низкие расходы на содержание инфраструктуры, экологичность, безопасность.

Расчёты Федерального агентства морского и речного транспорта, представленные в материалах заседания президиума Госсовета по вопросу развития внутренних водных путей, проходившего 15.09.2016 г. в Волгограде, обосновывают целесообразность ликвидации лимитирующих участков в Единой глубоководной системе европейской части России, что предполагает обеспечить рост эксплуатационных и финансовых показателей флота в 1,5 раза, увеличить количество рабочих мест в отрасли, привлечь дополнительную грузовую базу и будет способствовать снижению себестоимости перевозок. К 2020 году потребность в перевозках грузов только с севера на юг по р. Дон составит около 18 млн тонн, это без растущего грузопотока в направлении Крыма. Есть перспективы увеличения грузопотоков и с развитием международного транспортного коридора «Север–Юг» между

странами Европы и Индией, Ираном через Астраханскую область по внутренним водным путям России. Помимо этого в стране существуют и потенциальные возможности для перераспределения грузопотоков с наземных видов транспорта на внутренний водный.

При планировании в рамках отраслевой стратегии любых масштабных проектов важную роль играет оценка их ожидаемой эффективности. Проблемы в такой оценке связаны с тем, что прогнозные расчёты базируются на планируемых показателях чаще всего без учёта возможных изменений в будущем, без попыток примерить различные сценарии развития. Например, оценка подпрограммы «Внутренний водный транспорт» Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» производилась по количественным и качественным показателям общественной, коммерческой и бюджетной эффективности. В виде ключевого количественного показателя был использован интегральный дисконтированный эффект, а качество олицетворяли показатели окупаемости запланированных мероприятий с учётом дисконтирования. Принимая во внимание большое количество инвестиционных проектов, включённых в подпрограмму, и предварительный характер проработки большинства из них, показатели эффективности определялись на основе экспертных оценок сроков окупаемости ряда проектов, учитывался их удельный вес в общих расходах. При этом параметры расчёта базировались на экономических показателях роста до 2010 года, которые не могли не претерпеть изменений в условиях динамично меняющегося и политически ангажированного мирового рынка.

На наш взгляд, экономическое обоснование программ и проектов на отраслевом уровне в современной ситуации целесообразно рассчитывать через эффект мультипликатора. Мультипликатор (в макроэкономике) – численный коэффициент, показывающий изменение итогового показателя развития с учётом роста инвестиций или производства в анализируемом виде деятельности. Макроэкономический анализ могут рассмат-

ривать производственный и инвестиционный мультипликаторы.

Мультипликативный эффект – производство мультипликатора на изменение объёма производства, инвестиций и другие ключевые показатели развития отрасли. Он отражает эффект от увеличения показателей в анализируемом виде деятельности с учётом его вклада в экономическую динамику [8, с. 150–151].

МЕТОДИКА ИНТЕГРАЦИИ ЭФФЕКТА

Рассмотрим методику расчёта мультипликатора и мультипликативного эффекта Института народнохозяйственного прогнозирования Российской Академии наук (ИНП РАН). Она основывается на применении таблиц «затраты–выпуск» как инструментария, связывающего между собой базовые индикаторы развития экономики, инфраструктуру как отраслевую, так и технологическую. Особенность расчётов в методике: анализ актуализированной статистики затрат на нескольких уровнях, первый – это виды экономической деятельности, второй – отраслевые комплексы, третий уровень – инвестиционные проекты.

Учёными предлагаются два мультипликатора – инвестиционный и производственный. Инвестиционный возникает с ростом инвестиций в определённом секторе экономики и распространяется на другие виды экономической деятельности, он показывает общее увеличение выпуска при росте инвестиций в основной капитал.

Производственный мультипликатор демонстрирует предполагаемое изменение параметров выпуска и динамику доходов с ростом объёмов производства, он показывает величину изменения валового выпуска в экономике при увеличении выпуска в отдельном виде экономической деятельности.

Интегральный мультипликативный эффект – годовой прирост некоторого макроэкономического показателя результатов развития экономики (валовый выпуск, ВВП, доходы бюджета) или региональной экономики (валовый выпуск, валовый региональный продукт, доходы регионального бюджета), который порождается совокупным приро-



стом производства и инвестиций в рамках реализации инвестиционных проектов [8, с. 151–152].

В общем виде интегральный мультипликативный эффект может быть записан в виде формулы [8, с. 161–162]:

$$Total\ Mul = \sum_{i=1}^{TB} \frac{Inv(i) \cdot InvMul}{(1+d)^{i-1}} + \sum_{i=TB+1}^{TB+TF} \frac{Out(i) \cdot OutMul}{(1+d)^{i-1}}, \quad (1)$$

где *Total Mul* – интегральный мультипликативный эффект;

InvMul – инвестиционный мультипликатор;

OutMul – производственный мультипликатор;

d – ставка дисконтирования;

Inv(i) – объём капитальных вложений в году *i*;

Out(i) – объём производства в году *i*;

TB – срок реализации проекта;

TF – срок функционирования проекта.

Если не задана особая временная структура инвестиций, то расчёт осуществляется иначе:

$$Inv(i) = \frac{InvT}{TB}, \quad 1 \leq i \leq TB, \quad (2)$$

$$Out(i) = OutN \cdot (1-a)^{i-TB-1}, \quad TB+1 \leq i \leq TB+TF, \quad (3)$$

где *InvT* – суммарный объём капитальных вложений в рамках проекта; *OutN* – номинальные объёмы производства после полного ввода в эксплуатацию создаваемых мощностей; *a* – норма амортизации.

В работе [8] приведены значения инвестиционного (2, 16) и производственного (1, 43) мультипликаторов для сектора экономики России «транспортная и хранение», выполненные по методике ИНП РАН на основании данных Росстата за 2013 год.

Для обоснования целесообразности передачи части грузопотоков высокотарифицированных грузов (металла, зерна, удобрений, серы и др.) с железнодорожного транспорта на внутренний водный важно:

1. Иметь в виду расчёты Федерального агентства морского и речного транс-

порта о более низких издержках ВВТ по сравнению с железной дорогой при перевозке металла на расстояния от 200 км, зерна – от 250 км, удобрений – от 250–300 км.

2. Рассматривать преимущества ВВТ в низких расходах на содержание и ремонт инфраструктуры: в 1,6 раза ниже на 1 т • км, чем на железнодорожном транспорте.

3. Учитывать преимущества ВВТ по экологичности: удельный показатель выброса углекислого газа на внутреннем водном транспорте составляет 20 % от выбросов на железнодорожном.

4. Принимать во внимание преимущества ВВТ по безопасности: уровень аварийности на внутренних водных путях (в денежной оценке) ниже, чем на железнодорожном транспорте, в два раза.

Для обоснования целесообразности передачи части грузопотоков массовых грузов с автомобильного транспорта на ВВТ важно:

1. Учитывать расчёты Федерального агентства морского и речного транспорта о более низких издержках ВВТ по сравнению с автомобильным транспортом при перевозке сухогрузов на расстояния от 200–300 км.

2. Рассматривать преимущества ВВТ в низких расходах на содержание и ремонт инфраструктуры: в 4,3 раза ниже на 1 т • км, чем в автодорожной отрасли.

3. Иметь в виду преимущества ВВТ по экологичности: удельный показатель выброса углекислого газа на внутреннем водном транспорте составляет 5 % от выбросов на автомобильном.

4. Брать в расчёт преимущества ВВТ по безопасности: уровень аварийности на внутренних водных путях (в денежной оценке) ниже, чем на автотранспорте, в 14 раз.

МУЛЬТИПЛИКАТОР И ПРОГНОЗ

Необходимо совершенствование предложенной ИНП РАН методики расчёта интегрального мультипликативного эффекта в соответствии с формулой (1) и наличием различных вариантов прогнозов. В связи с тем, что передача части грузопотоков с наземных видов транс-

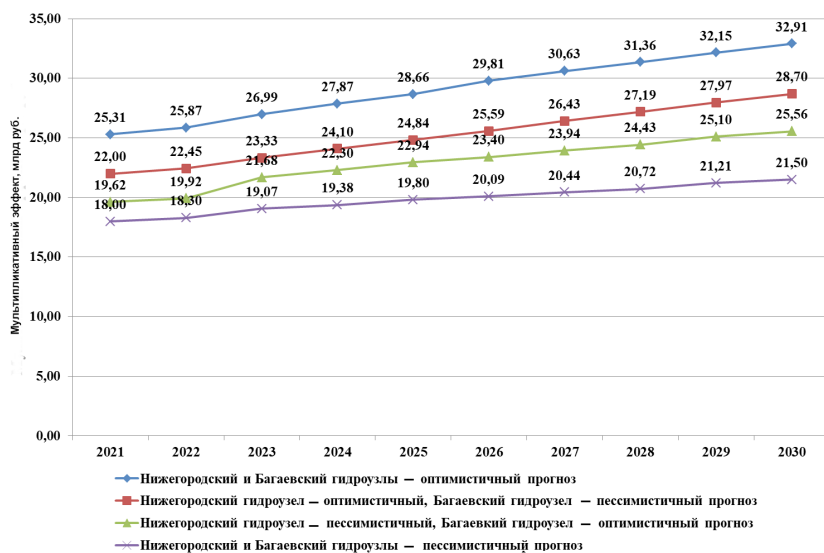


Рис. 1. Мультипликативный эффект развития водного транспорта в речных бассейнах европейской части России в четырёх вариантах прогнозов.

порта на внутренний водный в навигационный период не предполагает крупных финансовых инвестиций, но позволяет увеличить загрузку флота, рассчитывать предстоит только производственный мультипликатор. И именно о нём надо думать в первую очередь.

В расчётах ставка дисконтирования будет оставаться по-прежнему 13 %, как и в подпрограмме «Внутренний водный транспорт». Увеличение объёмов перевозок после планируемой передачи части грузопотоков с «земли» на внутренний водный транспорт определяется экспертным путём, период расчётов – 2021–2030 годы. Результаты ожидаемого мультипликативного эффекта при благоприятном развитии ситуации в речных бассейнах европейской части России представлены на рис. 1 в четырёх вариантах прогнозов.

1. Нижегородский и Багаевский низконапорные гидроузлы – оптимистичный прогноз: ввод в эксплуатацию гидроузлов в соответствии со сроками подпрограммы в конце 2020 года; увеличение дополнительных объёмов перевозок в Волго-Балтийском, Волжском, Камском, Волго-Донском, Азово-Донском бассейнах и передача части объёмов перевозок навалочных грузов с наземных видов транспорта на внутренний водный в навигационный период.

2. Нижегородский низконапорный гидроузел – оптимистичный прогноз: ввод в эксплуатацию гидроузла в соответствии со сроками реализации подпрограммы в конце 2020 года; увеличение объёмов перевозок сухогрузов в Волго-Балтийском, Волжском, Камском бассейнах за счёт органического роста и передачи части объёмов перевозок с наземных видов транспорта на внутренний водный. Багаевский низконапорный гидроузел – пессимистичный прогноз: ввод в эксплуатацию гидроузла с отставанием от сроков подпрограммы – в конце 2022 года; лишь малозаметное увеличение дополнительных объёмов перевозок в Волго-Донском, Азово-Донском бассейнах с учётом небольшого органического роста и передачи незначительной части объёмов перевозок навалочных грузов на внутренний водный транспорт.

3. Нижегородский низконапорный гидроузел – пессимистичный прогноз: ввод в эксплуатацию гидроузла с отставанием от сроков подпрограммы – в конце 2022 года; малозаметное увеличение дополнительных объёмов перевозок навалочных грузов в Волго-Балтийском, Волжском, Камском бассейнах с учётом небольшого органического роста и передачи незначительного объёма перевозок на внутренний водный транспорт. Багаевский низконапорный гидроузел – оп-



тимистичный прогноз: ввод в эксплуатацию гидроузла в соответствии со сроками подпрограммы в конце 2020 года; увеличение дополнительных объёмов перевозок навалочных грузов в Волго-Донском, Азово-Донском бассейнах с учётом органического роста и передачи части объёмов перевозок на внутренний водный транспорт.

4. Нижегородский и Багаевский низконапорные гидроузлы — пессимистичный прогноз: ввод в эксплуатацию гидроузлов с отставанием от сроков подпрограммы — в конце 2022 года; незначительное увеличение дополнительных объёмов перевозок в Волго-Балтийском, Волжском, Камском, Волго-Донском, Азово-Донском бассейнах с учётом очень небольшого органического роста и столь же ограниченного объёма передачи перевозок на внутренний водный транспорт.

Основываясь на результатах расчётов мультипликативного эффекта развития водного транспорта в речных бассейнах европейской части России, следует отметить неравномерность его динамики в период 2021–2030 годов по каждому из четырёх вариантов прогнозов. В первом из них — оптимистичный вариант для обоих гидроузлов, мультипликативный эффект наибольший. Во втором и третьем вариантах прогнозы оптимистичный и пессимистичный перемежаются в диапазоне вероятных допущений по каждой позиции. Четвёртый вариант — тотальный пессимистичный прогноз — имеет соответственно и самый низкий показатель мультипликативного эффекта.

Надо полагать, тактика такого рода прогнозов — не только иллюстрация возможности приблизиться к реалиям сегодняшней экономической жизни. Наглядно показан сам принцип мультипликатора, к освоению которого, собственно, призывает и демонстрируемая методика.

* * *

Макроэкономический подход для экономического обоснования развития водного транспорта в речных бассейнах

европейской части России является новым и вполне может быть использован в практической деятельности при разработке программ и проектов развития на федеральном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие транспортной системы России (2010–2030 годы). [Электронный ресурс]: [Федеральная целевая программа: утверждена распоряжением правительства РФ от 05.12.2001 г. № 848; в ред. от 27.02.2017 г.]. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_86305. Доступ 24.10.2017.

2. Материалы заседания президиума Госсовета по вопросу развития внутренних водных путей. 15.09.2016 года, г. Волгоград. [Электронный ресурс]: <http://special.kremlin.ru/events/state-council/52713>. Доступ 24.10.2017.

3. Глушенко К. П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы (Часть 1) / Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН и Новосибирский государственный экономический университет, 2011. [Электронный ресурс]: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-transportnyh-proektov-opyt-i-problemy-chast-1>. Доступ 24.10.2017.

4. Глушенко К. П. Оценка эффективности транспортных проектов: опыт и проблемы (Часть 2) / Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН и Новосибирский государственный экономический университет, 2012. [Электронный ресурс]: URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-transportnyh-proektov-opyt-i-problemy-chast-2>.

5. Инвестиции в развитие транспортной инфраструктуры. Достижение высоких результатов. Сентябрь 2012. // PricewaterhouseCoopers, 2012. [Электронный ресурс]: <http://ru.investinrussia.com/data/files/sectors/ru/infra-2.pdf>. Доступ 24.10.2017.

6. Оценка крупных инфраструктурных проектов. Задачи и решения // Фонд «Центр стратегических разработок». — М.: 2013. (полная версия) [Электронный ресурс]: <http://www.google.ru/url?sa=t&rect=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0ahUKewjwrauEgLjVAhXEL1AKNaH0B1UQFghUMAc&url=http%3A%2F%2Ffrzd.ru%2Fdbm>. Доступ 24.10.2017.

7. Фролова О. Н., Иванов В. М., Желялотдинова И. Д. Макроэкономические аспекты взаимодействия видов транспорта // Экономика и предпринимательство. — 2015. — № 6. — С. 164–168. [Электронный ресурс]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23839726>. Доступ 24.10.2017.

8. Широков А. А. Многоуровневые структурные исследования как инструмент обоснования экономической политики / Дис... док. экон. наук. — М.: 2015. — 335 с.

9. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe. European Commission EC-DG TREN, 2005. [Электронный ресурс]: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>. Доступ 24.10.2017. ●

Координаты автора: **Фролова О. Н.** – frolova-olga@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 09.08.2017, принята к публикации 24.10.2017.

MACROECONOMIC APPROACH TO JUSTIFICATION OF TRANSPORT PROJECTS

Frolova, Olga N., Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia.

ABSTRACT

The article examines approaches to justification of transport projects in advanced economies, provides assessment models used in the analysis of investments in the development of transport infrastructure. The advantages of inland waterway transport (low costs for transportation of bulk cargoes, low expenses for maintenance and repair

of infrastructure, environmental friendliness, safety) are actualized in the justification of the expediency of transferring part of the cargo flows from bulk cargoes to land transport. The results of calculations of the multiplicative effect are presented on the example of the project of the development of water transport in the river basins of the European part of Russia are given.

Keywords: water transport, transport project evaluation models, macroeconomic substantiation, multiplicative effect.

Background. Advanced economies have rich experience in the methodology of assessing large-scale transport projects, megaprojects in the field of transport infrastructure. In the work of K. P. Glushchenko references to methodological approaches are made, applied primarily in the EU countries, to assess the effectiveness of large investment projects and it is stated that proposals for their development are based on the results of analysis conducted by authoritative research groups [3, p. 93]. He is sure: domestic assessments of the effectiveness of large investment projects should be based on the experience of developed countries.

Objective. The objective of the author is to consider macroeconomic approach to justification of transport projects.

Methods. The author uses general scientific methods, comparative analysis, economic evaluation.

Results.

Project assessment models

Researchers at PwC PricewaterhouseCoopers analyzed the decisions of five leading countries – the UK, Australia, Japan, Sweden, Canada in the field of transport projects, investment mechanisms, the use of quantitative and qualitative assessment models. The models summarized in the study [5, p. 9] and structurally presented in Table 1 include the analysis of economic efficiency (costs and benefits), analysis based on multiple criteria, analysis of economic impact, cost-effectiveness analysis.

Presented models are important tools throughout the decision-making process on investing funds, they provide a balance of quantitative and qualitative evaluation indicators. It is also necessary to emphasize that in Table 1 there is no financial assessment model presented in the study, it is based on the calculation of costs and benefits for a particular organization. PwC specialists explain its «withdrawal» by the fact that carrying out only a financial analysis for transport projects is not enough, since it does not take into account general economic costs and benefits at the level of the region or the country.

The results of the research showed that the evaluation of projects using the above models provides an integrated approach to justification of efficiency, and the use of an integrated methodology systematically allows decision-makers (transport officials) to choose and prioritize investing in various project options when measuring benefits.

Summarizing the foreign and domestic experience, K. P. Glushchenko offers three main approaches to assessing the effectiveness of large investment projects (LIP):

- microeconomic – cost-benefit analysis [3, p. 95];

- multicriteria – a set of different methods of multicriteria optimization (different for different countries); indicators that characterize the measurement of efficiency, can be – numerical, ordinal, qualitative [4, p. 40];

- macroeconomic – evaluation of the contribution of LIP to GDP change, using the multiplier, indirect contribution of the project is calculated by increasing demand in the chain of interconnected industries and increasing final consumption [4, p. 42].

Developing the accumulated experience, the specialists of the Center for Strategic Research fund argue in their study that the calculation of the effectiveness of infrastructure projects based on the definition of direct effects and costs does not give objective results, since the majority of estimates are of an indirect nature and remain unaccounted for, which substantially underestimates the real integral efficiency [6, p. 18]. In the case of rail transport, the study examines:

- direct effects;
- multimodal effects;
- external (induced) effects [6, p. 30–32].

A tool is proposed for assessing the externalities in the implementation of infrastructure projects in railway transport and the assessment model, structurally presented in Table 2. That is, there is a clear departure from direct effects.

«A Favorable Way» in Macroeconomics

Turning to consideration of the macroeconomic approach to justification of the project for development of inland water transport (IWT), it should be noted that recently the positions of IWT have been weakened. This is due to the presence of «bottlenecks» on inland waterways that do not provide the minimum required depth of four meters within the United Deep Water System, limiting the fleet's throughput. The situation does not allow using the traditional competitive advantages of inland waterway transport: low costs for transportation of river cargo, low maintenance costs, environmental friendliness, safety.

The calculations of the Federal Agency for Maritime and River Transport presented in the materials of the meeting of the Presidium of the State Council on development of inland waterways held on September 15, 2016 in Volgograd justify the expediency of liquidating the limiting areas in the United Deep Sea System of the European part of Russia, which implies the growth of operational and financial indicators of fleet in 1,5 times, to increase the number of jobs in the industry, to attract an additional freight base and will help to reduce the cost of transportation. By 2020, the need for transportation of goods only from north to south along the river Don will be about 18 million tons, this is without increasing



**Assessment models used in the analysis of investment projects
for development of transport infrastructure**

	Assessment model	The essence of the model	The model is most effective under the following conditions
1.	Analysis of economic efficiency (cost-benefit ratio)	The model is based on the calculation of costs and benefits, this allows to assess how the project will affect the interests of society and the economy.	<ol style="list-style-type: none"> 1. The economic costs and benefits for the entire population, and not only the interested party, are taken into account. 2. An optimal balance between costs and benefits at the level of finance, economy, social sphere and environmental protection is provided. 3. A comparative analysis of the costs and benefits of different models, capital raising scenarios, and project management strategies is conducted.
2.	Analysis based on multiple criteria	The model is based on comparing different options for project implementation in terms of achieving the objectives and applying measurable criteria.	<ol style="list-style-type: none"> 1. The set goals go beyond economic and financial tasks and include such issues as security, accessibility, environmental friendliness. 2. It is difficult to quantify the main advantages and benefits. 3. Interaction with stakeholders is established, criteria are jointly developed and responsibilities for final results are clearly distributed.
3.	Analysis of economic impact	The model is based on an assessment of how the project will affect the life of population and the company's activities in its region from an economic perspective.	<ol style="list-style-type: none"> 1. The degree and nature of economic impact and its specificity at the regional level are analyzed. 2. The impact of the project on the main economic indicators is assessed: GDP, real consumption, income, investment, employment, income to the state budget, interest rates, exchange rate, terms of the transaction. 3. The analysis is performed using a computer simulation program.
4.	Cost-benefit analysis	The model is based on the evaluation of the benefits of the project not in terms of money, but in other indicators, for example, public benefit.	<ol style="list-style-type: none"> 1. It is difficult to quantify the benefits. 2. Similar solutions for solving problems are evaluated.

Table 2

Toolkit for assessing externalities in implementation of infrastructure projects in rail transport

№	Model	Assessment of external effects
1.	Cross-sectoral balance sheet model with breakdown by FO	General economic effects from elimination of bottlenecks. Budgetary effects. Multiplicative effects of investment demand.
2.	General equilibrium model with breakdown by FO	Influence of transport costs on GDP growth. Consequences of the transition to RAB-tariffs for the economic growth. General economic effects from implementation of projects.
3.	Econometric models	Influence of HSR projects on investment growth. Influence of acceleration of suburban railway traffic on economic growth of agglomerations. Economic effects. Increased transportation security.
4.	World model of container transportation	Forecasting of container transit.

freight traffic in the direction of the Crimea. There are prospects of increasing cargo flows with development of the international transport corridor «North-South» between the countries of Europe and India, Iran through Astrakhan region along the inland waterways of Russia. In addition, there are potential opportunities for redistributing cargo flows from land-based modes of transport to inland waterways.

When planning any large-scale projects within the framework of an industry strategy, an important role is played by an assessment of their expected effectiveness. Problems in this assessment are due to the fact that the forecast calculations are based on

the planned indicators most often without taking into account possible changes in the future, without attempts to try on different development scenarios.

For example, the evaluation of the sub-program «Inland Water Transport» of the Federal Target Program «Development of the Transport System of Russia (2010–2020)» was carried out on quantitative and qualitative indicators of public, commercial and budgetary efficiency. In the form of a key quantitative indicator, the integral discounted effect was used, and payback indicators of the planned measures taking into account discounting embodied the quality. Taking into account the large number of investment

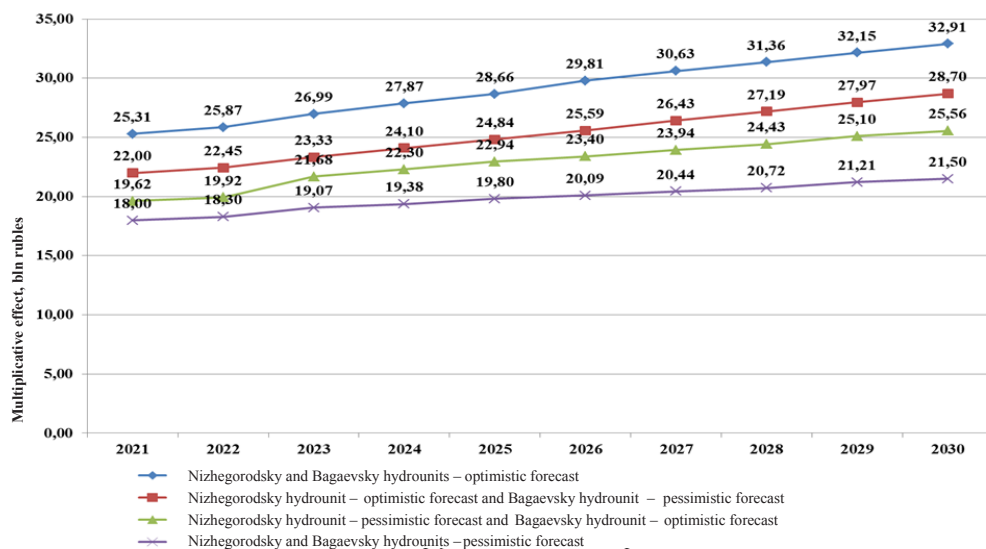


Fig. 1. Multiplicative effect of the development of water transport in the river basins of the European part of Russia in four variants of forecasts.

projects included in the subprogram and the preliminary nature of working out the majority of them, the efficiency indicators were determined on the basis of expert estimates of the payback periods of a number of projects, their share in total expenditures was taken into account. At the same time, the calculation parameters were based on economic growth rates until 2010, which could not but undergo changes in the conditions of a dynamically changing and politically biased global market.

In our opinion, it is expedient to calculate the economic justification of programs and projects at the sectoral level in the current situation through the multiplier effect. The multiplier (in macroeconomics) is a numerical coefficient that indicates the change in the final development index, taking into account the growth of investment or production in the analyzed activity. Production and investment multipliers can consider macroeconomic analysis.

The multiplicative effect is the product of the multiplier on the change in the volume of production, investment, and other key indicators of the industry's development. It reflects the effect of increasing the indicators in the analyzed form of activity, taking into account its contribution to economic dynamics [8, p. 150–151].

The method of integrating the effect

Let's consider the methodology for calculating the multiplier and the multiplicative effect of the Institute for Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences (INP RAS). It is based on the application of «costs-release» tables as an instrument linking the basic indicators of economic development, infrastructure, both industrial and technological, among themselves. The peculiarity of calculations in the methodology: the analysis of updated cost statistics at several levels, the first – types of economic activity, the second – sectoral complexes, the third level – investment projects.

Scientists offer two multipliers – investment and production. The investment arises with the growth of investments in a certain sector of the economy and extends to other types of economic activity, it shows an overall increase in output with an increase in investment in fixed assets.

The production multiplier demonstrates the expected change in output parameters and the dynamics of income with growth in output, it shows the magnitude of the change in gross output in the economy with an increase in the output of a separate type of economic activity.

The integral multiplicative effect is the annual growth of some macroeconomic indicator of the economic development results (gross output, GDP, budget revenues) or regional economy (gross output, gross regional product, regional budget revenues), which is generated by the cumulative increase in production and investment within the framework of investment projects [8, p. 151–152].

In general form, the integral multiplicative effect can be written in the form of the formula [8, p. 161–162]:

$$Total\ Mul = \sum_{i=1}^{TB} \frac{Inv(i) \cdot InvMul}{(1+d)^{i-1}} + \sum_{i=TB+1}^{TB+TF} \frac{Out(i) \cdot OutMul}{(1+d)^{i-1}}, \quad (1)$$

where Total Mul – integral multiplicative effect;

InvMul – investment multiplier;

OutMul – production multiplier;

d – discount rate;

Inv(i) – volume of capital investments in year i;

Out(i) – volume of production in year i;

TB – term of the project;

TF – term of the project.

If a special temporary investment structure is not set, the calculation is different:

$$Inv(i) = \frac{InvT}{TB}, \quad 1 \leq i \leq TB, \quad (2)$$

$$Out(i) = OutN * (1-a)^{i-TB-1}, \quad TB+1 \leq i \leq TB+TF, \quad (3)$$

where InvT – total volume of capital investments within the project;

OutN – nominal volumes of production after full commissioning of the created capacities;

a – depreciation rate.

In [8], the values of investment (2, 16) and production (1, 43) multipliers for the Russian economy «transportation and storage» were compiled using the methodology of INP RAS based on Rosstat data for 2013.





Дмитрий Рогачев / Энциклопедия

To justify the expediency of transferring part of the freight flows of highly-taxed goods (metal, grain, fertilizers, sulfur, etc.) from rail to inland waterway, it is important:

1. To bear in mind the calculations of the Federal Agency for Maritime and River Transport on the lower costs of IWT in comparison with the railway when transporting metal for distances of 200 km, for grain from 250 km, for fertilizers from 250–300 km.

2. To consider the advantages of IWT in low expenses for maintenance and repair of infrastructure: 1,6 times lower per 1 ton-km than railway transport.

3. To take into account the advantages of IWT for environmental friendliness: the specific indicator of carbon dioxide emissions in inland water transport is 20 % of the emissions from railway.

4. To take into account the advantages of IWT for safety: the level of accidents on inland waterways (in monetary valuation) is lower than in rail transport, twice.

To justify the expediency of transferring part of the cargo traffic of bulk cargo from road transport to IWT, it is important:

1. To take into account the calculations of the Federal Agency for Maritime and River Transport on the lower costs of IWT in comparison with road transport for the carriage of dry cargoes at distances from 200–300 km.

2. To consider the advantages of IWT in low costs for maintenance and repair of infrastructure: 4.3 times lower per 1 ton-km than in the road sector.

3. To take into account the advantages of IWT for environmental friendliness: the specific indicator of the release of carbon dioxide in inland water transport is 5 % of emissions on the road.

4. To take into account the advantages of IWT for safety: the level of accidents on inland waterways (in monetary valuation) is 14 times lower than on motor transport.

Multiplier and forecast

It is necessary to improve the methodology for calculating the integral multiplicative effect proposed by the INP RAS in accordance with formula (1) and the availability of various forecasting options. Due to the fact that the transfer of part of the cargo flows from land-based modes of transport to inland waterways during the navigation period does not imply large financial investments, but it allows increasing the fleet's load, only the production multiplier is to be calculated. And it is necessary to think about it first of all.

In the calculations, the discount rate will remain as high as 13 percent, as in the sub-program «Inland Waterway Transport». The increase in traffic volumes after the planned transfer of part of the cargo flows from «land» to inland water transport is determined by expert means, the settlement period is 2021–2030. The results of the expected multiplicative effect with favorable development of the situation in the river basins of the European part of Russia are shown in Pic. 1 in four variants of the forecasts.

1. Nizhegorodsky and Bagaevsky low-pressure hydrounits – optimistic forecast: commissioning of hydrounits in accordance with the sub-program dates at the end of 2020; increase in additional volumes of traffic in Volga-Baltic, Volga, Kama, Volga-Don, Azov-Don basins and transfer part of the bulk transportation volumes from land-based modes of transport to inland waterways during the navigation period.

2. Nizhegorodsky low-pressure hydrounit – optimistic forecast: commissioning of the hydrounit in accordance with the timing of the sub-program at the end of 2020; increase in the volume of dry cargo shipments in the Volga-Baltic, Volga, Kama basins due to organic growth and the transfer of part of the volume of transportation¹ from land-based modes of transport to inland waterways. Bagaevsky low-pressure hydrounit – a pessimistic forecast:

commissioning of the hydro power unit with a delay from the schedule of the subprogram – at the end of 2022; only a barely noticeable increase in the additional volumes of traffic in the Volga-Don, Azov-Don basins, taking into account the small organic growth and the transfer of an insignificant part of the bulk transportation volumes of inland water transport.

3. Nizhegorodsky low-pressure hydrounit – a pessimistic forecast: commissioning of the hydrounit with a delay from the schedule of the subprogram – at the end of 2022; a barely noticeable increase in the additional volumes of bulk cargo transportations in the Volga-Baltic, Volga, and Kama basins, taking into account the small organic growth and the transfer of insignificant traffic to inland waterways. Bagaevsky low-pressure hydrounit – optimistic forecast: commissioning of the hydrounit in accordance with the sub-program dates at the end of 2020; an increase in the additional volume of bulk cargo transportations in the Volga-Don, Azov-Don basins, taking into account organic growth and the transfer of part of the volume of transport to inland water transport.

4. Nizhegorodsky and Bagaevsky low-pressure hydrounits – pessimistic forecast: commissioning of hydrounits with a delay from the timing of the subprogram – at the end of 2022; an insignificant increase in additional traffic volumes in Volga-Baltic, Volga, Kama, Volga-Don, Azov-Don basins, taking into account very little organic growth and a similarly limited amount of transport for inland waterway transport.

Based on the results of calculations of the multiplicative effect of the development of water transport in the river basins of the European part of Russia, one should note the unevenness of its dynamics in the period 2021–2030 for each of the four variants of the forecasts. In the first of them – an optimistic option for both hydrounits, the multiplicative effect is greatest. In the second and third versions, the optimistic and pessimistic forecasts alternate in the range of probable assumptions for each position. The fourth option – a total pessimistic forecast – has the lowest multiplicative effect, respectively.

Presumably, the tactics of such forecasts are not only an illustration of the possibility to approach the realities of today's economic life. The principle of the multiplier itself is clearly shown, which, in fact, is called for and demonstrated by the methodology.

Conclusion.

The macroeconomic approach for economic justification of development of water transport in the river basins of the European part of Russia is new and can be used in practical activities when elaborating development programs and projects at the federal level.

REFERENCES

1. Development of the transport system in Russia (2010–2030). [Electronic resource]: [federal target program: approved by RF Government Decree No. 848 of 05.12.2001; as amended on 27.02.2017]. [*Razvitie transportnoj sistemy Rossii (2010–2030 gody)*]. [*Jelektronnyj resurs*]: [federal'naja celevaja programma: utverzhdena

rasporjazheniem pravitel'stva RF ot 05.12.2001 g. № 848; v red. ot 27.02.2017 g.]. [Electronic resource]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_86305. Last accessed 24.10.2017.

2. Materials of the meeting of the Presidium of the State Council on the development of inland waterways. September 15, 2016, the city of Volgograd [*Materialy zasedaniya prezidiuma Gossoveta po voprosu razvitiya vnutrennih vodnyh putej. 15.09.2016 goda, g. Volgograd*]. [Electronic resource]: <http://special.kremlin.ru/events/state-council/52713>. Last accessed 24.10.2017.

3. Glushchenko, K. P. Evaluation of the efficiency of transport projects: experience and problems (Part 1) / Institute of Economics and Industrial Engineering of the SB RAS and Novosibirsk State Economic University, 2011 [*Ocenka effektivnosti transportnyh proektov: opyt i problemy (chast' 1) / Institut ekonomiki i organizacii promyshlennogo proizvodstva SO RAN i Novosibirskij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2011*]. [Electronic resource]: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-transportnyh-proektov-opyt-i-problemy-chast-1>. Last accessed 24.10.2017.

4. Glushchenko, K. P. Assessment of the effectiveness of transport projects: experience and problems (Part 2) / Institute of Economics and Industrial Engineering of the SB RAS and Novosibirsk State Economic University, 2012. [*Ocenka effektivnosti transportnyh proektov: opyt i problemy (chast' 2) / Institut ekonomiki i organizacii promyshlennogo proizvodstva SO RAN i Novosibirskij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2012*]. [Electronic resource]: URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-transportnyh-proektov-opyt-i-problemy-chast-2>.

5. Investments in the development of transport infrastructure. Achieving high results. September 2012 [*Investicii v razvitie transportnoj infrastruktury. Dostizhenie vysokih rezul'tatov. Sentjabr' 2012*]. PricewaterhouseCoopers, 2012. [Electronic resource]: <http://en.investinrussia.com/data/files/sectors/en/infra-2.pdf>. Last accessed 24.10.2017.

6. Evaluation of large infrastructure projects. Tasks and solutions [*Ocenka krupnyh infrastrukturnykh proektov. Zadachi i reshenija*] // Fund «Center for Strategic Research». Moscow, 2013. (Full version) [Electronic resource]: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0ahUKewjwrauEgLVAhXELIAKHahOB1UQFghUMAc&url=http%3A%2F%2Ffrzd.ru%2Fdbm>. Last accessed 24.10.2017.

7. Frolova, O. N., Ivanov, V. M., Zhelalotdinova, I. D. Macroeconomic aspects of interaction of modes of transport [*Makroekonomicheskie aspekty vzaimodejstviya vidov transporta*]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 2015, Iss. 6, pp. 164–168. [Electronic resource]: <http://elibrary.ru/item.asp?id=23839726>. Last accessed 24.10.2017.

8. Shirov, A. A. Multilevel structural research as a tool for substantiating economic policy. D.Sc. (Economics) thesis. [*Mnogourovnevye strukturnye issledovaniya kak instrument obosnovaniya ekonomicheskoy politiki. Dis... dok. ekon. nauk*]. Moscow, 2015, 335 p.

9. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment Deliverable 1. Current practice in project appraisal in Europe. European Commission EC-DG TREN, 2005. [Electronic resource]: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/hd1final.pdf>. Last accessed 24.10.2017.

Information about the author:

Frolova, Olga N. – Ph.D. (Economics), associate professor of the department of Economics and Management of Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia, frolova-olga@mail.ru.

Article received 09.08.2017, accepted 24.10.2017.





Принципы оценки инвестиционной привлекательности инфраструктурных проектов



Елена ПАЛКИНА
Elena S. PALKINA

Евгения МОРОЗОВА
Evgeniya I. MOROZOVA



Палкина Елена Сергеевна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики транспорта Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС), Санкт-Петербург, Россия.
Морозова Евгения Игоревна – аспирант Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС), Санкт-Петербург, Россия.

Principles for Assessing the Investment Attractiveness of Infrastructure Projects
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 134)

Для привлечения частных инвестиций в инновационное развитие транспортной системы, полагают исследователи, необходимо совершенствование методологических основ оценки инвестиционной привлекательности капитальных проектов. В статье рассмотрены принципы, которыми, по мнению авторов, следует руководствоваться при решении связанных с этим задач и в первую очередь тех из них, которые относятся к инфраструктурной сфере, транспарентности и формализации экономических результатов, окупаемости финансовых вложений со стороны государства и бизнеса.

Ключевые слова: экономика, инновационный проект, транспортная инфраструктура, принцип оценки, инвестиционная привлекательность.

Определяющим вектором развития национальной транспортной системы, предусмотренным инновационным сценарием в транспортной стратегии Российской Федерации, как известно, обозначено увеличение скорости перевозок. Эту задачу помимо оптимизации логистических цепочек, бизнес-процессов во многом призваны решить инвестиционные проекты, связанные с модернизацией транспортной инфраструктуры.

Ускорение перевозочного процесса позволит сократить издержки субъектов экономических отношений, в том числе в сфере контейнерных перевозок, и как следствие снизить долю транспортных расходов в стоимости товаров. Эта доля ныне в стране составляет в среднем 15–20 %, тогда как за рубежом чаще всего – 7–8 % [1], что снижает конкурентоспособность транспортных услуг, оказываемых в пределах территории России.

Особая роль в стратегическом плане отводится использованию возможностей новых нетрадиционных видов транспорта, включая струнный и магнитолевитационный, позволяющимкратноувеличитьскоростьдвижения в отличие от обычного железнодорожного, применяющего известную технологию «ко-

лесо—рельс», которая имеет ограничения по скорости с позиции обеспечения безопасности и по передаче электроэнергии для тяги при скорости свыше 300 км/ч. Вместе с тем эти проекты отличаются высоким уровнем совокупного риска вследствие их инновационности (радикальности).

Разумеется, инвестиционные риски должны всесторонне просчитываться специалистами, важно иметь надёжные средства анализа и прогноза, постоянное совершенствование методологических основ оценки инвестиционной привлекательности инновационных проектов.

В результате исследования точек зрения различных авторов в области методологии инвестиционного анализа, менеджмента, экономики транспорта нами были обобщены базовые принципы, которые развиты и дополнены применительно к оценке инвестиционной привлекательности инновационных проектов транспортной инфраструктуры [3–8].

Принцип наличия ограничивающего условия ориентирует на использование при оценке инвестиционной привлекательности инновационных проектов транспортной инфраструктуры так называемых «отсекающих» критериев.

Например, при несоответствии новизны проекта международному уровню, а уровня научно-технической значимости — пионерному, инновационный проект не может рассматриваться и должен быть отклонён.

При определении значений критериев оценки международного уровня и уровня научно-технической значимости следует ориентироваться на мировые показатели, чтобы подтвердить тот факт, что реализация проекта обеспечит повышение конкурентоспособности национальной транспортной системы.

Принцип иерархичности предполагает многоуровневую систему критериев оценки инвестиционной привлекательности инновационных проектов транспортной инфраструктуры.

Принцип сбалансированности оценки обуславливает необходимость учитывать все значимые критерии.

Например, при соответствии всем экономическим требованиям, но негативном влиянии на окружающую среду и возможном существенном ухудшении экологической

ситуации — инновационный проект транспортной инфраструктуры не должен быть принят в представленном варианте и обязан быть отправлен на доработку.

Принцип обеспечения долгосрочного стабильного роста благосостояния инвестора (собственника, акционера) — безусловно, инвестиции в транспортные капитальные проекты отличают длительные сроки окупаемости. Вместе с тем эти проекты, в отличие от проектов других отраслей, способны генерировать положительный чистый денежный поток ещё в течение многих лет с момента окупаемости инвестиционных затрат ввиду продолжительных сроков полезного использования основных производственных фондов, т.е. могут приносить стабильный доход долгое время. Тем более что жизненный цикл инновационного проекта транспортной инфраструктуры в среднем намного превышает жизненный цикл многих иных проектов (в 5–7 раз), например, в потребительском секторе.

Принцип динамичности оценки означает целесообразность периодической корректировки значений критериев, возможное изменение перечня критериев, исходя из вероятной корректировки целей.

Принцип преобладания значимости социального и косвенного экономического эффекта перед прямым экономическим эффектом означает, что в оценке интегрального эффекта от реализации инновационного проекта транспортной инфраструктуры наибольший удельный вес имеют показатели социального и косвенного экономического эффекта. А значит, оценка только прямого экономического эффекта таких проектов не в полной мере позволяет оценить их инвестиционную привлекательность.

Так, на примере проекта ВСМ «Москва—Казань», по оценкам экспертов, на стадии строительства будет создано более 370 тыс. рабочих мест в различных отраслях экономики (из них 120 тыс. — в регионах прохождения трассы). На стадии эксплуатации появится 5,6 тыс. рабочих мест, непосредственно связанных с перевозками на ВСМ, и 37 тыс. рабочих мест в смежных отраслях. Рост занятости приведёт к росту доходов населения, повышению платёжеспособности, росту потенциального спроса на продукцию других отраслей, росту валового регионального продукта и ВВП страны [9].



**Основные способы достижения целей стейкхолдеров
инновационного проекта транспортной инфраструктуры**

Стейкхолдер	Основные цели	Основные способы достижения целей
Государство	Экономический рост, социальная стабильность, безопасность, экологичность	Увеличение провозных способностей, увеличение транзитных грузовых перевозок по территории РФ, увеличение доходов от экспорта транспортных услуг
Транспортные предприятия	Рост объемов перевозок, снижение транзакционных издержек, увеличение прибыли, стоимости бизнеса	Оптимизация маршрута доставки, увеличение провозных способностей, скорости доставки
Клиенты	Уменьшение времени доставки, снижение стоимости перевозки	Увеличение скорости доставки, уменьшение времени погрузо-разгрузочных работ, мультимодальность, уменьшение транспортной составляющей в стоимости товаров
Таможенные посты	Рост скорости и объемов оформления грузов	Расширение использования электронных технологий
Транспортно-логистические центры	Рост объемов перевалки, максимизация загрузки, увеличение прибыли	Расширение спектра услуг, оказываемых в транспортно-логистических центрах, рост контейнеропотока, сокращение времени погрузо-разгрузочных работ
Население	Получение качественных транспортных услуг, улучшение экологической обстановки	Улучшение технических характеристик транспорта, снижение шума, вибрации и т.д., повышение уровня безопасности
Общественные организации	Повышение авторитета организаций	Продвижение инновационных проектов
Инвесторы	Получение прибыли, повышение акционерной стоимости бизнеса	Участие в управлении проектом

В связи с этим целесообразно рассматривать проекты транспортной инфраструктуры как взаимодополняющие к сопутствующим проектам, которые представляют собой потенциальные инвестиционные возможности и могут обеспечить инвестору основной доход (допустим, тот вкладывает ресурсы в проект ВСМ и гостиничный комплекс, который будет приносить основной прямой экономический эффект, но сам по себе, без построенной ВСМ, конечно, не смог бы достичь высокой «населённости» отеля).

Принцип проактивности предполагает учёт в оценке инновационных проектов транспортной инфраструктуры априорности опережающего развития транспорта по сравнению с другими отраслями экономики, его роли в создании резервов экономического роста.

Принцип конвергенции различных видов транспорта исходит из того, что инновационный проект транспортной инфраструктуры потребует порой инвестирования и в транспортные средства, объекты в пунктах погрузки/выгрузки, что может рассматриваться как отдельный проект. В связи с этим предлагается подобные проекты оценивать в качестве экономически зависимых (взаимодополняющих).

Принцип учёта интересов стейкхолдеров – требований, ожиданий заинтересованных сторон, формализованных в виде раз-

личных показателей, критериев. При этом следует обеспечить сбалансированность целей стейкхолдеров. Например, при определении ставки дисконтирования денежных потоков через показатель WACC можно предусмотреть в расчётах премии за риск для разных стейкхолдеров проекта.

Основные способы достижения целей стейкхолдеров представлены в таблице 1.

Принцип гибкости – возможность внесения изменений в методику оценки инвестиционной привлекательности инновационных проектов транспортной инфраструктуры в связи с особенностями конкретного проекта.

Принцип дифференциации – использование в оценке инвестиционной привлекательности проектов транспортной инфраструктуры частных модулей, отражающих различные направления развития транспортной системы.

Принцип перспективности проекта – инновационный проект транспортной инфраструктуры призван сохранять актуальность на долгосрочную перспективу, отвечать вектору развития научно-технического прогресса.

Принцип соответствия национальным приоритетам развития отрасли – инновационный проект должен максимально полно отвечать целевым установкам транспортной стратегии страны (к примеру, предусматривать как главнейшее направление развития

Взаимосвязь принципов перспективности и соответствия при оценке инвестиционной привлекательности инновационных проектов транспортной инфраструктуры

Взаимосвязь принципов перспективности и соответствия	Мероприятия	Ограничения
Соответствие есть, перспективности нет	а) не реализовывать проект; б) реализовывать в случае, если жизненный цикл проекта укладывается во временной интервал перспективности	в случае б) – при положительной оценке его социально-экономической эффективности
Соответствие есть, перспективность есть	Реализация проекта	в случае положительной оценки его социально-экономической эффективности
Соответствия нет, перспективность есть	а) активное распространение информации о проекте, инициализация изменений в перечне приоритетов; б) перенос реализации проекта на более поздние сроки	в случае значительного социально-экономического эффекта проекта

проектирование и строительство объектов железнодорожной инфраструктуры для скоростей движения свыше 400 км/ч).

Следует отметить наличие взаимосвязи между принципами перспективности и соответствия (таблица 2). Так, проект может быть подчинён государственной программе, но не быть актуальным в долгосрочной перспективе, а может совмещать и то, и другое.

Принцип прозрачности (или транспарентности) оценки означает наличие карты оценки с расчётом интегрального показателя, а также паспорта проекта, который содержит сводную информацию и результаты оценки по разным аспектам. Важно обеспечить прозрачность оценки инвестиционной привлекательности на всех этапах жизненного цикла проекта. Это снижает для инвестора вероятность возникновения рисков, а значит, повышает вероятность конечного успеха.

Принцип формализации результатов оценки инвестиционной привлекательности предполагает использование определённых документообразующих форм, шаблонов, паспорта проекта.

При этом следует иметь в виду, что разработка таких форм экспертной комиссией, определение алгоритма процесса оценки позволяют более уверенно реализовать и принцип прозрачности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Названные в статье принципы составляют основу авторского методического подхода и содержания экономической модели оценки инвестиционной привлекательности

инновационных проектов транспортной инфраструктуры. Преимуществом их использования является возможность учитывать интересы всех стейкхолдеров, специфику конкретного проекта при оценке его инвестиционной привлекательности, а также давать довольно полную картину исходных данных при принятии инвесторами стратегических решений с учётом прогнозируемого кумулятивного эффекта от реализации масштабной, государственно значимой программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инвестиционная политика на железнодорожном транспорте в условиях реформирования отрасли. [Электронный ресурс]: http://transport.ru/1/3/i31_3671p0.htm. Доступ 31.08.2017.
2. Морозова Е. И. Инновационное развитие транспортной инфраструктуры // Экономика железных дорог. – 2016. – № 2. – С. 42–46.
3. Палкина Е. С. Методологические принципы управления реализацией стратегии роста компании // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2015. – № 2. – С. 78–86.
4. Палкина Е. С. Инвестиционный потенциал организации и принципы его оценки // Финансы и инвестиции: Сб. науч. трудов / Под ред. И. П. Скобелевой. – СПб.: СПбГУВК, 2002. – Вып. 4. – С. 56–59.
5. Боли Э., Кейн А. Принципы инвестиций: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2002. – 984 с.
6. Брейли Р., Майерс С. Принципы корпоративных финансов: Пер. с англ. – М.: Олимп-бизнес, 1997. – 1120 с.
7. МакКонелл К. Р., Брю С. Л. Экономикс: принципы, проблемы и политика: Пер. с англ. – М.: Туран, 1996. – 400 с.
8. Мэнкью Н. Г. Принципы микроэкономики: Пер. с англ. – СПб: Питер, 2005. – 560 с.
9. Инвестиционный меморандум «Проект строительства участка «Москва–Казань» высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва–Казань–Екатеринбург», Москва, март 2014 г. [Электронный ресурс]: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1451461679.pdf. Доступ 31.08.2017.

Координаты авторов: **Палкина Е. С.** – etran@pgups.ru, **Морозова Е. И.** – nozpgups@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 31.08.2017, принята к публикации 19.10.2017.



PRINCIPLES FOR ASSESSING THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF INFRASTRUCTURE PROJECTS

Palkina, Elena S., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.

Morozova, Evgeniya I., Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia.

ABSTRACT

To attract private investment in the innovative development of the transport system, the researchers believe, it is necessary to improve the methodological basis for assessing the investment attractiveness of capital projects. The article considers the principles

that, in the opinion of the authors, should be guided in solving the related problems, and first of all those of them that relate to the infrastructure sphere, transparency and formalization of economic results, payback of financial investments from the state and business.

Keywords: economy, innovative project, transport infrastructure, evaluation principle, investment attractiveness.

Background. *The decisive vector of development of the national transport system, as envisaged by the innovative scenario in the transport strategy of the Russian Federation, is known to be the increase in speed of transportation. In addition to optimizing logistics chains and business processes, investment projects related to modernization of transport infrastructure are largely aimed at solving this task.*

Acceleration of the transportation process will reduce the costs of economic agents, including in the sphere of container transportation, and as a consequence reduce the share of transportation costs in the cost of goods. This share now in the country is on average 15–20 %, whereas abroad, most often – 7–8 % [1], which reduces the competitiveness of

transport services provided within the territory of Russia.

A special role in the strategic plan is given to the use of the possibilities of new non-traditional modes of transport, including string and magnetic levitation, which allows to increase the speed of traffic in multiple ways, unlike the conventional railway, using the well-known wheel-rail technology, which has speed limits from the position of safety and transmission of electric power for traction at speeds in excess of 300 km/h. At the same time, these projects are characterized by a high level of aggregate risk due to their innovativeness (radicality).

Of course, investment risks must be comprehensively calculated by specialists, it is important to have reliable means of analysis and

Table 1

The main ways to achieve the objectives of the stakeholders of the innovative transport infrastructure project

Stakeholder	Main objectives	Main ways to achieve objectives
State	Economic growth, social stability, security, environmental-friendliness	Increase in carrying capacity, increase in transit freight traffic on the territory of the Russian Federation, increase in revenues from export of transport services
Transport enterprises	Growth of transportation volumes, decrease in transaction costs, increase in profit, business cost	Optimization of delivery route, increase in freight capacity, speed of delivery
Clients	Reduction of delivery time, decrease in the cost of transportation	Increase in the speed of delivery, reduction of loading and unloading time, multimodality, reduction of the transport component in the cost of goods
Customs points	Increase in speed and volumes of cargo clearance	Expanding the use of electronic technologies
Transport-logistics centers	Growth of transshipment volumes, maximization of loading, increase in profits	Expansion of the range of services rendered in transport and logistics centers, growth of container traffic, reduction of loading and unloading time
Population	Getting high-quality transport services, improving the environmental situation	Improving the technical characteristics of transport, reducing noise, vibration, etc., improving safety
Public organizations	Increasing the prestige of organizations	Promotion of innovation projects
Investors	Making a profit, increasing the shareholder value of the business	Participating in project management

Table 2

Interrelation of the principles of perspective and compliance in assessing the investment attractiveness of innovative transport infrastructure projects

Interrelation of the principles of perspective and compliance.	Measures	Restrictions
Compliance is present, perspective is absent	a) not to implement the project; b) to implement in case the life cycle of the project is within the time frame of perspective	in case b) – with a positive assessment of its socio-economic efficiency
Compliance is present, perspective is present	Project implementation	in case of a positive assessment of its socio-economic efficiency
Compliance is absent, perspective is present	a) active dissemination of information about the project, initialization of changes in the priority list; b) transfer of project implementation to a later date	in case of significant socio-economic effect of the project

forecasting, constant improvement of the methodological bases for assessing the investment attractiveness of innovation projects.

As a result of the study of the points of view of various authors in the field of the methodology of investment analysis, management, and transport economics, we summarized the basic principles that have been developed and supplemented with regard to the assessment of the investment attractiveness of innovative transport infrastructure projects [3–8].

Objective. The objective of the authors is to consider principles for assessing the investment attractiveness of infrastructure projects.

Methods. The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach.

Results.

The principle of the existence of a limiting condition focuses on the use, when assessing the investment attractiveness of innovative transport infrastructure projects, the so-called «cutting off» criteria.

For example, if the novelty of the project does not correspond to the international level, and the level of scientific and technical significance – to the pioneer one, the innovative project cannot be considered and should be rejected.

When determining the values of criteria for assessing the international level and the level of scientific and technical importance, one should be guided by world indicators in order to confirm the fact that the project implementation will ensure the competitiveness of the national transport system.

The hierarchy principle presupposes a multi-level system of criteria for assessing the investment attractiveness of innovative transport infrastructure projects.

The principle of balanced evaluation makes it necessary to take into account all relevant criteria.

For example, when being consistent with all economic requirements, but the negative impact on the environment and the possible significant deterioration of the environmental situation – an innovative transport infrastructure project should not be adopted in the presented version and must be sent for revision.

The principle of ensuring long-term stable growth of the investor's (owner, shareholder) welfare – of course, investments in transport capital

projects are distinguished by long payback periods. At the same time, these projects, unlike projects of other industries, are able to generate positive net cash flow for many years from the time of recoupment of investment costs due to the long useful lives of fixed assets, i.e. can bring a stable income for a long time. Moreover, the life cycle of an innovative transport infrastructure project on average much exceeds the life cycle of many other projects (5–7 times), for example, in the consumer sector.

The principle of dynamism of evaluation means the expediency of periodically adjusting the values of the criteria, a possible change in the list of criteria, based on a probable goal adjustment.

The principle of the predominance of the significance of the social and indirect economic effect over the direct economic effect means that in assessing the integrated effect from the implementation of the innovative project of transport infrastructure, the indicators of social and indirect economic effect have the largest share. So, the assessment of only the direct economic effect of such projects does not fully allow us to assess their investment attractiveness.

For example, according to experts, in the project of HSR «Moscow–Kazan» more than 370 000 jobs in various sectors of the economy will be created at the construction stage (120 thousand of them in the regions where the route passes). At the stage of operation, there will be created 5600 jobs directly associated with transportation on HSR and 37000 jobs in related industries. The growth of employment will lead to higher incomes of the population, higher solvency, an increase in potential demand for products of other industries, an increase in the gross regional product and the country's GDP [9].

In this regard, it is advisable to consider transport infrastructure projects as complementary to related projects that represent potential investment opportunities and can provide the investor with a basic income (for example, he invests resources in the HSR project and the hotel complex that will bring the main direct economic effect, but he himself, without a constructed HSR, of course, could not achieve high «occupancy» of the hotel).

The principle of proactivity involves taking into account in the evaluation of innovative transport



infrastructure projects the a priori of advanced development of transport in comparison with other branches of the economy, its role in creating reserves for economic growth.

The principle of convergence of different types of transport is based on the fact that an innovative transport infrastructure project will sometimes require investment in vehicles, facilities at loading / unloading points, which can be viewed as a separate project. In connection with this, it is proposed to evaluate similar projects as economically dependent (complementary).

The principle of taking into account the interests of stakeholders – requirements, expectations of stakeholders, formalized in the form of various indicators, criteria. In this case, it is necessary to ensure the balance of the objectives of the stakeholders. For example, when determining the discount rate of cash flows through the WACC indicator, it is possible to provide for risk premium calculation for different stakeholders of the project.

The main ways to achieve the objectives of stakeholders are presented in Table 1.

The principle of flexibility – the possibility of making changes in the methodology for assessing the investment attractiveness of innovative transport infrastructure projects in connection with the specifics of a specific project.

The principle of differentiation – the use of private modules reflecting various directions of the development of the transport system in the evaluation of the investment attractiveness of transport infrastructure projects.

The principle of the project's perspective – an innovative transport infrastructure project is designed to remain relevant for the long term, to meet the vector of development of scientific and technological progress.

The principle of compliance with national priorities for the development of the industry – an innovative project should fully meet the targets of the country's transport strategy (for example, to provide for the design and construction of railway infrastructure facilities for speeds of over 400 km/h).

It should be noted that there is a relationship between the principles of perspective and compliance (Table 2). So, the project can be subordinated to the state program, but not be relevant in the long term, and can combine both.

The principle of transparency of the evaluation means the presence of an assessment map with the calculation of the integral indicator, as well as the project passport, which contains summary information and evaluation results on various aspects. It is important to ensure transparency in assessing investment attractiveness at all stages of the life cycle of the project. This reduces the probability for the investor to risk, which means that it increases the probability of ultimate success.

The principle of formalizing the results of evaluating investment attractiveness involves the use of certain document-forming forms, templates, project passports.

At the same time, it should be borne in mind that the development of such forms by the expert commission, the definition of the algorithm of the assessment process, make it possible to more confidently implement the principle of transparency.

Conclusion. The principles mentioned in the article form the basis of the author's methodical approach and the content of the economic model for assessing the investment attractiveness of innovative transport infrastructure projects. The advantage of using them is the ability to take into account the interests of all stakeholders, the specific nature of a particular project when assessing its investment attractiveness, and provide a fairly complete picture of the initial data when investors make strategic decisions, taking into account the projected cumulative effect of a large-scale, state-significant program.

REFERENCES

1. Investment policy in railway transport in the conditions of industry reform [*Investicionnaja politika na zhelezнодорожном транспорте в условиях реформирования отрасли*]. [Electronic resource]: http://transport.ru/1/3/i31_3671p0.htm. Last accessed 31.08.2017.
2. Morozova, E. I. Innovative development of transport infrastructure [*Innovacionnoe razvitiye transportnoj infrastruktury*]. *Ekonomika zheleznyh dorog*, 2016, Iss. 2, pp. 42–46.
3. Palkina, E. S. Methodological principles of managing the implementation of the company's growth strategy [*Metodologicheskie principy upravlenija realizaciej strategii rosta kompanii*]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2015, Iss. 2, pp. 78–86.
4. Palkina, E. S. The investment potential of the organization and the principles of its evaluation [*Investicionnyj potencial organizacii i principy ego ocenki*]. Finance and investment: Collection of scientific works / Ed. by I. P. Skobeleva. St. Petersburg, SPbGUVK publ., 2002, Iss. 4, pp. 56–59.
5. Boly, E., Kane A. Principles of investment [*Principy investicij: Transl. from English*]. Moscow, Williams publ., 2002, 984 p.
6. Brayleigh, R., Myers, S. Principles of corporate finance [*Principy korporativnyh finansov: Transl. from English*]. Moscow, Olimp-business publ., 1997, 1120 p.
7. McConnell, L., Bru, S. Economics: principles, problems and politics [*Ekonomiks: principy, problemy i politika: Transl. from English*]. Moscow, Turan publ., 1996, 400 p.
8. Mankju, N. G. Principles of microeconomics [*Principy mikroekonomiki: Transl. from English*]. St. Petersburg, Piter publ., 2005, 560 p.
9. Investment memorandum «The project of construction of the section «Moscow–Kazan» of high speed rail «Moscow–Kazan–Yekaterinburg», Moscow, March 2014 [*Investicionnyj memorandum «Proekt stroitel'stva uchastka «Moskva–Kazan» vysokoskorostnoj zhelezнодорожной магистрали «Moskva–Kazan»–Ekaterinburg», Moskva, mart 2014g.*]. [Electronic resource]: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1451461679.pdf. Last accessed 31.08.2017.

Information about the authors:

Palkina, Elena S. – D.Sc. (Economics), professor of the department of Transport economy of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, etran@pgups.ru.

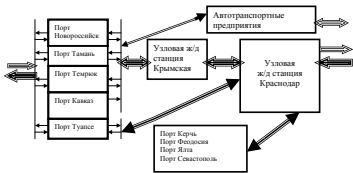
Morozova, Evgeniya I. – Ph.D. student of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, Russia, nozpgups@gmail.com.

Article received 31.08.2017, accepted 19.10.2017.

T

РЕГИОНЫ 138

Принципы программирования провозных возможностей.



ТЕХНОЛОГИИ 146

Менеджмент, качество – всё в цифровую форму?



КЛАСТЕРЫ 158

Координация задач и кооперация мощностей.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

REGIONS 138

Principles of programming transit capacity.

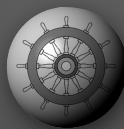
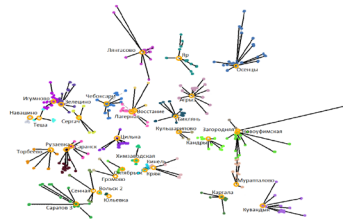


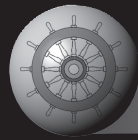
TECHNOLOGY 146

Whether management and quality could be digitalized?

CLUSTERS 158

Coordination of tasks and cooperation of capacity.





Инструментарий динамического программирования в оптимизации региональной транспортной системы



Александр ШРАМКО

Alexander P. SHRAMKO

Instrumentation of Dynamic Programming in Optimization of a Regional Transport System
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 143)

Исследуются оптимизационные подходы к моделированию транспортной системы региона на основе принципов динамического программирования при соотношении объёмов грузопотоков провозным возможностям транспортной системы с определением рационального маршрута движения принятых к транспортировке грузов. Предлагается методологический инструментарий модернизации региональной транспортной системы.

Ключевые слова: грузопоток, водный транспорт, автопредприятия, железная дорога, региональная транспортная система, динамическое программирование, моделирование, международный транзит.

Шрамко Александр Павлович – кандидат экономических наук, доцент кафедры системного анализа и управления на водном транспорте Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия.

Для эффективного функционирования транспортной системы необходимо сбалансировать провозной и пропускной потенциал сети с потребностями внутреннего и международного транзита. Транспорт – обслуживающая отрасль материального производства, при помощи которой происходит постоянный кругооборот производительного капитала и ритмичное функционирование промышленного производства. Неравномерность роста объёмов перевозок должна компенсироваться ростом потенциала инфраструктуры, потребным количеством подвижного состава, локомотивов и вагонов.

Одним из эффективных методов прогнозирования и проектирования транспортных систем является динамическое программирование (ДП), которое применяется при планировании долгосрочных программ развития, поэтапной модернизации региональной системы товародвижения.

Грузопоток характеризуется вектором: пункт отправления, пункт назначения, класс, род груза, срок доставки, время отправления.

В свою очередь, перевозка грузов связана со схемой (картограммой) грузопотока, скоростью движения, ёмкостью (грузо-

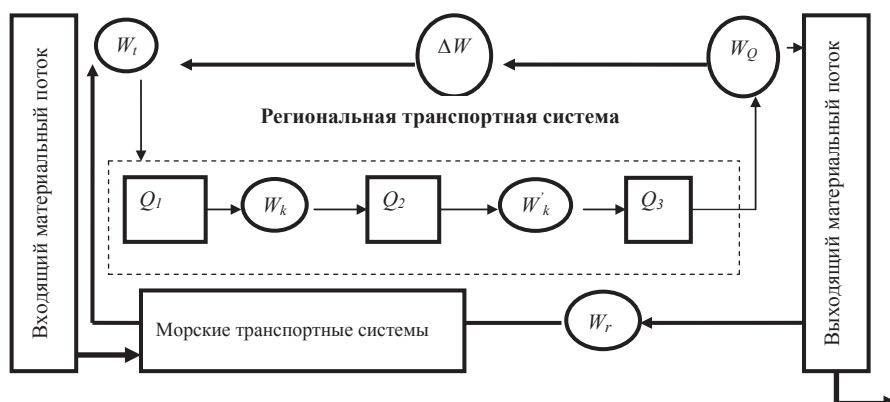


Рис. 1. Принципиальная схема функционирования региональной транспортной системы в составе международного коридора:

W_t – грузопоток транспортного комплекса; W_Q – транспортная продукция; W_r – потребности грузополучателя; W_k – прогнозная провозная возможность транспортного комплекса; W_k – фактическая провозная способность; Q_1 – оператор морского транспорта; Q_3 – оператор железнодорожного транспорта; Q_2 – оператор автомобильного транспорта; ΔW – увеличение (сокращение) грузопотока.

подъёмностью) подвижного состава (чем больше грузоподъёмность, тем меньше себестоимость транспортирования, но больше издержек за счёт простоев). В основе устойчивого грузопотока лежит организация взаимодействия видов транспорта, грузоперерабатывающий потенциал терминалов, оптимальная грузоподъёмность единицы подвижного состава (рис. 1).

Транспортный комплекс является динамической системой, поэтому все фигурирующие в процессе переменные величины функционально зависимы от времени. Любую конечную провозную возможность W_k следует рассматривать в некоторый определённый момент времени t .

Вход – грузопоток транспортного комплекса – также изменяется во времени, поэтому возможны такие состояния системы, когда значения грузопотока будут значительно отличаться от провозной способности комплекса, что может привести к отказам. В этих условиях особый интерес представляет установившийся режим работы, устойчивость процесса во всём диапазоне изменения грузопотока. Для этого необходимо знать величину и закономерности изменения грузопотока транспортного комплекса и его провозного потенциала.

Развитие международных отношений выявило целый ряд дополнительных загруженностей в виде различия технических норм по подвижному составу, транспортным путям, габаритам и массе грузов, своеобразия национальных нормативно-

правовых требований, что создаёт большие задержки при перевалке грузов с одного вида транспорта на другой (особенно при пересечении границ), тем самым увеличивая риски и стоимость.

Характерный с этой точки зрения транспортный комплекс Азово-Черноморского бассейна РФ (рис. 2) представляет собой совокупность различных видов транспорта, действующих на территории региона. Его развитие обусловлено особенностями хозяйственного комплекса, отраслевой и территориальной структурой производства, местом региона в постсоветском разделении труда, географическим положением и рядом других условий и факторов [8].

Потребные провозные возможности транспортного комплекса определяются ростом объёма перевозок. Этот параметр может быть как постоянным, так и переменным. Функция потребности в перевозках предстаёт в виде:

$$Q(t) = Q_{(t-1)} + aA_t + a_1A_{t-1} + a_2A_{t-2}, \quad (1)$$

где $Q(t)$ – прогнозируемый объём перевозки в период t ; $Q_{(t-1)}$ – объём перевозок в предшествующий период; a, a_1, a_2 – постоянные коэффициенты, положительно или отрицательно влияющие на транзит; A_t – число единиц транспортных средств (железнодорожного, автомобильного, морского) за период t .

Потребности в транзите региона и его провозных возможностей:

$$Q = F(A); \dots W_k = \phi(A). \quad (2)$$



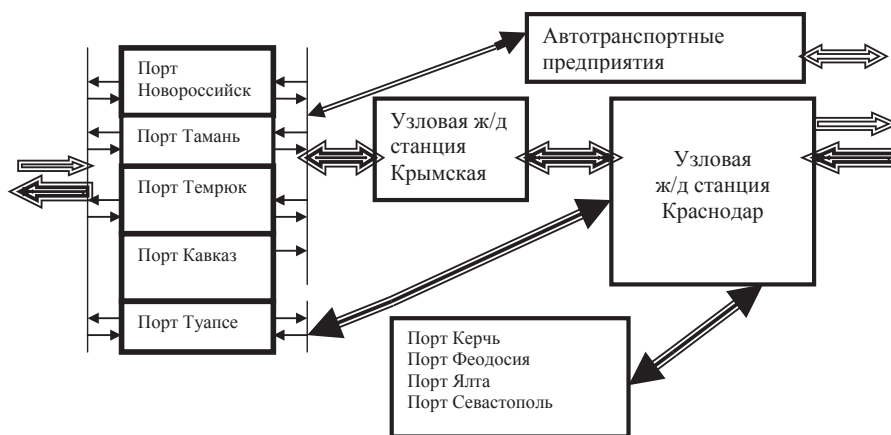


Рис. 2. Принципиальная схема региональной транспортной системы Азово-Черноморского бассейна [6].

Рассматривая транспортную систему региона с позиций динамического программирования, мы осуществляем выбор оптимального плана реализации многоэтапных действий.

Транспортный процесс состоит (организационно и технологически) из m шагов (этапов). На каждом шаге идёт распределение и перераспределение ресурсов с целью улучшения конечного результата. Эти распределения в динамическом программировании называются управлениями операцией и обозначаются буквой u . Эффективность операции в целом оценивается тем же показателем, что и эффективность управления $W(u)$. При этом $W(u)$ зависит от всей совокупности управлений на каждом шаге операции: $W = W(u) = W(u_1, u_2, \dots, u_m)$. Управление, при котором показатель W достигает максимума, становится оптимальным.

Оптимальное управление многошаговым процессом – совокупность оптимальных управлений на каждом этапе: $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$.

В большинстве практических задач показатель эффективности операций представляет собой сумму эффективности действий на всех этапах (шагах) операций:

$W = \sum_{i=1}^m \omega_i$ где ω_i – эффективность операции на i -м шаге. При этом в случае оптимального управления системой $W = \max \sum_{i=1}^m \omega_i$.

Сущность решения задач динамического программирования заключается в следующем [10]:

– оптимизация производится методом последовательных приближений (итераций) в два круга; вначале от последнего шага операции к первому, а затем, наоборот, от первого к последнему;

– на первом круге, идя от последующих шагов к предыдущим, находится так называемое условное оптимальное решение. Оно выбирается таким, чтобы все предыдущие шаги давали максимальную эффективность последующего шага. Иными словами, на каждом шаге ищется такое управление, которое обеспечивает оптимальное продолжение операции. Соответственно и сам принцип выбора управления в этом случае логично считать принципом оптимальности;

– второй круг оптимизации начинается с шага, для которого оптимальное управление известно. Имея для всех шагов после него условные оптимальные управления, определяются решения для каждого последующего шага.

Динамическая модель соотношения грузопотоков и провозной способности транспортного комплекса региона представлена на рис. 3. Прямая $\phi(A)$ на нём отражает возможности и потребности в перевозках грузов, определяемые $F(A)$.

Действия динамической модели соответствуют обозначенным изменениям провозной способности $\phi(A)$ и потребности в перевозках $F(A)$. Положение равновесия между ними фиксирует точка пересечения Q и \bar{W}_k . В начальный период провозной потенциал составляет W_{k0}

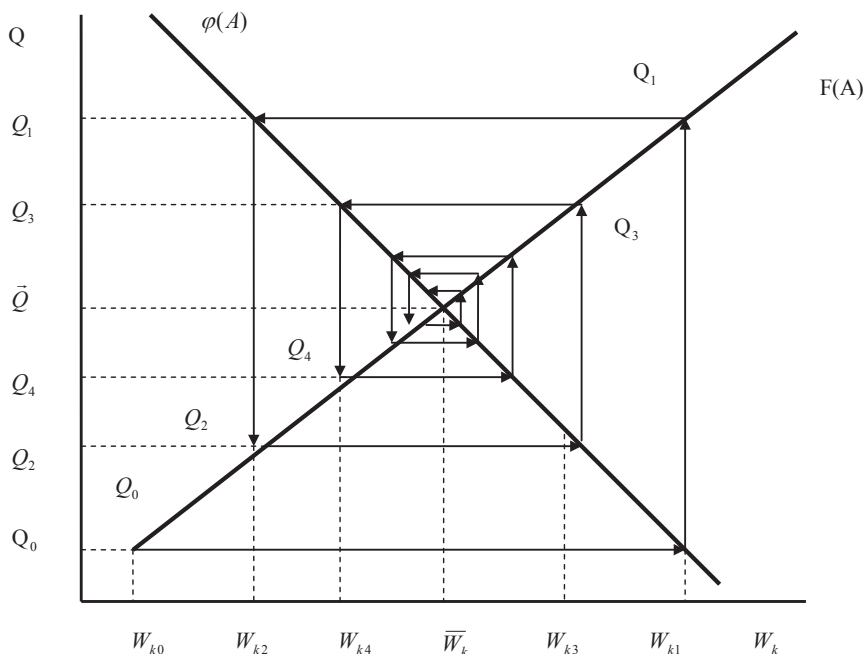


Рис. 3. Динамическая модель соотношения грузопотоков и провозной способности транспортного комплекса региона.

и перевозится Q_0 объём груза, соответствующие точке Q_0 на линии $F(A)$. При недостаточной провозной способности подвижного состава, обеспечивающего транзит, спрос превышает предложение.

С учётом этого во второй период провозные способности составят W_{k1} и будет перевезено Q_1 грузов. От точки Q_1 на линии $F(A)$ движение пойдёт по горизонтали до пересечения с линией $\phi(A)$. Вертикаль, опущенная из точки пересечения, покажет потребные провозные возможности следующего времени интервала, а проекция на ось ординат – объём груза, перевозимого в следующий период. Относительная провозная возможность и объём перевозимого груза являются соответственно координатами точек Q_1, Q_2, Q_3 на кривой, которые тяготеют к точке с координатами \bar{Q}, \bar{W}_k .

Расположение точек Q_1, Q_2, Q_3 зависит от характера зависимостей $\phi(A)$ и $F(A)$. Колебания могут быть затухающими, взрывными и регулярными. Если функции $F(A)$ и $\phi(A)$ заданы уравнениями $F(A) = Q_0 + aA_t; \phi(A) = W_{k0} + bA_t$ (3) (где a и b – постоянные коэффициенты; W_{k0} – провозные возможности транспортного комплекса в предшествующий пери-

од), то соответствие провозной способности объёму перевозок будет выражено уравнениями:

$$\bar{Q} = Q_0 + a\bar{A}_t = W_{k0} + b\bar{A}_t; \quad (4)$$

$$\bar{A}_t = \frac{Q_0 - W_{k0}}{b - a}. \quad (5)$$

В случае, когда происходит отставание провозной способности подвижного состава от потребности в перевозке, уравнение приобретает вид:

$$Q_1 = Q_0 + aA_{t-1} = W_{k0} + bA_t. \quad (6)$$

Проведя преобразование уравнений (3) и (4), получим

$$\Delta A_t = A_t - \bar{A} \quad (7)$$

и в результате $a\Delta A_{t-1} = bA_t$.

Уравнение описывает отклонения от уровня равновесия. Если обозначить $C = a/b$ и поставить его в это уравнение, то получим $\Delta A_t = C\Delta A_{t-1}$. Если известно значение A_0 в момент t_0 , то $\Delta A = A_0 C^t, \dots, A = A + (A_0 - \bar{A})C^t, \dots, \Delta A = A_0 C^t$.

В этом случае $C = \frac{(+a)}{(-b)}$; $\Delta A_t = A_0(-1)^t C^t$

и, следовательно, равно значениям $A_0 C, \dots, A_0 C^2, \dots, A_0 C^3$, так что ΔA_t поочередно приобретает то положительное, то отрицательное значения.



Анализ показывает, что возможны следующие случаи:

1) $a > |-b|$, угол наклона $F(A)$ к оси OA больше, чем угол наклона $\phi(A)$. Если $C > 1$ и ряд последовательных значений ΔA_i являются бесконечно возрастающими по абсолютной величине $\Delta \rightarrow \infty$, имеют место взрывные колебания;

2) $a = |-b|$, т.е. углы наклона $F(A)$ и $\phi(A)$ равны. В этом случае $C = 1$ и ряд значений ΔA_i будет состоять из чередований $(A - \Delta A_i)$ и $(A + \Delta A_i)$, т.е. ΔA_i будет то больше, то меньше W_k на одну и ту же величину;

3) $a < |-b|$, т.е. угол наклона $\phi(A)$ больше, чем $F(A)$. В этом случае $C < 1$ и последовательные ΔA_i уменьшаются по абсолютной величине. Колебания затухающие, стремящиеся к уровню равновесия. Чем больше β по отношению к α , т.е. чем круче $\phi(A)$ по сравнению с $F(A)$, тем скорее будут затухать неравномерности поступления грузов в систему.

Методом динамического программирования могут решаться и задачи, приводящие к сетевым транспортным моделям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инструментарий динамического программирования остаётся востребованным, несмотря на то, что предложенные модели являются довольно общим отображением транспортного процесса, в котором учтены основные взаимосвязи между главными компонентами: транспортной сетью, грузопотоками и потоками транспортных средств, а также количеством грузов на терминалах в порту и на подходах к ним.

Методы динамического программирования ориентированы на повышение эффективности в решении транспортных задач путём их разбиения на относительно небольшие и, следовательно, легко поддающиеся решению подзадачи. При этом принцип оптимальности является основой поэтапности совершаемых действий, однако он не содержит информации о способах решения подзадач, возникающих на каждом этапе. По этой причине принцип оптимальности иногда рассматривается

как слишком общий для того, чтобы быть полезным в практических исследованиях. Возможны ситуации, когда декомпозиция задач осуществлена надлежащим образом, а числовой результат получить не удаётся вследствие большой сложности оптимизационных подзадач, связанных с каждым этапом. Тем не менее следует отметить, что, несмотря на указанные недостатки, метод динамического программирования существенно облегчает решение целого ряда практических задач.

Сформулированная проблема принадлежит к классу задач оптимизации взаимосвязанных потоков на сети: первичного, представляющего поток транспортных средств по транспортной сети, и вторичного — потока перевозимых грузов

ЛИТЕРАТУРА

1. Доенин В. В. Динамическая логистика транспортных процессов. — М.: Спутник+, 2010. — 246 с.
2. Кузнецов А. П. Методологические основы управления грузовыми перевозками в транспортных системах. — М.: ВИНТИ, 2002. — 276 с.
3. Доенин В. В. Моделирование транспортных процессов и систем. — М.: Спутник+, 2012. — 288 с.
4. Шрамко А. П. Теоретико-методологические проблемы повышения конкурентоспособности транспортных коридоров в условиях глобализации на примере Азово-Черноморского бассейна Российской Федерации: Монография. — Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2017. — 250 с.
5. Гасников А. В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учеб. пособие. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: МЦНМО, 2013. — 427 с.
6. Таха Х. А. Введение в исследование операций: Пер. с англ. — 7-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 912 с.
7. Корчагин В. А., Шмырин А. М., Ризаева Ю. Н., Шмырина Т. А. Моделирование иерархической окрестностной логистической транспортно-распределительной системы региона // Транспорт: наука, техника, управление. — 2011. — № 3. — С. 18–21.
8. Шрамко А. П. Системный анализ процессов взаимодействия транспорта в регионе и узлах при увеличении грузопотока // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2014. — № 1. — С. 100–107.
9. Алибеков Б. И. Логистика грузовых перевозок региональных транспортных систем: моделирование и управление. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2010. — 179 с.
10. Мамаев Э. А. Моделирование региональных транспортных систем в условиях конкуренции / Дис... док. техн. наук. — М., 2006. — 348 с.
11. Мамаев Э. А. Динамическая модель инвестиций в развитие основных производственных фондов предприятия // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2004. — № 3. — С. 81–82. ●

Координаты автора: **Шрамко А. П.** — ocenka-shramko@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 12.01.2017, актуализирована 03.04.2017, принята к публикации 23.04.2017.

INSTRUMENTATION OF DYNAMIC PROGRAMMING IN OPTIMIZATION OF A REGIONAL TRANSPORT SYSTEM

Shramko, Alexander P., Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia.

ABSTRACT

Optimized approaches to modeling of a region's transport system based on the principles of dynamic programming are compared with correlation of the volumes of cargo flows with the

transport system's capabilities and the definition of an optimal route of movement for transportation of goods. A methodological tool for modernizing the regional transport system is proposed.

Keywords: water transport, auto enterprises, railway, regional transport system, dynamic programming, modeling, international transit.

Background. For efficient functioning of a transport system, a balanced transport and throughput capacity of the network with the needs of domestic and international transit is necessary. Transport is a servicing branch of material production, through which a constant cycle of productive capital and rhythmic functioning of industrial production take place.

The uneven growth in traffic volumes should be compensated by the growth of infrastructure potential, the required number of rolling stock and cars.

Objective. The objective of the author is to consider dynamic programming in optimization of a regional transport system.

Methods. The author uses general scientific and engineering methods, dynamic programming, mathematical calculation, evaluation approach.

Results. One of the effective methods for forecasting and designing transport systems is dynamic programming (DP), which is used for long-range forecasting and planning, for stage-by-stage modernization of a regional transport system.

A cargo flow is characterized by a vector: point of departure, destination, class, kind of cargo, delivery time, departure time.

In turn, transportation of goods is associated with a scheme (cartogram) of a cargo flow, speed of movement, capacity (carrying capacity) of rolling stock (the higher is carrying capacity, the lower is cost of transportation, but more costs, due to downtime). At the heart of a sustainable cargo flow is organization of interaction of modes of transport, cargo handling capacity of terminals, optimal carrying capacity of a rolling stock unit (Pic. 1).

The transport complex is a dynamic system, therefore all variables appearing in the process are functions of time. Any finite carrying capacity W_k should be considered at some specific time t .

The input – cargo flow of a transport complex – also varies with time, therefore such system states

are possible when the cargo flow values will differ significantly from carrying capacity of the complex, which can lead to failures. In these conditions, a particular interest is the established mode of operation, stability of the process throughout a range of changes in the cargo flow. For this, it is necessary to know the magnitude and regularities of the change in the cargo flow of the transport complex and its carrying potential.

The development of international relations has revealed a number of additional workloads in the form of differences in technical standards for rolling stock, transport routes, dimensions and weight of cargo, originality of national regulatory requirements, which creates great delays in transshipment of goods from one mode of transport to another crossing the borders, thereby increasing risks and costs.

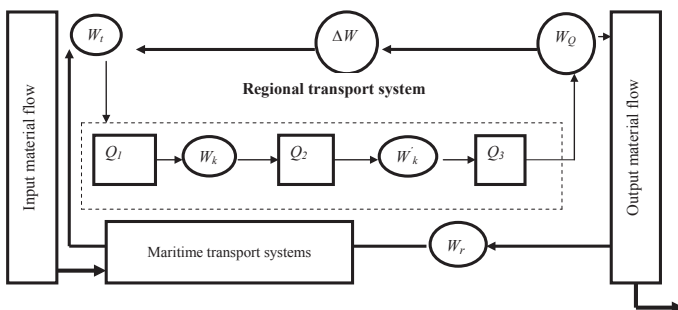
The transport complex of the Azov-Black Sea basin of the Russian Federation, characteristic of this point of view (Pic. 2), is a collection of various modes of transport operating in the region. Its development is due to the features of the economic complex, the sectoral and territorial structure of production, the place of the region in the post-Soviet division of labor, geographical location and a number of other conditions and factors [8].

The required carrying capacities of the transport complex are determined by the growth in the volume of transportation. This parameter can be either constant or variable. The transport demand function appears as:

$$Q(t) = Q_{(t-1)} + aA_t + a_1A_{t-1} + a_2A_{t-2}, \quad (1)$$

where $Q(t)$ – forecasted transportation volume in period t ; $Q_{(t-1)}$ – volume of transportation in the previous period; a, a_1, a_2 – constant coefficients affecting transit positively or negatively; A_t – number of vehicles (railway, road, sea) for the period t .

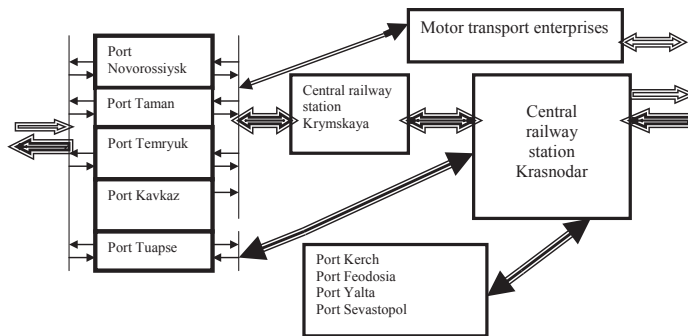
The need of the region for transit and its carrying capacity: $Q = F(A)$; $W_k = \phi(A)$. (2)



Pic. 1. Schematic diagram of functioning of a regional transport system as part of an international corridor: W_t – cargo flow of a transport complex; W_0 – transport products; W_r – needs of a consignee; W_k – forecast carrying capacity of a transport complex; W_k – actual carrying capacity; Q_1 – operator of maritime transport; Q_2 – operator of railway transport; Q_3 – operator of motor transport; ΔW – increase (reduction) of a cargo flow.



Pic. 2. Schematic diagram of the regional transport system of the Azov-Black Sea basin [4].



Considering the transport system of the region from the point of view of dynamic programming, we carry out selection of an optimal plan for implementing multi-stage actions.

The transport process consists (organizationally and technologically) of m steps. At each step there is distribution and redistribution of resources, in order to improve a final result. These distributions in dynamic programming are called operation controls and are denoted by the letter u . The efficiency of the operation as a whole is estimated by the same indicator as the management effectiveness $W(u)$. Moreover, $W(u)$ depends on the whole set of controls at each step of the operation: $W = W(u) = W(u_1, u_2, \dots, u_m)$. The control at which W exponent reaches a maximum becomes optimal.

Optimal control of multi-step process is a set of optimal controls at each stage: $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$.

In most practical tasks, the efficiency indicator of operations is the sum of effectiveness of actions at all stages (steps), operations: $W = \sum_{i=1}^m \omega_i$ where ω_i – efficiency of the operation at the i -th step. In this case, in case of optimal control of the system $W = \max \sum_{i=1}^m \omega_i$.

The essence of solving dynamic programming problems is as follows [6]:

- optimization is made by a method of successive approximations (iterations) in two rounds; first from the last step of the operation to the first, and then, on the contrary, from the first to the last;

- on the first round, going from the next steps to the previous ones, a so-called optimal solution is found. It is chosen in such a way that all the previous steps give the maximum efficiency of the subsequent step. In other words, at each step such control is sought, which gives optimal continuation of operations. Accordingly, it is logical to consider the very principle of choosing control in this case as a principle of optimality;

- the second round of optimization begins with a step for which optimal control is known. Having for all steps after conditional optimal controls solution for each subsequent step is determined.

Dynamic model of the ratio of cargo flows and carrying capacity of the region's transport complex (Pic. 3).

The straight line $\phi(A)$ reflects the possibilities and needs for cargo transportation defined by $F(A)$.

The actions of the dynamic model (Pic. 3) correspond to the indicated changes in the carrying capacity of $\phi(A)$ and the transportation demand determined by $F(A)$. The equilibrium position is fixed by the point of intersection of Q and \bar{W}_k . In the initial

period, the carrying potential is W_{k0} and Q_0 cargo volume is transported, corresponding to the point Q_0 on the line $F(A)$. With insufficient carrying capacity of rolling stock providing transit, demand exceeds supply.

Taking this into account, in the second period the carrying capacity will be W_{k1} and Q_1 cargo will be transported. From point Q_1 on the line $F(A)$, the motion will go horizontally to the intersection with the line $\phi(A)$. The vertical, lowered from the intersection point, will show the required carrying capacity of the next interval time, and on the ordinate axis – the volume of cargo transported in the next period. The relative carrying capacity and the volume of the cargo transported are, respectively, the coordinates of the points Q_1, Q_2, Q_3 on the curve that gravitate toward the point with the coordinates \bar{Q}, \bar{W}_k .

The location of the points Q_1, Q_2, Q_3 depends on the nature of the dependencies $\phi(A)$ and $F(A)$. Oscillations can be fading, explosive and regular. If the functions $F(A)$ and $\phi(A)$ are given by equations $F(A) = Q_0 + aA_i$; $\phi(A) = W_{k0} + bA_i$ (3) (where a and b – constant coefficients; W_{k0} – carrying capacities of the transport complex in the previous period), then the compliance of the carrying capacity to the volume of transportation will be expressed by equations

$$\bar{Q} = Q_0 + a\bar{A}_i = W_{k0} + b\bar{A}_i; \tag{4}$$

$$\bar{A}_i = \frac{Q_0 - W_{k0}}{b - a}. \tag{5}$$

In the event that the carrying capacity of rolling stock lags behind the need for transportation, the equation takes a form:

$$Q_{i+1} = Q_0 + aA_{i-1} = W_{k0} + bA_{i-1} \tag{6}$$

Subtracting equation (6) from equation (5), we obtain

$$\Delta A_i = A_i - \bar{A} \tag{7}$$

and as a result $a\Delta A_{i-1} = bA_{i-1}$.

The equation describes deviations from the equilibrium level. If we denote $C = a/b$ and put it in this equation, we get $\Delta A_i = C\Delta A_{i-1}$. If the value of A_0 is known at time t_0 , then $\Delta A = A_0 C^i, \dots, A = A + (A_0 - \bar{A}) C^i$; $\Delta A = A_0 C^i$.

In this case $C = \frac{(+a)}{(-b)}$; $\Delta A_i = A_0 (-1)^i C^i$ and is

therefore equal to the values $A_0 C^i; \dots, A_0 C^2; \dots, A_0 C^3$, so that ΔA_i acquires alternately a positive or a negative value.

The analysis shows that the following cases are possible:

1) $a > |-b|$, angle of inclination of $F(A)$ to the axis OA is greater than the angle of inclination of $\phi(A)$. In

case $C > 1$ and a series of successive values ΔA_i are infinitely increasing in absolute value $\Delta \rightarrow \infty$, explosive oscillations take place;

2) $a = |-b|$, i.e. angles of inclination of $F(A)$ and $\phi(A)$ are equal. In this case $C = 1$ and a series of values ΔA_i will consist of alternations $(A - \Delta A_i)$ and $(A + \Delta A_i)$, i.e. ΔA_i will be either greater, or less than W_k by the same amount;

3) $a < |-b|$, i.e. angle of inclination of $\phi(A)$ is greater than of $F(A)$. In this case $C < 1$ and successive ΔA_i decrease by absolute value. The oscillations are damped, tending to a level of equilibrium. The greater is β with respect to α , i.e. the steeper is $\phi(A)$ as compared to $F(A)$, the faster the unevenness in the arrival of goods into the system will be attenuated.

The problems that lead to network transport models can be solved by dynamic programming.

Conclusion. The toolkit for dynamic programming remains in demand, despite the fact that the proposed models are a fairly general mapping of the transport process, which takes into account the main interrelationships between the main components: the transport network, freight flows and vehicle flows, as well as the volume of cargoes at terminals in the port and approaches to it.

Methods of dynamic programming are focused on increasing efficiency in solving transport problems by splitting them into relatively small and, therefore, easily solvable subtasks. At the same time, the optimality principle is the basis for step-by-step nature of actions, but it does not contain information on how to solve subtasks arising at each stage. For this reason, the optimality principle is sometimes regarded as too general to be useful in practical research. The situations can arise when decomposition of tasks is carried out properly, but the numerical result cannot be obtained due to the great complexity of optimization subtasks associated with each stage. Nevertheless, it should be noted that, despite these shortcomings, the method of dynamic programming makes it much easier to solve a number of practical tasks [6].

The formulated problem belongs to the class of problems of optimization of interconnected flows on the network: the primary one, representing the flow of vehicles through the transport network, and the secondary one – the flow of transported goods

REFERENCES

1. Doenin, V. V. Dynamic logistics of transport processes [Dinamicheskaja logistika transportnyh processov]. Moscow, Sputnik+ publ., 2010, 246 p.
2. Kuznetsov, A. P. Methodological fundamentals of cargo transportation management in transport systems [Metodologicheskie osnovy upravlenija gruzovymi perevozkami v transportnyh sistemah]. Moscow, VINITI publ., 2002, 276 p.
3. Doenin, V. V. Modeling of transport processes and systems [Modelirovanie transportnyh processov i sistem]. Moscow, Sputnik+ publ., 2012, 288 p.
4. Shramko, A. P. Theoretical and methodological problems of increasing the competitiveness of transport corridors in the context of globalization on the example of the Azov-Black Sea basin of the Russian Federation:

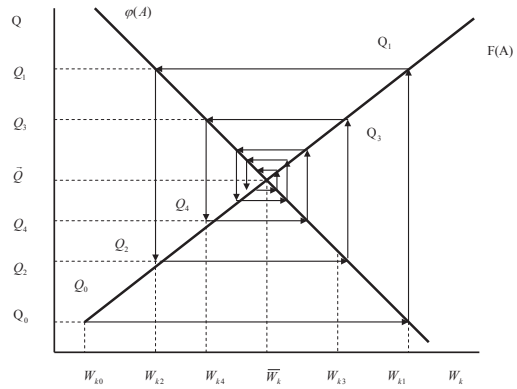


Fig. 3. Dynamic model of the ratio of cargo flows and carrying capacity of the region's transport complex.

Monograph [Teoretiko-metodologicheskie problemy povyshenija konkurentosposobnosti transportnyh koridorov v usloviyah globalizacii na primere Azovo-Chernomorskogo bassejna Rossijskoj Federacii: monografija]. Novorossiysk, Admiral Ushakov Maritime State University, 2017, 250 p.

5. Gasnikov, A. V. [et al]. Introduction to mathematical modeling of transport flows: Educational guide [Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov: Ucheb. posobie]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, MCNMO publ., 2013, 427 p.

6. Taha, H. A. Introduction to the study of operations [Vvedenie v issledovanie operacij]. 7th ed. Trans. From English. Moscow, Williams publ., 2005, 912 p.

7. Korchagin, V. A., Shmyrin, A. M., Rizaeva, Yu. N., Shmyrina, T. A. Modeling of hierarchical neighborhood logistic transport and distribution system of the region [Modelirovanie ierarhicheskoy okrestnostnoj logisticheskoy transportno-raspredelitel'noj sistemy regionala]. Transport: nauka, tehnika, upravlenie, 2011, Iss. 3, pp. 18–21.

8. Shramko, A. P. System analysis of the processes of interaction of transport in the region and nodes with increasing cargo flow [Sistemnyj analiz processov vzaimodejstviya transporta v regione i uzlah pri uvelichenii gruzopotoka]. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija, 2014, Iss. 1, pp. 100–107.

9. Alibekov, B. I. Logistics of cargo transportation of regional transport systems: modeling and management [Logistika gruzovyh perevozkov regional'nyh transportnyh sistem: modelirovanie i upravlenie]. Rostov-on-Don, RGUPS publ., 2010, 179 p.

10. Mamaev, E. A. Modeling of regional transport systems in a competitive environment. D.Sc. (Eng) thesis [Modelirovanie regional'nyh transportnyh sistem v usloviyah konkurencii. Dis... dok. tehn. nauk]. Moscow, 2006, 348 p.

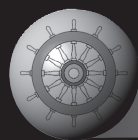
11. Mamaev, E. A. Dynamic model of investment in development of main production assets of an enterprise [Dinamicheskaja model' investicij v razvitie osnovnyh proizvodstvennyh fondov predprijatija]. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija, 2004, Iss. 3, pp. 81–82.

Information about the author:

Shramko, Alexander P. – Ph.D. (Economics), associate professor at the department of System analysis and process management on water transport of Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia, ocenka-shramko@mail.ru.

Article received 12.01.2017, revised 03.04.2017, accepted 23.04.2017.



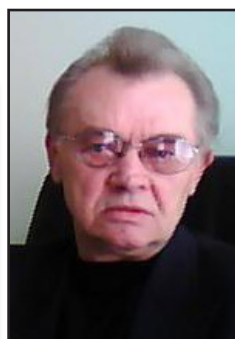


Информация, управление качеством, инженерный менеджмент: общность задач и решений



Владимир АЗАРОВ
Vladimir N. AZAROV

Борис БОЙЦОВ
Boris V. BOITSOV



Валерий МАЙБОРОДА
Valery P. MAIBORODA

Азаров Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.
Бойцов Борис Васильевич – доктор технических наук, профессор Московского авиационного института (МАИ), Москва, Россия.
Майборода Валерий Прохорович – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Information, Quality Management, Engineering Management: Common Tasks and Solutions

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 154)

Оцениваются принципиальные аспекты существующих подходов к управлению организацией, доминанты её устойчивого развития, позволяющие сформировать у специалиста новые дополнительные компетенции, составить теоретическую и практическую базу для подготовки инженера-менеджера. Общность сопутствующих этому задач, решений и синергетика их реализации декларируются в системе приоритетов Всеобщего менеджмента качества (TQM) и современных инновационно-коммуникационных технологий на примере крупных, структурно неоднородных, логистически сложных инфраструктурных систем транспортной индустрии. Авторы ставят цель показать, почему данные положения приобретают особую значимость именно для инфраструктурных транспортно-логистических построений, где цена риска, ошибки, недостаточной защиты информации слишком велика.

Ключевые слова: транспорт, логистика, управление качеством, информация, безопасность, инженерный менеджмент.

Рассматривая синергизм и динамику развития информационных технологий (ИТ), следует прежде всего уточнить, что понимается под термином «информация». Существует большое количество альтернативных смыслов этого термина применительно к различным областям знаний. Основоположник кибернетики и теории искусственного интеллекта Н. Винер, например, считал информацию основополагающим термином, не поддающимся определению в более простых терминах и, в свою очередь, определял её как некую субстанцию, способную передаваться между объектами и системами, при этом не являющуюся материей или энергией.

Математическое определение информации, основанное на противопоставлении понятию энтропии (незнание, хаос, неопределённость), кроме прочего, позволяет сформулировать миссию любого ИТ-специалиста как борьбу с неопределённостью, непрозрачностью, непредсказуемостью системы, как миссию участника процесса автоматизации, модератора хозяйственно-

го, технологического механизма организации. Логическое следствие такого понимания: если в результате деятельности директора по информационным технологиям (Chief Information Officer – CIO) в течение определённого времени количество сбоев автоматизированных систем (признак непредсказуемости) выросло или осталось постоянным, но при этом прозрачность и управляемость бизнеса не увеличились, то у руководства появился кандидат на увольнение.

Не забудем, на снижение энтропии направлены и главные принципы всеобщего менеджмента качества (TQM): системность, процессный подход, принятие решений, основанных на фактах и направленных на достижение долгосрочного успеха путём удовлетворения требований потребителя и обеспечения выгоды для членов организации и общества.

1.

Легко заметить, что миссии IT-специалиста и специалиста в области качества не только пересекаются и синергетически активны, но и фактически должны быть гармонизированы, дополнять друг друга в повседневной деятельности. Особенно явно это проявляется в реорганизации или комплексном внедрении информационных систем и технологий в любой строительной корпорации или организации транспорта. Первым шагом в решении таких задач является описание бизнес-процессов, которые в дальнейшем составят основу системы менеджмента качества, будучи базисом организации. Могут меняться программно-аппаратные средства автоматизации, средства автоматизации проектирования, технологии операций, персонал, участвующий в выполнении операций процесса, но сам процесс не меняется.

Сегодня происходят качественные изменения во всех сферах жизни и хозяйственной деятельности в связи с внедрением принципиально новых средств хранения, обработки и передачи информации, экономика входит в фазу четвёртой по счёту индустриальной революции, а индустрия 4.0 (сила Интернета вещей) определяется десятью технологическими областями.

1. Горизонтальная и вертикальная системная интеграция инфраструктурных и логи-

стических построений. Индустрия 4.0 требует пересмотра отношения к используемым данным и сетям. Ныне это средство взаимодействия не только департаментов внутри предприятия, но и различных предприятий-партнёров в производственном цикле.

2. **Интернет вещей.** Устройства и встроенные датчики инфраструктуры будут обмениваться информацией в режиме реального времени.

3. **Кибербезопасность.** Без неё невозможно создание доверенной среды (принципиально важной для больших транспортно-логистических систем), в которой смогут работать миллиарды устройств и пересекающихся информационных потоков.

4. **Облака.** Задача поддержки множества типов устройств и сенсоров, а также массы генерируемых ими данных наилучшим образом решается при помощи облачных сервисов, которые смогут обеспечить и требуемую скорость обработки данных, и масштабируемость инфраструктурных решений.

5. **Анализ больших данных.** Доступность данных по всем фазам и аспектам разработки, производства и испытаний позволяет точнее планировать бизнес-процессы, инновации, маркетинг и стратегию развития.

6. **Моделирование.** Имея в распоряжении большие данные и большую вычислительную мощность, предприятия смогут виртуально моделировать сценарии использования продукта или услуги, тем самым ускоряя их тестирование и расширяя инновационный процесс: неудачные решения будут выявляться быстро.

7. **Аддитивное производство (3D-печать).** Методы аддитивного производства будут широко применяться для изготовления по индивидуальному заказу небольших партий продуктов, которые призваны сочетать в себе преимущества сложных конструкций при минимальном весе и позволят снизить затраты на транспортировку и сократить складские запасы.

8. **Дополненная реальность.** Работники будут получать инструкции по замене неисправного узла непосредственно в тот момент, когда они его рассматривают. Необходимая информация попадает в поле зрения исполнителя при помощи устройств



дополненной реальности, например «очков».

9. Роботы. В большинстве своём они реализуются в виде механических рук, работающих на сборочных линиях, но их интеллект растёт, что позволяет решать более сложные задачи, нежели выполнение элементарных сборочных или транспортных операций.

10. Смарт-управление. Резкое увеличение мобильности труда любого сотрудника. Инженер-менеджер может работать в ERP-системе со своего смартфона, и производственным процессом можно управлять в удалённом режиме. Благодаря тому, что 3D-печать (она же называется и аддитивным производством) переносит производство ближе к источнику сырья или комплектующих, возможность создавать продукт и управлять его производством с мобильного устройства становится вполне реальной.

Всё это накладывает новые требования на специалиста в области качества и инженерного менеджмента, процессы его подготовки, а внедрение ИТ в системы управления организацией транспортно-строительного комплекса предполагает в первую очередь:

- определение влияния организационно-функциональной структуры организации на архитектуру корпоративной информационной системы (КИС);
- структуру и набор ИТ, которые нужны для повышения эффективности бизнес-процессов в составе каталогов ИТ-сервисов;
- оценку возможности поддержания ИТ-сервисов имеющейся КИС, обоснования её параметров и стоимости;
- расчёт эффективности применяемых ИТ-сервисов и затрат на ИТ;
- оценку влияния нарушения (прерывания) ИТ-сервисов на основные бизнес-процессы;
- оценку рисков нарушения ИТ-сервисов, методов и стоимости информационной защиты;
- разработку метрики ИТ-сервисов и метрики автоматизированных бизнес-процессов;
- создание организационных структур поддержки ИТ-сервисов, систем управления информационной безопасностью и в целом ИТ-инфраструктуры компании.

Понятно, что для эффективного решения перечисленных задач требуются специалисты, имеющие как профессиональные инженерные компетенции, так и компетенции в области менеджмента качества, экономики, ИТ-технологий.

Профессиональные компетенции инженера-менеджера — это системное мышление, межотраслевые коммуникации, управление проектами, бережливое производство, информационно-коммуникационные технологии, робототехника, искусственный интеллект, программирование, отношения с людьми, работа в условиях неопределённости, риски, навыки художественного творчества, экологическое мышление.

К сожалению, современное состояние российского образования характеризуется недостаточным уровнем подготовки инженерных специалистов в области экономики и управления. Это приводит к многочисленным попыткам передать ведущие управленческие позиции в высокотехнологичных областях так называемым «профессиональным менеджерам», большинство из которых не обладают необходимыми инженерными знаниями и системным мышлением, что отрицательно сказывается на эффективности сложных технологичных производств, информационных систем и систем менеджмента качества.

На наш взгляд, образовательная программа подготовки такого специалиста наряду с классическими инженерными дисциплинами транспортно-строительного комплекса, управления качеством и ИТ должна включать следующие «не очень инженерные» разделы:

- тенденции развития информационных технологий управления;
- информационные ресурсы, информация как предмет труда;
- теория качества, цикл постоянного улучшения, инструментарий Парето;
- модель зрелости производственных процессов (СММ);
- основы анализа и проектирования сложных систем;
- анализ и моделирование интегральных бизнес-процессов;
- управление ИТ-услугами и ИТ-сервисами;

- информационная безопасность, управление рисками.

2.

Уточним некоторые аспекты современных подходов к управлению организацией, изучение которых позволит инженеру несколько по-иному взглянуть на своё место в IT-инфраструктуре компании, сформировать у него новые дополнительные компетенции, а главное – составит надёжную теоретическую и практическую базу для начинающего инженера-менеджера.

В современных условиях масштабные задачи, стоящие перед программистами, подчас оказываются настолько сложными, что автоматизация процессов на текущем уровне технологий либо не представляется возможной, либо не является рентабельной. То есть сложность обрабатываемых процессов и объектов инфраструктуры достигла уровня, на котором затруднено получение быстрого и гарантированного результата в части автоматизации, а обрабатывающие автоматизированные системы, включающие и обслуживающий персонал, в силу своей сложности демонстрируют непредсказуемость, выражающуюся в снижении надёжности.

Это явление в индустрии информационных технологий начало проявляться достаточно давно и к настоящему времени приобрело характер кризиса, который привёл к выделению двух направлений развития: разработка методов управления информационными системами с особым упором на их «человеческую» составляющую и применение методов формализованного описания объектов реального мира на языках, с одной стороны, приближенных к естественному, с другой – строгих для того, чтобы обеспечить облегчённое «машинное» представление (программирование).

Логическим результатом первой тенденции «сопротивления кризису» стало появление стандартов, наборов рекомендаций и моделей управления IT-службами – ISO 20000, COBIT, Information Technology Infrastructure Library (ITIL), Capability Maturity Model (СММ) и др. В общем виде идеологию этой тенденции отражают слова: «лучшая практика – это следование лучшим практикам». При этом «лучшие

практики» закрепляются в постоянно обновляющихся стандартах, что сопровождается и доработкой соответствующих методик объективной оценки соответствия организаций их требованиям.

В рамках второй тенденции развития IT-технологий создан значительный задел в виде парадигмы объектно-ориентированного проектирования автоматизированных систем и универсального языка моделирования UML (Universal Modeling Language). Продолжаются работы и по развитию универсальных форматов описания документов – XML.

В системе лучших практик особое место отводится моделям зрелости производственных процессов. В середине 80-х годов прошлого века по инициативе министерства обороны США одним из подразделений Carnegie Mellon University (Software Engineering Institute – SEI) была разработана первая модель зрелости организации – Capability Maturity Model (СММ). Цель её создания – обеспечить предсказуемый уровень качества программного обеспечения сторонних разработчиков путём их ранжирования по эффективности внутренних процессов производства. Идеология проекта – базовый постулат теории качества: качественный продукт может производиться только при условии существования качественных производственных процессов. Основа начальной версии модели – матрица зрелости управления качеством (Quality Management Maturity Grid – QMMG), предложенная в [1]. В ноябре 2011 года выпущена очередная версия – 1.3 СММ (I – integration или объединённая), которая содержит пять уровней зрелости организации:

- Initial (начальный);
- Managed (управляемый);
- Defined (регламентированный);
- Quantitatively Managed (количественно управляемый);
- Optimizing (оптимизированный).

Рост зрелости организации предполагает возрастание качества услуг или производимых продуктов, снижение рисков и персональной зависимости, снижение внутренних и внешних конфликтов, а также переход от управления проектами к практике управления процессами.



На основе первичных описательных характеристик уровней модель СММ предоставляет относительно простой инструмент для экспресс-оценки текущего состояния организации и выработки первичных рекомендаций по формированию стратегии развития. Модель уделяет значительное внимание явлению «конфликта», могущему заявить о себе на различных этапах реализации проектов и выполнения процессов. При этом конфликт рассматривается как феномен неизбежный, часто полезный и требующий управления. Причём управление конфликтами — это управление процессом адаптации организации к изменяющимся внешним условиям, а также её элементов друг к другу. Наличие, величина и эффективность разрешения конфликтов непосредственно связываются с достижением определённого уровня зрелости и служат его характеристикой.

Такой подход полностью соответствует положениям теории сложных систем, где конфликт рассматривается как естественный процесс их взаимодействия в рамках процесса развития.

Что такое сложный или простой проект, сложная или простая система?

Между простой и сложной системами существует своя граница: если система состоит из менее чем восьми объектов, то она простая, а при более восьми элементах она сложная. Критерием в данном случае является способность мозга человека (наблюдателя) контролировать некоторое количество объектов одновременно [2].

В математической теории различают два основных показателя сложности: статическую сложность и динамическую сложность. Под статической понимают количество объектов, входящих в систему, и количество связей между ними. Динамическая — учитывает изменяющиеся с течением времени процессы, происходящие в системе (между составляющими объектами) и с её участием. Дополнительную проблему в анализе и проектировании сложных систем представляет тот факт, что при объединении (взаимодействии) двух или нескольких из них объединённая система получает набор так называемых эмергентных свойств и параметров, не являющийся суммой параметров и свойств вошедших в неё совокупностей. Часто из

наличия данных свойств выводят определение системы как синергетической сущности, состоящей из множества элементов, которые при объединении обеспечивают проявление новых значимых системообразующих качеств. Именно поэтому в инженерной практике часто возникает ситуация, когда совмещение эффективно работающих подсистем приводит к нарушению корректного функционирования системы в целом.

3.

С инженерной точки зрения важно то, что едва ли не любая функционирующая система (организационная, информационная, механическая, электронная и т.д.) является сложной системой и, как следствие, не поддаётся эффективному анализу, прогнозированию и контролю, поскольку нередко состоит даже не из десятков, а из миллионов элементов, динамически взаимодействующих друг с другом. Системы менеджмента качества, системы бизнес-процессов организации, КИС безоговорочно относятся к классу сложных систем. Поэтому подходы к их анализу и проектированию всегда инвариантны. И в данном случае не обойтись без методологии, которую часто называют системным мышлением, предполагающим совмещение видения комплексности любого объекта и его включённости в другие системы в зависимости от цели рассмотрения. При этом деление реального мира на отдельные системы и уровень детализации определяются сообразно пониманию ограничений рассмотрения, исключительно по воле наблюдателя, исходя из краткосрочных целей его деятельности, и должны меняться при изменении исходных установок.

Собственно, потому при разработке функциональных требований к автоматизированной системе необходимо корректно выбирать уровень рассмотрения (уровень детализации). На этом этапе проектирования система фигурирует как целостная сущность, взаимодействующая с другими автоматизированными системами и пользователями — так называемый «чёрный ящик». Однако описание в требованиях отдельных элементов проектируемой системы было бы излишним, ибо тогда игнорируется ограниченность способности



автора требований и других заинтересованных лиц (заказчика, исполнителя и т.д.) эффективно, с минимальным количеством ошибок анализировать реальные потребности предметной области и суметь выполнить согласование проектного документа на нескольких уровнях детализации одновременно.

Описанный подход в инженерной методологии называют абстрагированием. В общем случае **абстрагирование** — это исключение из рассмотрения деталей системы (или её связей), несущественных для проектировщика на текущем этапе работы.

Частой ошибкой проектирования является попытка восприятия системы без точной привязки к моменту времени или этапу жизненного цикла проекта (продукта). В этом случае трудно реализовать своё представление о системе без фиксации целевого состояния проекта, оно как бы растянуто по времени, причём на неограниченную перспективу. Именно в такой ситуации в функциональных требованиях появляются пункты о «возможности гибкой настройки пользователем», «универсальности», «поддержке разнородных перспективных платформ» и т.д. Получается, проектировщик или руководитель проекта значительно усложняют свою задачу за счёт увеличения динамической сложности.

В целом же, надо заметить, абстрагирование предусматривает сознательное и обоснованное наложение максимального количества ограничений на проектируемую систему или реализуемый проект, исходя из приоритетов оперативных целей, существующих в текущий момент времени.

Следующий подход — **иерархия** — является противоположностью и одновременно дополнением абстрагирования. При абстрагировании не берутся во внимание внутренние детали системы и анализ или проектирование не могут быть полностью выполнены. Иерархия позволяет устранить этот недостаток. Рассмотрев систему в целом, мы можем выполнить её декомпозицию на ограниченное количество элементов (подсистем), которые на следующем этапе будут подвергнуты индивидуальному анализу в качестве «чёрных ящиков». Учитывая наличие границы между простой и сложной системами, число таких элементов на каждом этапе детализации не должно превышать определённого предела, чтобы сохранить представление об их взаимодействии в процессе работы.

Подобную декомпозицию проводят неоднократно до достижения необходимого уровня детализации, создавая таким образом иерархию представлений, которые на каждом из уровней доступны для вос-



приятия аналитиком. Этот аналитик может быть в свою очередь принадлежностью иерархической организационной структуры, в которой на верхнем уровне детализации оказывается, например, генеральный конструктор, или выполнять свою работу, последовательно перемещаясь между уровнями «сверху—вниз» или элементами декомпозиции в рамках одного уровня детализации.

При проведении декомпозиции на различных этапах и уровнях детализации могут быть использованы различные принципы и критерии. В инженерной практике наиболее часто декомпозиция проводится по функциональному признаку с учётом возможности эволюции или индивидуального жизненного цикла элемента как самостоятельного продукта. Например, при разработке сложного программного комплекса выделяются элементы, которые могут в дальнейшем модернизироваться и продаваться в качестве самостоятельных программных продуктов. Другой инженерный подход к декомпозиции использует критерии поддержания равного уровня сложности разделяемых элементов при минимизации взаимосвязей между ними. Типичный образец такой декомпозиции — автоматическая компоновка электронных компонентов и проводников на слоях печатных плат.

Пределом декомпозиции при анализе или проектировании служит достижение уровня, на котором составляющие подсистемы могут быть представлены типовыми унифицированными сущностями. Это фактически и есть третий важнейший подход в инженерной методологии сложных систем — **унификация**.

При этом эффективным инструментом анализа и проектирования становится **визуализация**, позволяющая активизировать интуитивное и образное мышление аналитика и проектировщика. Визуализация предполагает наряду с созданием графических изображений материальных объектов различного уровня детализации разработку абстрактных схем различного типа, для анализа и оптимизации которых с успехом применяются формальные математические методы теории графов. Основными здесь являются структурные схемы, которые содержат информацию об элементах сис-

темы и их связях на текущем уровне рассмотрения, и функциональные схемы, которые детализируют информацию о функциях элементов и связей между ними.

4.

На практике используется большое количество стандартных схем, иллюстрирующих протекание процессов. К таким относятся, например, IDEF0-диаграммы, которые позволяют стандартным графическим языком описать последовательность выполнения операций.

На этапе первичного описания автоматизированных систем достаточно эффективным считается также применение так называемых стандартных «диаграмм прецедентов» или «диаграмм вариантов использования» (use case), которые являются частью универсального языка моделирования UML (Universal Modeling Language).

Принципиально то, что система организации предусматривает исполнителей, используемые ими инструменты и оборудование, методы и процедуры работы. Эти составляющие поддаются замене — специалист может занять вакансию и покинуть её, оборудование заменяется в связи с реальным или моральным износом, отдельные процедуры и технологические методы, формы услуги могут совершенствоваться, замещаться или исключаться. При этом функционирование организации, предоставление услуг и выпуск продуктов с её стороны сохраняются за счёт поддержания компоненты, объединяющей все составляющие процесса. То есть процессный подход остаётся основой управления и организации ИТ-услуг, ИТ-сервисов, направленных на обеспечение качества и удовлетворение потребностей бизнеса.

Управление ИТ-услугами реализуется их поставщиками путём использования наиболее рационального сочетания людей, процессов и информационных технологий.

По мере расширения круга задач, которые могут быть решены с применением информационных технологий, и перевода всё большего числа бизнес-процессов в цифровую форму роль ИТ-отделов кардинально меняется. Успех фирмы сегодня в значительной степени зависит от того, насколько эффективно и качественно её

IT-служба помогает решать управленческие задачи, поддерживать конкурентоспособность и удовлетворять растущие запросы потребителей. Для качественного сервисного обслуживания необходимо чётко обозначить набор оказываемых услуг и сделать их доступными для тех, кто в них нуждается.

Более того, само понятие IT-услуги неразрывно связано с управлением качеством и опирается на измеримые метрики, достоверные сведения. Не следует рассматривать IT-услуги как нечто статичное — они естественным образом изменяются в соответствии с теми задачами и потребностями, которые их порождают и сопровождают на протяжении всего жизненного цикла.

Причём одной из обязательных сфер деятельности в области инженерного менеджмента, IT-технологий и управления качеством является обеспечение информационной безопасности, уровня синергетического взаимодействия с системой транспортной безопасности. Хотя часто безопасность информационных технологий и её корреляция с транспортной безопасностью не вполне точно понимаются как руководством организаций, так и сотрудниками. Между тем, организация безопасности и контроль качества — две первейшие задачи для любого предприятия. Организация безопасности — это защита от угроз, а контроль качества — обеспечение запланированного и стабильного производства продукции или услуг.

Подчеркнём: на пути нашего перехода от индустриального общества к обществу знаний информация является основополагающей. Поэтому она должна быть защищена [3, 4], что для многих предприятий также будет означать и фундаментальные изменения в сознании людей, ведь и в этой сфере никто не отменял так называемый человеческий фактор. Невозможно представить реализацию бизнес-процессов без информационной поддержки, а информационные технологии не считать залогом предпринимательского успеха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для инфраструктурных транспортно-логистических построений, где цена риска и ошибки слишком велика, рассмотренные в статье положения имеют особую значимость. Обеспечить информационную безопасность — это значит перейти от неопределённого уровня безопасности к заданному путём внедрения организационных мероприятий, реализуемых в рамках всей компании. К таким мероприятиям в первую очередь следует отнести разработку политики локальной безопасности на каждой из ступеней иерархической лестницы организации. Постоянно применяемые на профессиональном уровне механизмы контроля качества в конечном итоге должны содействовать и укреплению безопасности. При этом целостная система управления информационной безопасностью хотя и состоит из сходных организационных и технических компонентов, но будет разной для тех или иных компаний в зависимости от бизнес-моделей, степени формирования процесса электронного оборота IT-инфраструктуры, средств связи и структуры охраны, а также общей исполнительской дисциплины.

Совершенно очевидно, что цели обеспечения информационной безопасности и требования к качеству продукции и услуг должны быть гармонизированы и взаимно увязаны на технологическом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crosby, Philip B. Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain. McGraw-Hill, 1979, 309 p. [Русский текст Электронный ресурс]: <http://www.pqm-online.com/assets/files/lib/books/crosby1.pdf>. Доступ 31.07.2017.
2. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений / Грэди Буч, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коаллен, Келли А. Хьюстон. — 3-е изд. — М.: Вильямс, 2010. — 720 с.
3. Международный стандарт ISO/IEC27001:2005 «Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования». — М.: ИСО/МЭК, 2005; ЗАО «Технорматив», 2006.
4. Международный стандарт ISO/IEC27002:2005 «Информационные технологии. Свод правил по управлению защитой информации». — М.: ИСО/МЭК, 2005; ЗАО «Технорматив», 2007.

Координаты авторов: **Азаров В. Н.** — vazarov52@gmail.com, **Бойцов Б. В.** — kaf104@mai.ru, **Майборода В. П.** — qm-miit@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 03.04.2017, принята к публикации 31.07.2017.



INFORMATION, QUALITY MANAGEMENT, ENGINEERING MANAGEMENT: COMMON TASKS AND SOLUTIONS

Azarov, Vladimir N., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

Boitsov, Boris V., Moscow Aviation Institute (MAI), Moscow, Russia.

Maiboroda, Valery P., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The principal aspects of existing approaches to management of organization, dominants of its sustainable development, allowing to form new additional competences for a specialist, to form a theoretical and practical basis for training of an engineer manager are considered. The generality of the accompanying tasks, solutions and synergy of their implementation are declared in the system of

priorities of Total Quality Management (TQM) and modern innovation and communication technologies on the example of large, structurally heterogeneous, logistically complex infrastructural systems of the transport industry. The authors set a goal to show why these provisions acquire special significance precisely for infrastructure transport and logistics structures, where the price of risk, error, insufficient protection of information is too great.

Keywords: transport, logistics, quality management, information, security, engineering management.

Background. Considering the synergy and dynamics of development of information technology (IT), it is necessary to clarify first of all what is meant by the term «information». There is a large number of alternative meanings of this term applied to various fields of knowledge. The founder of cybernetics and the theory of artificial intelligence N. Wiener, for example, considered information to be a fundamental term that could not be defined in simpler terms and, in turn, defined it as a certain substance capable of being transmitted between objects and systems, while not being matter or energy.

The mathematical definition of information based on the opposition of the concept of entropy (ignorance, chaos, uncertainty), among other things, allows the mission of any IT specialist to be formulated as a struggle against uncertainty, opacity, unpredictability of the system as a participant in the automation process, moderator of the economic, technological mechanism of organization. The logical consequence of this understanding is that if, as a result of the activity of the Chief Information Officer (CIO), the number of failures of automated systems (a sign of unpredictability) has increased or remained constant for a certain time, but transparency and manageability of the business has not increased, then the management has a candidate for dismissal.

In turn, the main principles of the Total Quality Management (TQM) are aimed at decreasing entropy: a systematic approach, a process approach, decision-making based on facts and aimed at achieving long-term success by satisfying customer requirements and providing benefits to members of organization and society.

Objective. The objective of the authors is to consider different issues related to information, quality management and engineering management.

Methods. The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, economic assessment methods.

Results.

1.

It is easy to see that the missions of an IT specialist and a specialist in the field of quality not only intersect and are synergistically active, but in fact they should be harmonized and complement each other in their daily activities. This is particularly evident in reorganization or integrated implementation of information systems and technologies in any construction corporation or transport organization. The first step in solving such problems is description of business processes, which in future will form the basis of a quality management system, being a basis of an organization. Software and hardware automation tools, design automation tools, operation

techniques, staff involved in performing process operations can change, but the process itself does not change.

Today, qualitative changes occur in all spheres of life and economic activity in connection with introduction of fundamentally new means of storing, processing and transmitting information, the economy enters the fourth phase of the industrial revolution, and the industry 4.0 (the power of the Internet of things) is determined by ten technological areas.

1. Horizontal and vertical system integration of infrastructure and logistics structures. Industry 4.0 requires a review of the attitude to the data and networks used. Now this is means of interaction of not only departments within the enterprise, but also of various partner enterprises in the production cycle.

2. Internet of things. Devices and built-in infrastructure sensors will exchange information in real time.

3. Cybersecurity. Without it, it is impossible to create a trusted environment (which is essential for large transport and logistics systems), in which billions of devices and intersecting information flows can work.

4. Clouds. The task of supporting many types of devices and sensors, as well as the mass of data generated by them, is best solved by using cloud services that can provide both the required processing speed and scalability of infrastructure solutions.

5. Analysis of big data. The availability of data for all phases and aspects of development, production and testing allows to more accurately plan business processes, innovation, marketing and development strategy.

6. Modeling. With the availability of big data and large processing capacity, enterprises can virtually simulate the use of a product or service, thereby speeding up their testing and expanding the innovation process: unsuccessful solutions will be identified quickly.

7. Additive production (3D printing). Additive production methods will be widely used for production of small batches of products on individual order, which are designed to combine the advantages of complex structures with minimum weight and will reduce transportation costs and reduce inventory.

8. Augmented reality. Workers will receive instructions on how to replace a faulty node directly when they are reviewing it. The necessary information falls into the field of view of the performer with the help of devices of augmented reality, for example «glasses».

9. Robots. For the most part, they are realized in the form of mechanical hands working on assembly lines, but their intelligence grows, which allows solving more complex tasks than performing basic assembly or transport operations.

10. Smart management. A sharp increase in the mobility of any employee. An engineer manager can work in the ERP-system from his smartphone, and the production process can be managed remotely. Due to the fact that 3D-printing (also called additive production) transfers production closer to the source of raw materials or components, the ability to create a product and manage its production from a mobile device becomes quite real.

All this imposes new demands on a specialist in the field of quality and engineering management, the processes of its preparation, and the introduction of IT into the management systems of the organization of the transport and construction complex involves, first of all:

- determination of the impact of the organizational and functional structure of the organization on the architecture of the corporate information system (CIS);
- the structure and set of IT that are needed to improve the efficiency of business processes in the catalogs of IT services;
- evaluation of the possibility of maintaining the IT services of the current CIS, the rationale for its parameters and cost;
- calculation of the efficiency of applied IT-services and IT costs;
- evaluation of the impact of disruption (interruption) of IT services on the main business processes;
- assessment of the risks of violation of IT services, methods and cost of information protection;
- development of the IT services metric and metrics of automated business processes;
- establishment of organizational structures to support IT services, information security management systems and the company's IT infrastructure in general.

It is clear that for the effective solution of the above tasks specialists are required who have both professional engineering competencies and competence in the field of quality management, economics, and IT technologies.

Professional competences of an engineer manager are system thinking, inter-industry communications, project management, lean manufacturing, information and communication technologies, robotics, artificial intelligence, programming, relationships with people, work in uncertainty, risks, skills of creativity, ecological thinking.

Unfortunately, the current state of Russian education is characterized by an insufficient level of training of engineering specialists in the field of economics and management. This leads to numerous attempts to transfer the leading managerial positions in high-tech areas to so-called «professional managers», most of whom do not possess the necessary engineering knowledge and system thinking, which adversely affects the effectiveness of complex technological production, information systems and quality management systems.

In our opinion, the educational program for training of such a specialist along with the classical engineering disciplines of the transport and construction complex, quality management and IT should include the following «not very engineering» sections:

- trends in development of information technology management;
- information resources, information as an object of work;
- quality theory, a cycle of continuous improvement, the Pareto toolkit;
- maturity model of production processes (CMMI);
- basics of analysis and design of complex systems;
- analysis and modeling of integrated business processes;
- management of IT-services;
- information security, risk management.

2.

Let's consider some aspects of modern approaches to management of an organization, the study of which will allow an engineer to take a slightly different look at his place in the company's IT infrastructure, to form

new additional competencies for a specialist and to make a theoretical and practical training base for an engineer manager.

In modern conditions, the large-scale tasks facing programmers are sometimes so complex that the automation of processes at the current level of technologies is either not possible or not cost-effective. That is, the complexity of the processes and objects of the infrastructure that have been processed has reached a level at which it is difficult to obtain a quick and guaranteed result in automation, and processing automated systems, including the servicing staff, demonstrate unpredictability, due to their complexity, in terms of reduced reliability.

This phenomenon in the information technology industry began to manifest itself quite a long time ago and by now has become a crisis that led to identification of two areas of development: development of management methods for information systems with special emphasis on their «human» component and application of methods of formalized description of real world objects in languages, on the one hand, close to the natural, on the other – rigorous in order to provide a facilitated «machine» representation (programming).

The logical result of the first trend of «resistance to the crisis» was the emergence of standards, sets of recommendations and models of management of IT services – ISO 20000, COBIT, Information Technology Infrastructure Library (ITIL), Capability Maturity Model, etc. In general, the ideology of this trend is reflected in the words: «best practice – this is adherence to the best practices». At the same time, «best practices» are fixed in constantly updated standards, this process is accompanied by completion of appropriate methods of objective assessment of organizations' compliance with their requirements.

Within the framework of the second trend of IT technologies development, a significant reserve has been created in the form of the paradigm of object-oriented design of automated systems and the universal modeling language UML (Universal Modeling Language). Work continues on development of universal formats for document description – XML.

In the system of best practices, a special place is given to maturity models of production processes. In the mid-1980s, the first model of the company's maturity, the Capability Maturity Model (CMM), was developed by Carnegie Mellon University (SEI) at the initiative of the US Department of Defense. The purpose of its creation is to provide a predictable level of quality of third-party software by means of their ranking by the efficiency of internal production processes. The ideology of the project is the basic postulate of the theory of quality: a quality product can only be produced if there are qualitative production processes. The basis of the initial version of the model is the maturity matrix of quality management (Quality Management Maturity Grid – QMMG), proposed in [1]. In November 2011, the next version was released – 1.3 CMMI (I–integration or combined), which contains five levels of maturity of the organization:

- initial;
- managed;
- defined;
- quantitatively Managed;
- optimizing.

The growth of the organization's maturity implies an increase in the quality of services or products, reducing risks and personal dependence, reducing internal and external conflicts, and moving from project management to process management.

Based on the primary descriptive characteristics of the levels, the CMM model provides a relatively simple tool for rapid assessment of the current state of



the organization and the development of primary recommendations for a development strategy. The model pays much attention to the phenomenon of «conflict», which can manifest itself at various stages of project implementation and process implementation. At the same time, the conflict is viewed as a phenomenon inevitable, often useful and requiring management. Moreover, conflict management is the management of the organization's adaptation process to changing external conditions, as well as its elements to each other. The presence, size and effectiveness of conflict resolution are directly related to the achievement of a certain level of maturity and serve as its characteristic.

This approach fully corresponds to the provisions of the theory of complex systems, where conflict is considered as a natural process of their interaction within the development process.

What is a complex or simple project, a complex or simple system?

Between simple and complex systems, there is a boundary: if the system consists of less than eight objects, then it is simple, and for more than eight elements it is complex. The criterion in this case is the ability of the human brain (observer) to control a number of objects at a time [2].

In mathematical theory, there are two main indicators of complexity: static complexity and dynamic complexity. A static complexity is a number of objects entering the system, and a number of connections between them. Dynamic – takes into account the processes that change over time, occurring in the system (between constituent objects) and with its participation. An additional problem in the analysis and design of complex systems is the fact that when two or more of them merge (join) two or more of them, the combined system receives a set of so-called emergent properties and parameters that is not the sum of parameters and properties of the constellations included in it. Often, from the presence of these properties, the definition of the system as a synergetic entity consisting of a number of elements is derived, which, when combined, ensure the appearance of new significant system-forming qualities. That is why in engineering practice there is often a situation when the combination of effectively operating subsystems leads to a violation of the correct functioning of the system as a whole.

3.

From an engineering point of view, it is important that almost any functioning system (organizational, information, mechanical, electronic, etc.) is a complex system and, as a result, it cannot be effectively analyzed, forecasted and controlled, since it often consists not even of dozens, but of millions of elements dynamically interacting with each other. Quality management systems, business process systems of the organization, CIS unconditionally belong to the class of complex systems. Therefore, approaches to their analysis and design are always invariant. And in this case, one cannot do without a methodology, which is often called systemic thinking, which assumes the combination of a vision of the complexity of any object and its inclusion in other systems, depending on the purpose of the examination. In this case, the division of the real world into separate systems and the level of detail are determined in accordance with the understanding of the limitations of consideration, solely by the will of the observer, based on the short-term goals of his activity, and should change with the changes in the initial settings.

Actually, therefore, when developing functional requirements for an automated system, it is necessary to choose the level of consideration (level of detail) correctly. At this design stage, the system appears as an integral entity that interacts with other automated systems and users – the so-called «black box». However, the description of the individual elements of the system being designed in the requirements would be redundant,

since the limitations of the ability of the author of requirements and other interested persons (the customer, the executor, etc.) are effectively ignored, with minimal errors, to analyze the real needs of the domain and be able to agree on the project document at several levels of detail at the same time.

The described approach in engineering methodology is called **abstraction**. In general, abstraction is an exception to the consideration of the details of the system (or its links) that are not relevant to the designer at the current stage of work.

A frequent design error is an attempt to perceive the system without an exact binding by the time or stage of the life cycle of the project (product). In this case, it is difficult to realize the idea of the system without fixing the target state of the project, it is as if stretched in time, and for an unlimited perspective. It is in this situation that the functional requirements contain clauses on «flexibility of user customization», «universality», «support for heterogeneous perspective platforms», etc. It turns out, the designer or the project manager considerably complicates the task at the expense of increase in dynamic complexity.

In general, it should be noted that abstraction involves a conscious and justified imposition of a maximum number of restrictions on the projected system or the project being implemented, proceeding from the priorities of the operational objectives existing at the current time.

The next approach – **the hierarchy** – is the opposite and at the same time the addition of abstraction. When abstracting, internal parts of the system are not taken into account and analysis or design cannot be fully implemented. Hierarchy allows to eliminate this flaw. Considering the system as a whole, we can perform its decomposition into a limited number of elements (subsystems), which in the next stage will be subjected to individual analysis as «black boxes». Given the existence of a boundary between simple and complex systems, the number of such elements at each stage of detailing should not exceed a certain limit in order to preserve the idea of their interaction in the process of work.

Such a decomposition is carried out repeatedly until the required level of detail is achieved, thus creating a hierarchy of representations that are accessible to the analyst at each level. This analyst may in turn be a part of a hierarchical organizational structure in which, for example, a general designer appears at the top level of detail, or perform his work, moving consistently between «top-down» levels or decomposition elements within a single level of detail.

In case of decomposition at different stages and levels of detail, different principles and criteria can be used. In engineering practice, decomposition is most often performed according to a functional feature, taking into account the possibility of evolution or the individual life cycle of an element as an independent product. For example, when developing a complex software package, elements that can be upgraded and sold as stand-alone software products are highlighted. Another engineering approach to decomposition uses the criteria for maintaining an equal level of complexity of shared elements while minimizing the interrelations between them. A typical example of such a decomposition is the automatic arrangement of electronic components and conductors on layers of printed circuit boards.

The limit of decomposition in analysis or design is the achievement of a level at which the constituent subsystems can be represented by standard unified entities. This is actually the third most important approach in the engineering methodology of complex systems – **unification**.

At the same time, an effective tool for analysis and design is **visualization**, which allows to activate the intuitive and imaginative thinking of the analyst and the designer. Visualization involves, along with the creation of graphic images of material objects of various levels

of detail, the development of abstract schemes of various types, for the analysis and optimization of which the formal mathematical methods of graph theory are successfully applied. The main things here are the structural diagrams that contain information about the elements of the system and their relationships at the current level of consideration, and functional diagrams that detail the information about the functions of the elements and the relationships between them.

4.

In practice, a large number of standard schemes are used to illustrate the processes. These include, for example, IDEF0-diagrams, which allow the standard graphical language to describe the sequence of operations.

At the stage of the primary description of automated systems, the use of so-called standard «case diagrams» or «use case diagrams», which are part of the universal modeling language UML (Universal modeling language), is also considered quite effective.

Fundamentally, the system of the organization includes performers, tools and equipment used by them, methods and procedures of work. These components are amenable to replacement – an expert can take a vacancy and leave it, equipment is replaced in connection with real or moral depreciation, individual procedures and technological methods, forms of services can be improved, replaced or excluded. At the same time, the functioning of the organization, the provision of services and the release of products from its side are maintained by maintaining a component that unites all the components of the process. That is, the process approach remains the basis for management and organization of IT services, IT-services aimed at ensuring quality and meeting business needs.

Management of IT-services is realized by their suppliers by using the most rational combination of people, processes and information technologies.

As the range of tasks that can be solved with the use of information technology and the transfer of an increasing number of business processes into digital form expand, the role of IT departments is radically changing. The success of the company today depends to a large extent on how effectively and qualitatively its IT service helps to solve management problems, maintain competitiveness and satisfy the growing demands of consumers. For quality service, it is necessary to clearly identify the range of services provided and make them available to those who need them.

Moreover, the very concept of IT-service is inextricably linked with quality management and is based on measurable metrics, reliable information. Do not consider IT services as something static – they naturally change in accordance with the tasks and needs that they generate and accompany throughout the life cycle.

And one of the mandatory fields of activity in the field of engineering management, IT technologies and quality management is the provision of information security, the level of synergetic interaction with the transport safety system. Although often the security of information technology and its correlation with transport security is not fully understood by both the management of organizations and employees. Meanwhile, the organization of security and quality control are two primary tasks for any enterprise. Security organization

is protection against threats, and quality control – ensuring the planned and stable production of products or services.

Let us emphasize: on the way of the transition of society from an industrial society to a knowledge society, information is fundamental. Therefore, it must be protected [3, 4], which for many enterprises will also mean fundamental changes in people's minds, because in this sphere no one has canceled the so-called human factor. It is impossible to imagine the implementation of business processes without information support, and information technology is not considered a guarantee of entrepreneurial success.

Conclusions. For infrastructure transport and logistics structures, where the price of risk and error is too high, the provisions discussed in this article are of particular importance. To provide information security means to move from an unspecified level of security to a predetermined one by introducing organizational measures implemented throughout the company. It is necessary to include in such measures, first of all, development of a policy of local security at each level of the organization's hierarchical ladder. Constantly applied at the professional level, quality control mechanisms should ultimately contribute to the strengthening of security. At the same time, the integrated information security management system, although consists of similar organizational and technical components, will be different for different companies depending on business models, the degree of formation of the process of electronic turnover of IT infrastructure, communication facilities and security structure, and general performing discipline.

It is clear that the goals of information security and the requirements for the quality of products and services should be harmonized and mutually linked at the technological level.

REFERENCES

1. Crosby, Philip B. Quality is Free. New York, MacGro-Hill, 1979. [Electronic resource]: <http://www.pqm-online.com/assets/files/lib/books/crosby1.pdf>. Last accessed 31.07.2017.
2. Buch, G. Object-oriented analysis and design with examples of applications [*Ob'ektno-orientirovanniy analiz I proektirovanie s primerami prilozhenii*]. Grady Buch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobbi J. Young, Jim Konallen, Kelly A. Houston. 3rd ed. Moscow, Williams publ., 2010, 720 p.
3. International standard ISO/IEC27001:2005 «Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security management systems. Requirements» [*Mezhdunarodniy standart ISO/IEC27001:2005 «Informacionnie tehnologii. Metody I sredstva obespecheniya bezopasnosti. Sistemy menedzhmenta informacionnoi bezopasnosti. Trebovaniya»*]. Moscow, ISO/IEC, 2005; CJSC «Technormative», 2006.
4. International standard ISO/IEC27002:2005 «Information technology. Code of rules for management of information protection» [*Mezhdunarodniy standart ISO/IEC27002:2005 «Informacionnie tehnologii. Svod pravil po upravleniyu zaschitoy informacii»*]. Moscow, ISO/IEC, 2005; CJSC «Technormative», 2007. ●

Information about the authors:

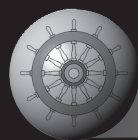
Azarov, Vladimir N. – D.Sc. (Eng), professor at the department of Quality Management of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, vazarov52@gmail.com.

Boitsov, Boris V. – D.Sc. (Eng), professor, head of the department of Moscow Aviation Institute (MAI), Moscow, Russia, kaf104@mai.ru.

Maiboroda, Valery P. – D.Sc. (Eng), professor, head of the Department of Quality Management of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, qm-miit@yandex.ru.

Article received 03.04.2017, accepted 31.07.2017.





Терминальная инфраструктура и контейнерные поезда: кластеризация объектов



Олег МОСКВИЧЕВ

Oleg V. MOSKVICHEV

Terminal Infrastructure and Container Trains: Object Clustering
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 167)

Рассмотрена задача, основанная на долгосрочном планировании развития контейнерно-транспортной системы (КТС) как части транспортного комплекса и связанная с рациональным размещением терминальной инфраструктуры относительно районов промышленного производства и потребления контейнеропригодной продукции. Разработан методологический подход к кластеризации объектов терминально-логистической инфраструктуры для создания условий массового применения контейнерных поездов на сети железных дорог. Проведено разбиение предприятий в виде кластеров с геометрическими центрами, где располагаются станции и контейнерные пункты.

Ключевые слова: кластерный анализ, контейнерные перевозки, контейнерный пункт, размещение транспортных объектов, контейнерный поезд, накопительно-распределительный центр.

Москвичев Олег Валерьевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой управления эксплуатационной работой, директор центра моделирования транспортных и логистических процессов Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, Россия.

Одним из направлений, связанным с повышением эффективности организации контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте, стало внедрение новых высокотехнологичных транспортных продуктов.

В последние десятилетия укрепились формы межотраслевой и межрегиональной кооперации, изменилась конфигурация производственных цепочек. Это привело к расширению ассортимента выпускаемой продукции, переориентации рынков сбыта и территориальному перераспределению производств. А сами изменения в итоге повлияли на загрузку терминальных объектов, многие из которых остались невостребованными или же неспособными консолидировать существующие объёмы контейнеропригодной продукции в ускоренные контейнерные поезда [1].

Складывается ситуация, когда современные перспективные технологии пытаются реализовать на инфраструктуре, построенной ещё в 40-е годы прошлого столетия и предназначенной для решения совершенно иных задач, реализации других технологий. Новый этап глобализации и тенденции на межстрановые объединения свободной торговли предполагают изменение геогра-

фии и структуры товарных и транспортных потоков, что, в свою очередь, требует пересмотра в структурном и территориальном плане существующей контейнерно-транспортной системы (КТС).

1.

Для реализации перспективных транспортных технологий и повышения уровня контейнеризации предлагается новая модель формирования и функционирования контейнерно-транспортной системы железнодорожного транспорта. Она основана на создании двухуровневой сети терминальных объектов, позволяющих консолидировать грузовую базу отдельных грузоотправителей/грузополучателей в ускоренные контейнерные поезда. Реализация модели будет способствовать появлению инфраструктуры КТС, должным образом сбалансированной не только по количеству терминальных объектов, но и по месту размещения относительно промышленного производства [2].

Для этого в каждом регионе предстоит создать контейнерный накопительно-распределительный центр (КНРЦ), оптимально расположенный по отношению к сети контейнерных пунктов (КП), которые, в свою очередь, должны быть оптимизированы в плане размещения под клиентов, т.е. под конкретные грузы.

Оптимальный выбор мест расположения КП и КНРЦ поможет сделать универсальная методология разбиения множества объектов с заданными свойствами на подмножества при заданных критериях и получения «центров» этих подмножеств, обладающих оптимальными свойствами. В качестве такой универсальной процедуры предлагается использовать математические методы кластеризации объектов, известные как кластерный анализ [3].

Проведенный анализ известных алгоритмов кластеризации показал, что в них центр кластера определяется только свойствами объектов, а в процедуре кластеризации отсутствует возможность ввести ограничения на выбор подобных центров. Так, например, при применении алгоритмов кластеризации по известному методу *k-means* считается, что оптимальный центр может находиться в любой точке пространства параметров, определяющих объекты.

Если параметры — это геометрические координаты производств, то центр может лежать в любой точке плоскости. На практике следует рассмотреть случай, когда центр обязательно должен быть в одной из заданных точек (допустим, на железнодорожной станции). То есть при выборе мест расположения КП и КНРЦ приходится решать задачу кластеризации «с проекцией на функцию», когда центр обязательно должен находиться на станции или «с проекцией на точки».

В связи с этим предлагается новый метод кластеризации с проекцией на множество точек «*k-means pro*» и исследуется возможность его применения в задачах проектирования транспортной инфраструктуры [4].

Входными данными является множество объектов кластеризации $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, их веса $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ и допустимое множество проекций $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$. Каждый *j*-й объект и каждая допустимая точка-проекция заданы в *G*-мерном пространстве R^G , или $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jG})$ и $y_r = (y_{r1}, \dots, y_{rG})$.

Единственным управляющим параметром становится число кластеров *k*, на которые проводится разбиение $S = \{S_1, \dots, S_k\}$ множества *X*. В результате получается несмещенное разбиение $S^* = \{S_1^*, \dots, S_k^*\}$, центры которого — оптимальное множество проекций $S^* \subseteq Y$.

Введём обозначения: *n* — количество объектов кластеризации, *p* — количество точек допустимого множества проекций, *i, i'* — номер кластера, *j* — номер объекта, *r* — номер точки множества проекций, *l* — номер координаты точки, *m* — текущая итерация, *G* — размерность пространства, в котором выполняется кластеризация.

Расстояние между точками в заданном *G*-мерном пространстве находится по евклидовой метрике, где t_1 и t_2 — две любые точки пространства R^G :

$$d(t_1, t_2) = \sqrt{\sum_{l=1}^G (t_{1l} - t_{2l})^2}. \quad (1)$$

1. Выберем начальное разбиение

$$\begin{aligned} S^0 &= \{S_1^0, \dots, S_k^0\}; \\ S_i^0 &= \{x_{i1}^0, \dots, x_{in}^0\}, \\ \bigcup_{i=1}^k S_i^0 &= X, S_i^0 \cap S_{i'}^0 = \emptyset, i \neq i' \end{aligned} \quad (2)$$



2. Пусть построено m -е разбиение $S^m = \{S_1^m, \dots, S_k^m\}$.

Вычислим набор средних векторов $E^m = \{e_1^m, \dots, e_k^m\}$, т.е. $e_i^m = \{e_{i1}^m, \dots, e_{iG}^m\}$, где

$$e_{ij}^m = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} v_j x_{jl}}{\sum_{j=1}^n v_j}; \quad (3)$$

n_i – количество точек i -го кластера.

3. Определим множество проекций, средних для текущего разбиения:

$$C^m = \left\{ y \in Y : \forall i, d^*(y, e_i^m) = \min_{1 \leq r \leq p} d(y, e_r^m) \right\}. \quad (4)$$

4. Построим минимальное дистанционное разбиение, порожаемое множеством C^m , и возьмём его в качестве

$S^{m+1} = \{S_1^{m+1}, \dots, S_k^{m+1}\}$, т.е. для первого

$$S_i^{m+1} = \left\{ x \in X : d(x, c_i^m) = \min_{1 \leq i' \leq k} d(x, c_{i'}^m) \right\}, 1 \leq i \leq k. \quad (5)$$

5. Если $S^{m+1} \neq S^m$, то переходим к п. 2, заменив m на $m + 1$; если $S^{m+1} = S^m$, то полагаем $S^m = S^*$, $C^m = C^*$ и заканчиваем работу алгоритма.

В качестве критерия кластеризации в данном алгоритме используется функционал [5, 6]:

$$F(S) = \sum_{i=1}^k \sum_{X \in S^i} \|X - e_i(S)\|^2. \quad (6)$$

Так как на последовательности разбиений $S^0, S^1, \dots, S^m, \dots$, которая строится в алгоритме k -средних, функционал $F(S)$ не возрастает, причём $F(S^m) = F(S^{m+1})$ только если $S^m = S^{m+1}$, то для любого начального разбиения S алгоритм через конечное число шагов заканчивает работу.

Результат классификации зависит от выбора e^0 , поэтому каждый раз имеем локальный минимум $F(S)$. При этом случае координаты e^0 были получены как случайные числа, равномерно распределённые в прямоугольнике возможных координат исходных точек. Для проверки устойчивости результатов и получения различных зависимостей выбор e^0 меняется.

2.

Обоснованность формируемых кластеров, т.е. приемлемость полученных результатов по определению мест расположения контейнерных пунктов, определяется валидацией кластеров.

Различают два типа валидации: внутреннюю – по тому, насколько кластеры соответствуют исходным данным, и внешнюю (целевую) – по тому, насколько кластеры соответствуют информации, не учитывающейся при их построении, но известной специалистам, которые используют кластеризацию в своих целях.

Для внутренней валидации используются самые разнообразные индексы, выражающие качество результатов кластеризации.

Наиболее популярным является индекс Дэвиса–Болдина. Чем меньше значение этого индекса, тем кластеры компактнее и удалённее друг от друга. Это позволяет обосновать количество кластеров k , что важно, поскольку при кластеризации производств количество центров-контейнерных пунктов может быть в общем случае не задано и должно находиться из условия оптимизации какого-то дополнительного критерия.

В качестве целевых критериев при определении качества кластеризации рассмотрено два варианта:

1. Количество центров задано. Это будет тогда, когда при проектировании заданы ресурсы на создание всех КП и известна средняя нормативная стоимость одного пункта. В этом случае сами затраты на создание всех КП не оптимизируются и критерием выступают затраты на перевозку грузов от всех клиентов до своих контейнерных пунктов.

2. Количество КП не задано (k неизвестно), но известна средняя стоимость одного КП – c . Тогда критерием оптимизации при кластеризации выступает сумма общих затрат на перевозку и затрат на создание КП.

Для проведения экспериментальных и практических расчётов была написана программа на языке JavaScript. Программа реализуется в нескольких режимах: с заданным или произвольным количеством кластеров.

В первом режиме реализация заключается в применении выбранного алгоритма и задании числа кластеров k .

$k = 25$. Общий объем грузов – 558296 т. Общее расстояние – 19019,14 км. Объем перевозок – 18234000 т • км. Среднее расстояние до КП – 22,4 км. Среднее расстояние между КП – 98,1 км.						
№	Станции – КП	Кол-во предприятий	Номера в списке предприятий	Объём	% от общего объёма	Сред. расст. до КП
1	Трофимовский 2	54	788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 828, 829, 830, 831, 832, 835, 837, 838, 839, 840, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852	54713	9,8	2
2	Кротовка	12	150, 151, 199, 200, 208, 576, 577, 602, 611, 723, 724, 749	35373	6,3	16

Рис. 1. Пример выдаваемых программой результатов.

Решение поставленной задачи возможно по трём различным алгоритмам:

1. Классический алгоритм *k-means* [5, 6]. Результатом будет являться расположение контейнерных пунктов в геометрических «центрах», обеспечивающих оптимальные свойства с точки зрения наименьшего для всей сети перевозок суммарного расстояния от точек-предприятий до КП. Такую кластеризацию назовём «свободной» и алгоритм, реализующий её, обозначим как Алгоритм 1.

2. *k-means* с проекцией на последнем шаге. Сначала произведём кластеризацию объектов с помощью алгоритма *k-means*

и получим разбиение предприятий в виде кластеров с геометрическими центрами, а затем для каждого центра найдём ближайшую железнодорожную станцию и будем считать, что здесь должен располагаться контейнерный пункт. Такой алгоритм с проекцией на последней итерации назовём Алгоритм 2.

3. Модифицированный алгоритм *k-means* с проекцией (*k-means pro*). Выбираем число *k* и на первом шаге выбрасываем *k* случайных точек, называемых «центрами кластеров». Затем каждое производство привязываем к ближайшему центру. В результате каждый объект назна-

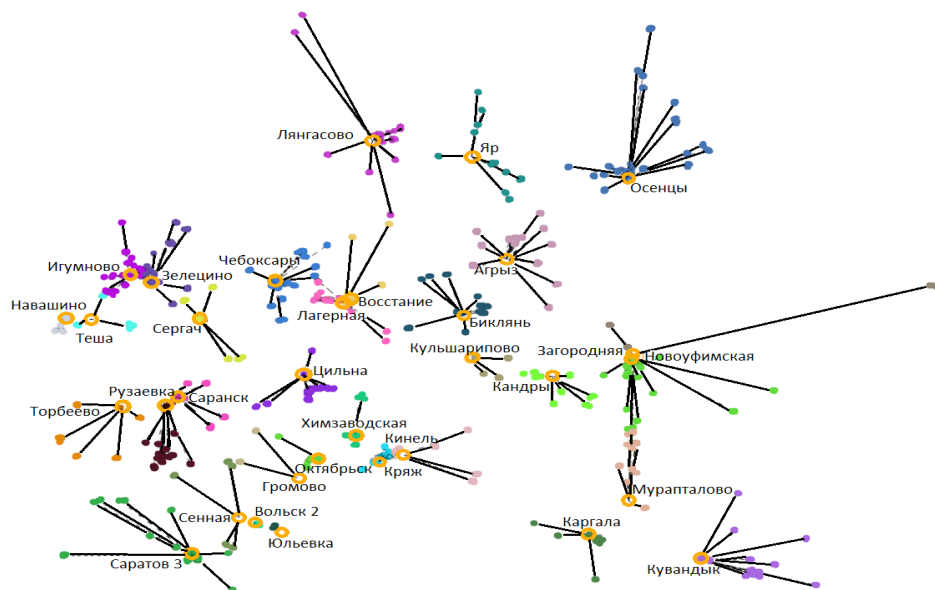


Рис. 2. Результат выполнения программы для $k = 33$ в режиме кластеризации с проекцией и критерием суммарного расстояния.



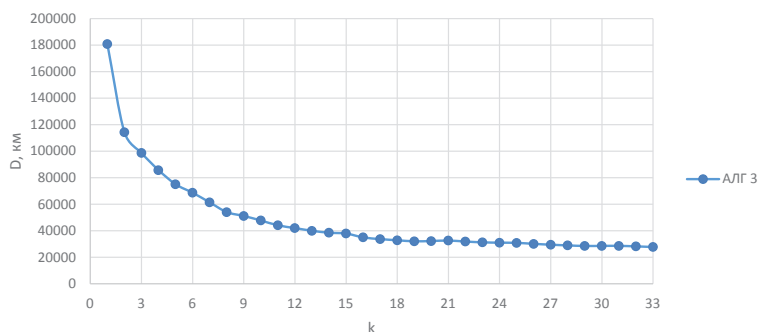


Рис. 3. График зависимости суммарного расстояния от количества кластеров.

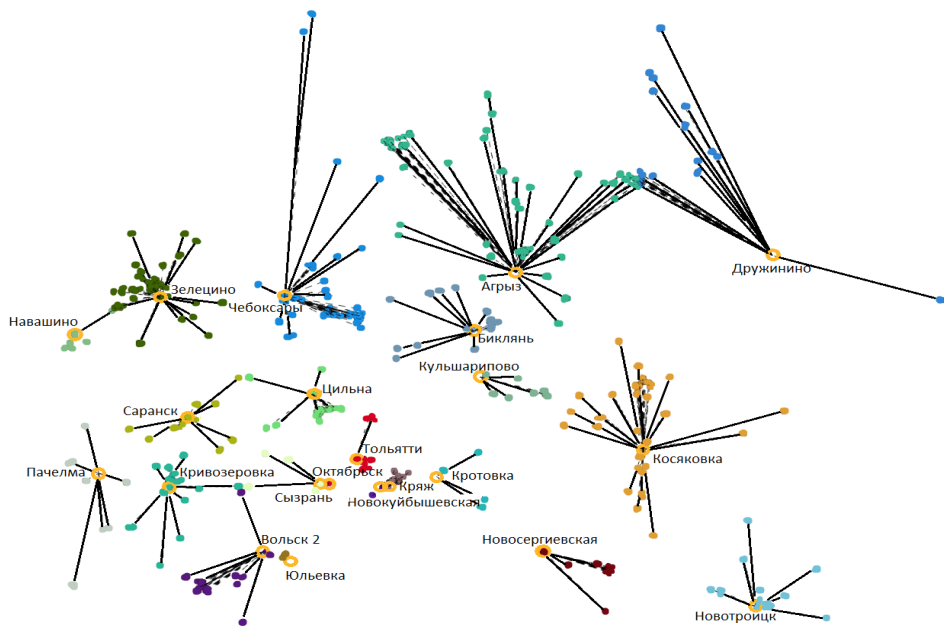


Рис. 4. Результат выполнения программы в режиме кластеризации с проекцией и критерием Дэвиса–Болдина.

чен определённому кластеру. Вычисляем новые «центры» как по координатным средним кластеров, а потом проецируем их на множество железнодорожных станций. Полученный набор считаем новыми центрами кластеров, а объекты снова перераспределяем. Процесс вычисления центров и перераспределения объектов продолжаем до тех пор, пока кластерные центры не стабилизируются, т.е. все наблюдения принадлежат кластерам, которым они принадлежали до текущей итерации. И будет это Алгоритм 3.

Во втором режиме количество кластеров определяется согласно выбранному критерию (минимум суммарных затрат на перевозку и затрат на создание КП посредством индекса Дэвиса–Болдина) с помощью перебора вариантов для каждого k .

Стоит отметить, что такое разнообразие режимов работы позволяет экспериментальным образом достигнуть наилучшего результата разбиения.

На основе разработанных моделей, алгоритма и программы проведены многократные эксперименты в различных режимах на примере Приволжского федерального округа (ПФО). Было рассмотрено 900 промышленных предприятий и 137 железнодорожных станций. Производства определялись географическими координатами и объёмом производимой и/или добываемой контейнеропригодной продукции. Множество станций задано на сети шести железных дорог, проходящих по территории ПФО.

На рис. 1 представлен фрагмент таблицы, выдаваемой программой.

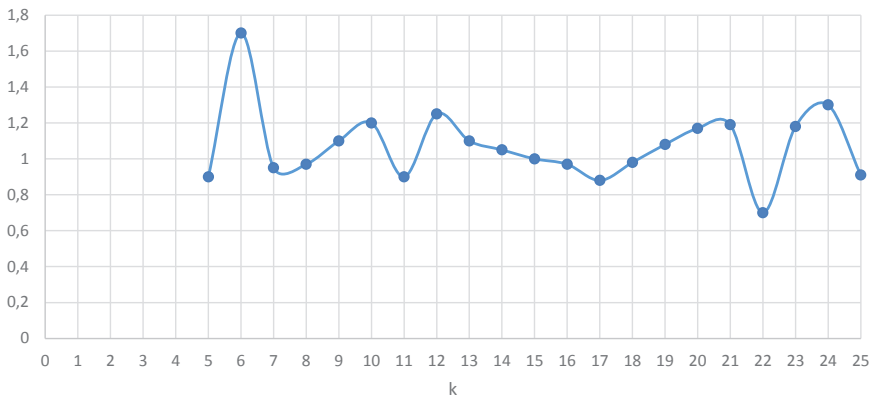


Рис. 5. График зависимости индекса Дэвиса–Болдина от количества кластеров.

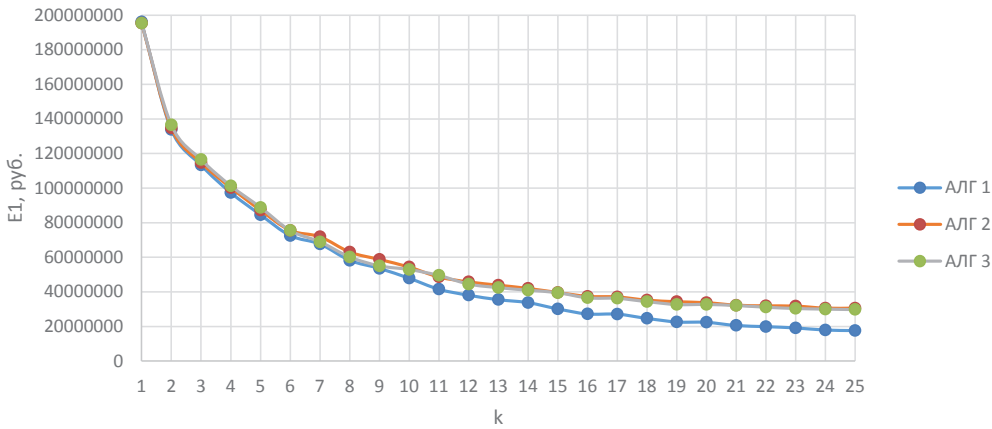


Рис. 6. График зависимости затрат на перевозку от количества кластеров.

Рассмотрим некоторые из полученных результатов для ПФО в режиме алгоритма *k-means* с проекцией; критерий – суммарное расстояние от всех точек до своих центров $D = \sum_{i=1}^n D_i$. Результат выполнения программы для $k = 33$ на рис. 2. Полученные данные: $D = 28242$ км.

График зависимости критерия D от k показан на рис. 3. Из графика видно, что при увеличении числа k суммарное расстояние $D = \sum_{i=1}^n D_i$ сокращается.

Далее для оптимизации числа кластеров k выберем индекс Дэвиса–Болдина, а алгоритм оставим прежним – кластеризация с проекцией. Полученные данные: $k = 22$, $DB = 0.71$. Результат выполнения программы для $k = 22$ представлен на рис. 4. График зависимости критерия DB показан на рис. 5.

3.

Проведём кластеризацию при условии задания целевого критерия в случае, когда известно число k (КП), т.е. когда при проектировании заданы ресурсы на создание всех КП и известна средняя нормативная стоимость одного контейнерного пункта. В этом варианте сами затраты на создание всех КП не оптимизируются, в качестве критерия выступают затраты на перевозку грузов от всех клиентов до своих КП, т.е.

$$E_1 = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s \rightarrow \min, \quad (7)$$

где E_1 – затраты на перевозку; D_i – расстояние от точки-производства до КП; V_i – объём производства контейнеропригодной продукции; s – расходная ставка на перевозку.

Кластеризация проводилась при заданных количествах k , которое изменялось от 1 до 25 по все трём алгоритмам. Результаты выполнения алгоритма 1, алгоритма 2 и ал-



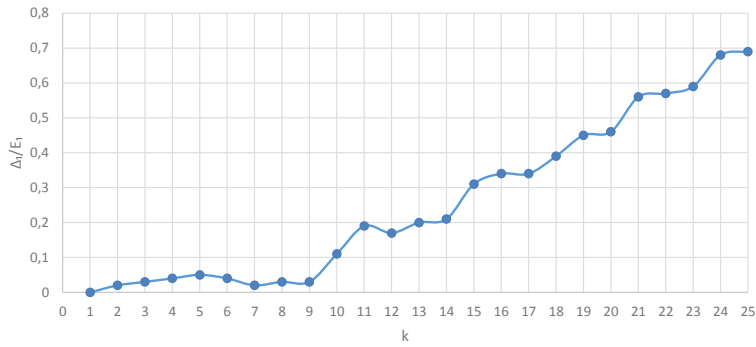


Рис. 7. Зависимость Δ/E_1 от k для производств ПФО.

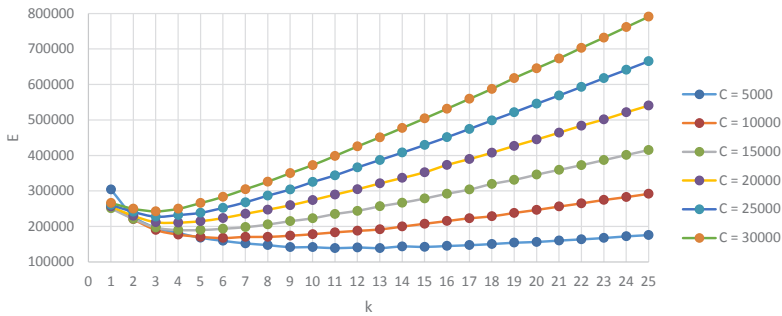


Рис. 8. Графики зависимости общих затрат от k при различных c (алгоритм 3).

горитма 3 в виде графика зависимостей представлен на рис. 6.

Как видно из рис. 6, общие затраты на перевозку падают при увеличении k – числа КП. С этой точки зрения чем больше КП, тем меньше затраты на перевозку от производств до контейнерных пунктов.

В нашем случае центры кластеров обязательно должны находиться на железнодорожной линии и это является ограничением для самого процесса кластеризации. Алгоритм *k-means pro* каждый раз проектирует центры кластеров на железнодорожную станцию.

Назовём дефектом проекции разницу критериальных величин качества свободной кластеризации и кластеризации «с проекцией» $\Delta = E_{1np} - E_1$. Зависимость Δ/E_1 от k для производств ПФО представлена на рис. 7.

Отсюда можно наблюдать следующую зависимость: при значительном увеличении числа КП растёт дефект проекции, т.е. в некоторых случаях, когда разница достигает 30–40 %, возможно, выгоднее строить КП, создавать новую инфраструктуру, а не

размещать их на существующей инфраструктуре.

Далее рассмотрим кластеризацию при условии, когда количество КП не задано (k неизвестно), но известна средняя стоимость одного КП – c . Тогда критерием оптимизации при кластеризации выступит сумма общих затрат на перевозку и затрат на создание КП, т.е.

$$E = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s + c \cdot k \cdot \gamma \rightarrow \min, \quad (8)$$

где γ – нормативный коэффициент эффективности.

Результаты работы нового алгоритма *k-means pro* (алгоритм 3) для ПФО в виде графиков зависимости общих затрат E от k при различных условных c представлены на рис. 8.

Оптимальный вариант при разных c будет выглядеть следующим образом:

- для $c = 5000$ – 11 кластеров;
- для $c = 10000$ – 6 кластеров;
- для $c = 15000$ – 5 кластеров;
- для $c = 20000$ – 4 кластера;
- для $c = 25000$ – 2 кластера;
- для $c = 30000$ – 2 кластера.

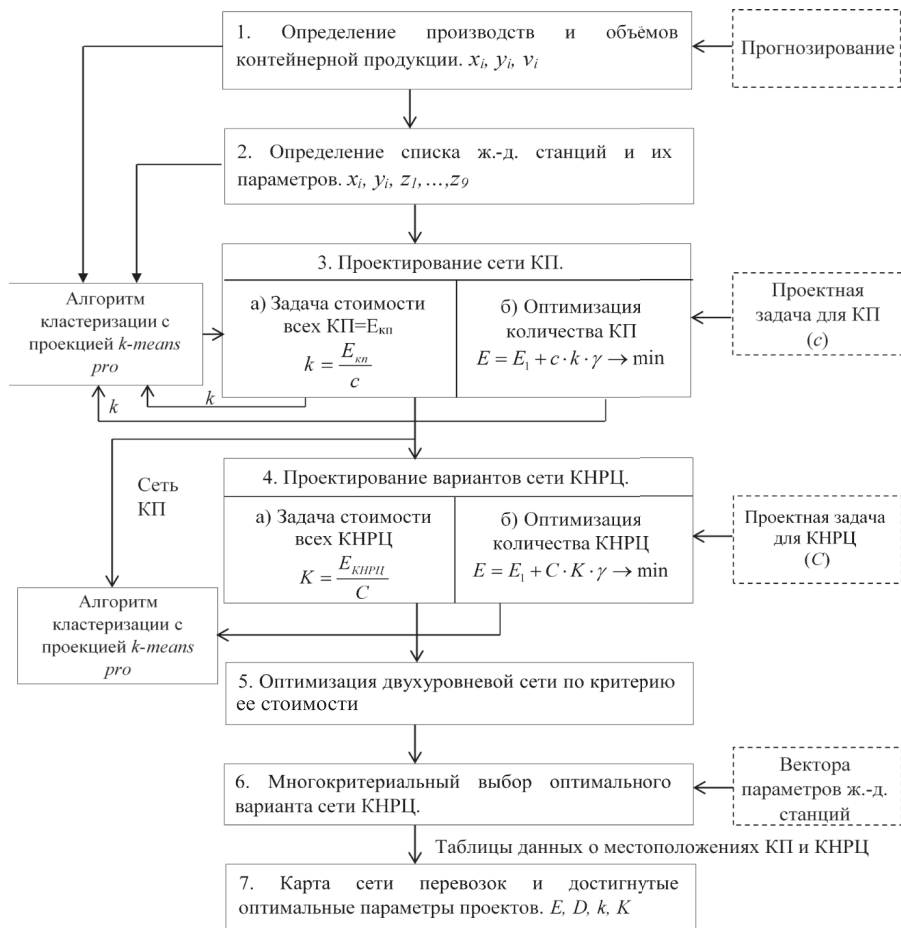


Рис. 9. Алгоритм моделирования двухуровневой структуры КТС железнодорожного транспорта.

Для оптимизации мест размещения КНРЦ с использованием алгоритмов кластеризации была разработана математическая модель.

Пусть заданы координаты и параметры железнодорожных станций (их номера $l = 1, 2, \dots, L$) и уже найдены k номеров станций из L , в которых будут КП. Необходимо найти r номеров станций, где станут располагаться КНРЦ.

На первом этапе будем считать, что кандидатами на размещение КНРЦ могут быть любые станции из общего списка. Представим предстоящий нам поиск как задачу нахождения центров кластеров станций-КП. Решение выполняется на основе алгоритма *k-means pro*. При этом можно получить не только оптимальный вариант по критерию затрат на перевозку грузов от всех КП до своих КНРЦ, но и некоторое количество подоптимальных вариантов, имеющих очень близкие критериальные значения.

На втором этапе рассмотрим свойства точек-станций и дополнительные критерии оптимальности кластеризации. То есть точка-станция имеет q координат, которые определяют её свойства по отношению к тому, насколько она удовлетворяет целям создания в ней КНРЦ. Первые две координаты – это координаты местности в плоской системе (x, y) . Далее идут компоненты вектора координат, количественно измеряющие девять критериев создания КНРЦ.

Каждая компонента должна быть выражена в условных единицах, сопоставимых с другими координатами. Для этого значения критериев z_1, \dots, z_9 необходимо преобразовать в безразмерные величины. Наиболее распространённый способ нормировки z :

$$Z_{\text{норм}} = \frac{z - \bar{z}}{\sigma_z}, \quad (9)$$

где \bar{z} – среднее значение; σ_z – среднеквадратическое отклонение величин z .



Итак, в результате решения задачи кластеризации первого уровня определяются КП. Каждая такая точка-КП помимо координат характеризуется «весом», который определяется объёмом перерабатываемых контейнеров.

Затем находятся станции для КНРЦ как центры кластеров для точек-КП. Разбиение на кластеры в этом случае должно быть таким, чтобы с учётом объёмов КП получались как можно более компактные в координатах (x, y) кластеры, а их центры как можно дальше были друг от друга. Таким образом, кластеризуемыми признаками становятся лишь координаты (x, y) , а все остальные признаки будут дополнительными. С учётом объёмов это приводит к минимизации общих затрат на перевозку грузов от КП до КНРЦ. Все остальные критерии z_1, \dots, z_9 являются при кластеризации дополнительными и действуют как ограничения на выбор точек-КНРЦ.

На уровне предварительного проектирования мест расположения КНРЦ возможны два варианта постановки задачи.

1. При имеющихся средствах A построить $r = A/C$ КНРЦ в местах, оптимизирующих интегральный показатель эффективности B , где C — средняя стоимость КНРЦ.

2. Построить оптимальное количество КНРЦ, оптимизирующих интегральный показатель эффективности B с учётом затрат на создание сети КНРЦ. Эти затраты будут $r \cdot C$.

Для учёта всех свойств точек-станций необходимо обеспечить выполнение главного правила — чем большие значения имеют компоненты координат z_1, \dots, z_9 у точек-станций, тем более целесообразно выбирать центр-КНРЦ в этой точке-станции.

На рис. 9 представлен алгоритм моделирования двухуровневой структуры КТС железнодорожного транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого исследования были разработаны математические модели, методы, алгоритм кластеризации с проекцией и программный продукт, которые могут быть использованы для решения задач, связанных

с проектированием местоположения транспортных объектов. Алгоритм и программный продукт апробированы при проведении практических расчётов оптимального с точки зрения заданных критериев расположения объектов терминальной инфраструктуры Приволжского федерального округа. Полученные результаты делают возможным рекомендовать единую методологию, основанную на методах кластерного анализа, в качестве средства для рациональной организации терминальной инфраструктуры, обслуживающей контейнерные поезда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резер С. М., Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Оптимизация модели формирования и функционирования контейнерно-транспортной системы страны // Транспорт: наука, техника, управление. — 2016. — № 7. — С. 3–7.
2. Москвичев О. В. О новом подходе к организации контейнерных поездов во внутреннем сообщении // Железнодорожный транспорт. — 2014. — № 2. — С. 56–59.
3. Миркин Б. Г. Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений. — М.: Высшая школа экономики, 2011. — 88 с.
4. Москвичев О. В., Есипов Б. А., Складнев Н. С., Алёшинцев А. О. Разработка и исследование алгоритма кластеризации с проекцией для решения задач оптимизации транспортной инфраструктуры // Перспективные информационные технологии: Труды международной науч. — техн. конференции. — Самара: Самарский научный центр РАН, 2017. — С. 633–637.
5. Драган Д. Д. Исследование алгоритмов и методов интеллектуальной поддержки принятия решений. [Электронный ресурс]: http://cad.kpi.ua/attachments/diplomas/presentations/2011_V_05_Dragan.pdf. Доступ 10.06.2017.
6. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Классификация и снижение размерности. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 607 с.
7. Москвичев О. В., Третьяков Г. М., Москвичева Е. Е. Новый подход в развитии контейнерно-транспортной системы России на основе формирования контейнерного кластера // Вестник транспорта Поволжья. — 2012. — № 3. — С. 35–39.
8. Москвичев О. В., Никонов Ю. С. Оценка потенциала и перспектив развития контейнерной транспортной системы // Железнодорожный транспорт. — 2013. — № 4. — С. 37–39.
9. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Никонов Ю. С. К вопросу консолидации и доставки одиночных и групповых контейнерных отправок в составе контейнерных поездов // Транспорт Урала. — 2014. — № 2. — С. 15–18.
10. Москвичев О. В. Многокритериальная оценка контейнеропригодности производимой продукции как один из факторов, определяющих размещение терминально-логистической инфраструктуры // Вестник транспорта Поволжья. — 2015. — № 1. — С. 74–80. ●

Координаты автора: **Москвичев О. В.** — moskvichev063@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 21.03.2017, актуализирована 29.05.2017, принята к публикации 10.06.2017.

TERMINAL INFRASTRUCTURE AND CONTAINER TRAINS: OBJECT CLUSTERING

Moskvichev, Oleg V., Samara State Transport University, Samara, Russia.

ABSTRACT

The task is considered based on the long-term planning of development of a container transport system (CTS) as a part of a transport complex and associated with rational placement of the terminal infrastructure with respect to the areas of industrial production and consumption of container-compatible

products. A methodological approach to clustering of objects of the terminal and logistics infrastructure was developed to create conditions for the mass use of container trains on the railway network. The enterprises are divided into clusters with geometric centers, where stations and container points are located.

Keywords: cluster analysis, container transportation, container terminal, placement of transport facilities, container train, storage and distribution center.

Background. One of the areas related to improving the efficiency of organization of container transportation on railway transport has been introduction of new high-tech transport products.

In recent decades, the forms of inter-industry and interregional cooperation have strengthened, the configuration of production chains has changed. This led to expansion of a range of products, reorientation of markets and territorial redistribution of production. And the changes themselves ultimately affected the loading of terminal facilities, many of which remained unclaimed or unable to consolidate existing volumes of container-compatible products into accelerated container trains [1].

There is a situation when there are attempts to implement modern promising technologies on the infrastructure built in the 40es of the last century and designed for solving completely different tasks and implementation of other technologies. The new stage of globalization and the trend towards intercountry free trade associations involve a change in the geography and structure of commodity and transport flows, which in turn requires a revision of the existing container transport system (CTS) in a structural and territorial sense.

Objective. The objective of the author is to consider clustering of terminal infrastructure and container trains.

Methods. The author uses general scientific and engineering methods, modeling, evaluation approach, comparative analysis, scientific description.

Results.

1.

To implement perspective transport technologies and increase the level of containerization, a new model for formation and functioning of the container transport system of rail transport is proposed. It is based on creation of a two-level network of terminal facilities that allow consolidation of the freight base of individual consignors / consignees into accelerated container trains. The implementation of the model will contribute to the emergence of the infrastructure of the CTS, properly balanced not only by the number of terminal facilities, but also by the place of location relative to industrial production [2].

To this end, in each region, a container storage and distribution center (CSDC), optimally located in relation to the network of container points (CP), should be created, which, in turn, should be optimized in terms of placement for customers, i.e. for specific loads.

A universal methodology for partitioning a set of objects with given properties into subsets under given criteria and obtaining «centers» of these subsets possessing optimal properties will help to make an optimal choice of locations of CP and CSDC. As such

a universal procedure, it is proposed to use mathematical methods of clustering of objects, known as cluster analysis [3].

The analysis of known clustering algorithms showed that in them the cluster center is determined only by the properties of objects, and in the clustering procedure it is not possible to impose restrictions on the choice of such centers. So, for example, when using clustering algorithms using the known k-means method, the optimal center can be located at any point in the parameter space that defines objects. If the parameters are the geometric coordinates of productions, then the center can lie anywhere in the plane. In practice, one should consider a case when the center must necessarily be at one of the given points (say, at the railway station). That is, when choosing the location of CP and CSDC, it is necessary to solve the task of clustering «with projection to a function», when the center must necessarily be at the station or «with a projection to the points».

In this regard, a new clustering method with a projection to the set of points «k-means pro» is proposed and the possibility of its application in the design of transport infrastructure is being studied [4].

The input data is the set of clustering objects $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, their weights $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ and admissible set of projections $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$. Each j -th object and each every admissible point-projection are given in the G -dimensional space R^G , or $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jG})$ and $y_r = (y_{r1}, \dots, y_{rG})$.

The only controlling parameter is the number of clusters k into which the partition $S = \{S_1, \dots, S_k\}$ of the set X is carried out. As a result, we obtain an unbiased partition $S^* = \{S_1^*, \dots, S_k^*\}$, the centers of which are

optimal set of projections $C^* \subseteq Y$.

We introduce the notation: n – the number of clustering objects, p – the number of points of the permissible set of projections, i, i' – the cluster number, j – the object number, r – the point number of the projection set, l – the coordinate number of the point, m – the current iteration, G – dimension of the space in which clustering is performed.

The distance between points in a given G -dimensional space is found from the Euclidean metric, where t_1 and t_2 are two arbitrary points of the space R^G :

$$d(t_1, t_2) = \sqrt{\sum_{l=1}^G (t_{1l} - t_{2l})^2}. \quad (1)$$

1. We choose an initial partition $S^0 = \{S_1^0, \dots, S_k^0\}$:

$$S_i^0 = \{x_{i1}^0, \dots, x_{in}^0\}, \bigcup_{i=1}^k S_i^0 = X, S_i^0 \cap S_j^0 = \emptyset, i \neq j. \quad (2)$$



k = 25. Total volume of cargo – 558296 t. Total distance – 19019,14 km. Transportation volume – 18234000 t • km. Average distance to CP – 22,4 km. Average distance between CP – 98,1 km.						
No.	Stations of CP	Number of enterprises	Numbers in the list of enterprises	Volume	% of the total volume	Average distance to CP
1	Trofimovsky 2	54	788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 828, 829, 830, 831, 832, 835, 837, 838, 839, 840, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852	54713	9,8	2
2	Krotovka	12	150, 151, 199, 200, 208, 576, 577, 602, 611, 723, 724, 749	35373	6,3	16

Pic. 1 shows a fragment of the table, issued by the program.

2. Assume that the m -th partition $S^m = \{S_1^m, \dots, S_k^m\}$ is constructed.

Let's calculate the set of average vectors

$E^m = \{e_1^m, \dots, e_k^m\}$ i.e. $e_i^m = \{e_{i1}^m, \dots, e_{iG}^m\}$, where

$$e_i^m = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} v_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^{n_i} v_j}, \quad (3)$$

n_i – number of points of the i -th cluster.

3. We define the set of projections, which are average for the current partition:

$$C^m = \left\{ y \in Y : \forall i, d^*(y, e_i^m) = \min_{1 \leq r \leq p} d(y_r, e_i^m) \right\}. \quad (4)$$

4. We construct the minimal distance partition generated by the set C^m , and take it as $S^{m+1} = (S_1^{m+1}, \dots, S_k^{m+1})$, i.e. for the first

$$S_i^{m+1} = \left\{ x \in X : d(x, c_i^m) = \min_{1 \leq i \leq k} d(x, c_i^m) \right\}, 1 \leq i \leq k. \quad (5)$$

5. If $S^{m+1} \neq S^m$, then proceed to step 2, replacing m by $m+1$; if $S^{m+1} = S^m$, then we set $S^m = S'$, $C^m = C'$ and finish the algorithm.

The criterion for clustering in this algorithm is the functional [5, 6]:

$$F(S) = \sum_{i=1}^k \sum_{X \in S^i} \|X - e_i(S)\|^2. \quad (6)$$

Since the functional $F(S)$ does not increase on the sequence of partitions $S^0, S^1, \dots, S^m, \dots$, which is constructed in the k -means algorithm, and $F(S^m) = F(S^{m+1})$. Only if $S^m = S^{m+1}$, then for any initial partition S^0 the algorithm finishes the work in a finite number of steps.

The result of the classification depends on the choice of e^0 , so each time we have a local minimum of $F(S)$. The coordinates e^0 were obtained as random numbers uniformly distributed in the rectangle of possible coordinates of the original points. To check the stability of the results and obtain various dependencies, the choice of e^0 changes.

2.

The validity of the formed clusters, i.e. the acceptability of the results obtained for determining the location of container points is determined by validation of clusters.

There are two types of validation: internal – by how much clusters correspond to the initial data, and

external (target) – by how much clusters correspond to information not taken into account in their construction, but known to specialists who use clustering for their own purposes.

For internal validation, a wide variety of indices are used that express the quality of clustering results.

The most popular is the Davis–Boldin index. The smaller is the value of this index, the more compact and more distant are clusters from each other. This allows us to justify the number of clusters k , which is important, because when clustering of production, the number of center-container points can in general not be specified and should be determined from on the optimization condition for some additional criterion.

As the target criteria for determining the quality of clustering, two options are considered:

1. The number of centers is set. This will be in case, when designing, resources are assigned for the creation of all CP and the average normative cost of one point is known. In this case, the costs of creating all the CP themselves are not optimized and the criterion is the cost of transporting goods from all customers to their container points.

2. The number of CP is not specified (k is unknown), but the average cost of one CP is known – c . Then the optimization criterion for clustering is the sum of the total transportation costs and the cost of creating the CP.

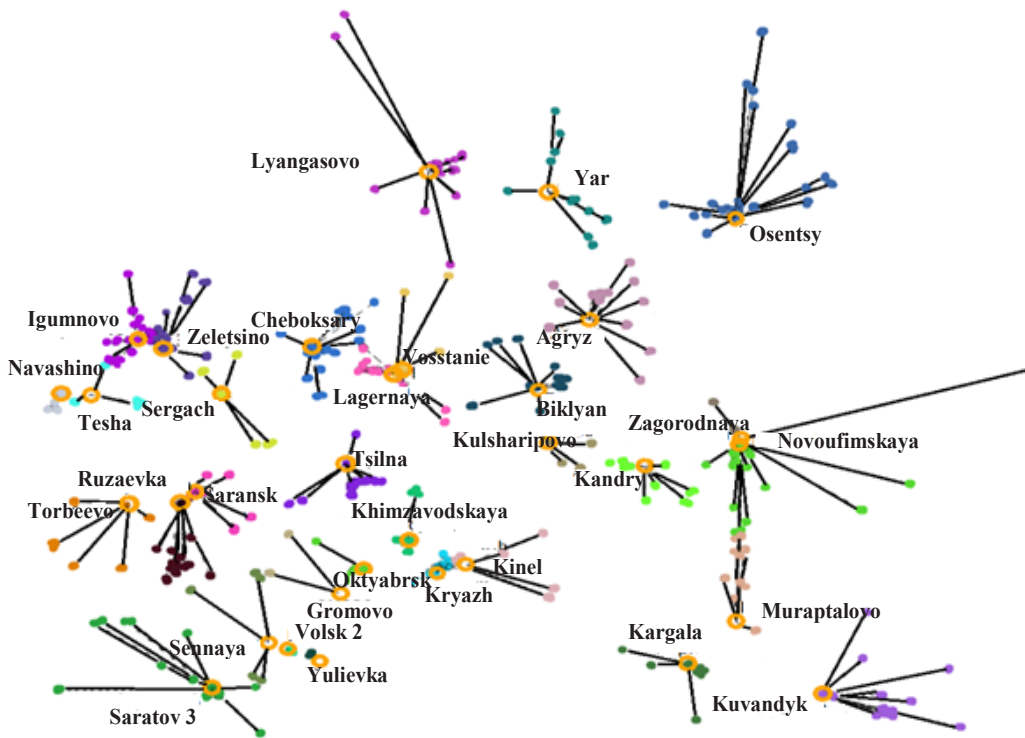
To carry out experimental and practical calculations, a JavaScript program was written. The program is implemented in several modes: with a given or an arbitrary number of clusters.

In the first mode, the implementation consists in applying the chosen algorithm and specifying the number of clusters k .

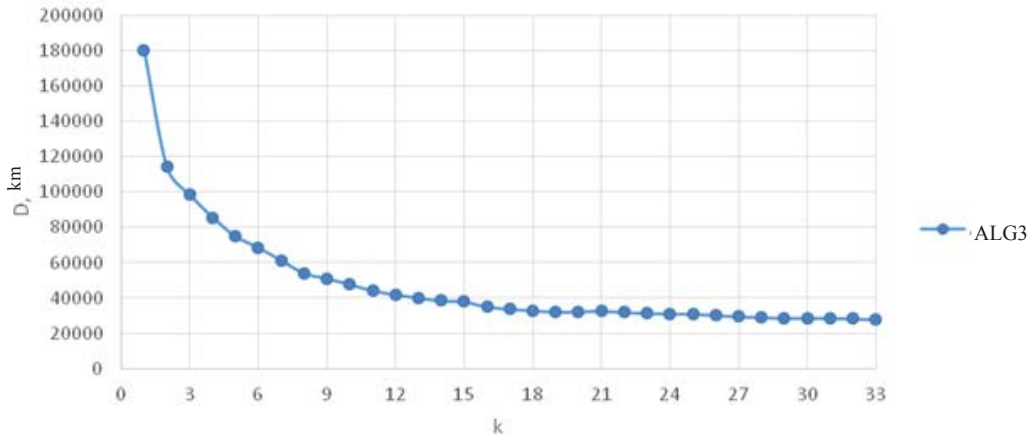
Solution of the set task is possible using three different algorithms:

1. The classical k -means algorithm [5, 6]. The result will be the location of container points in geometric «centers», providing optimal properties from the point of view of the lowest total traffic for the whole network from the point-enterprises to the CP. Such a clustering is called «free» and the algorithm realizing it is denoted as Algorithm 1.

2. k -means with the projection at the last step. First, we cluster objects with the help of the k -means algorithm and get a breakdown of enterprises in the form of clusters with geometric centers, and then for



Pic. 2. The result of the program for $k = 33$ in the clustering mode with the projection and the total distance criterion.



Pic. 3. Graph of the dependence of the total distance on the number of clusters.

each center we find the nearest railway station and assume that there should be a container point here. Such an algorithm with a projection at the last iteration will be called Algorithm 2.

3. Modified k -means algorithm with projection (k -means pro). We select the number k and in the first step we throw out k random points, called «cluster centers». Then, each production is tied to the nearest center. As a result, each object is assigned to a specific cluster. We calculate the new «centers» as coordinate-wise average clusters, and then project them onto a multitude of railway stations. The received set is considered to be the new cluster centers, and the objects are redistributed again. The process of calculating

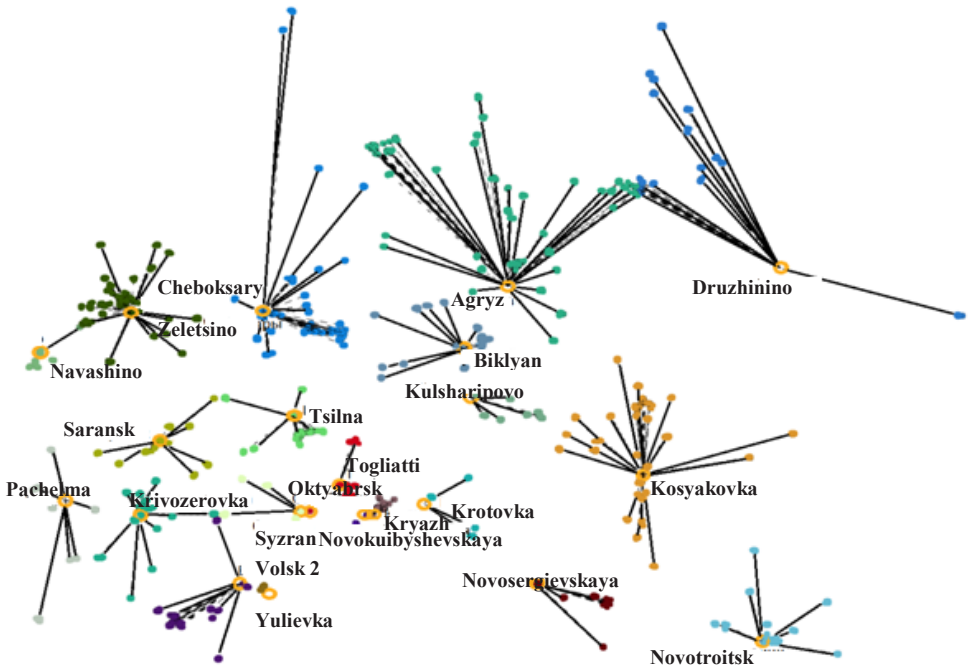
centers and redistributing objects continues until the cluster centers have stabilized, i.e. all observations belong to the clusters to which they belonged prior to the current iteration. And this is Algorithm 3.

In the second mode, the number of clusters is determined according to the selected criterion (the minimum of the total transportation costs and the costs of creating a CP by means of the Davis-Boldin index) by looking through the options for each k .

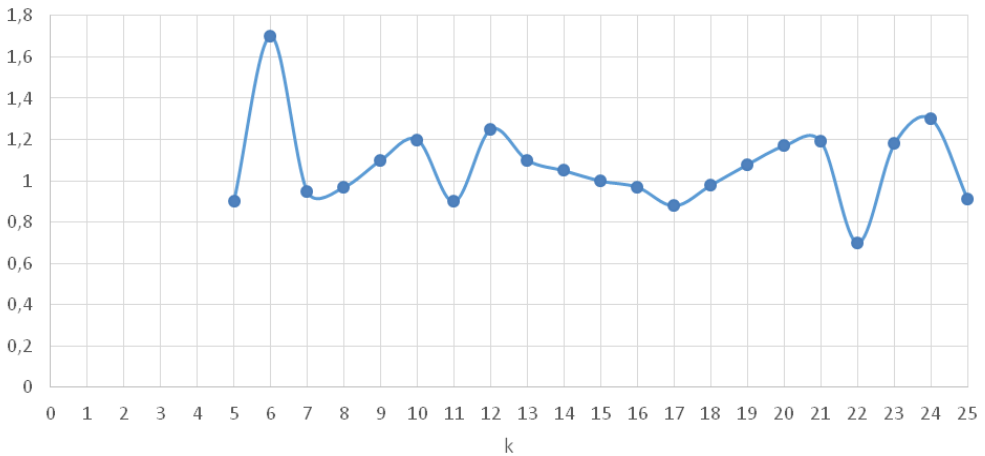
It should be noted that such a variety of operating modes allows in an experimental way to achieve the best result of the partition.

On the basis of the developed models, algorithm and program, multiple experiments were





Pic. 4. The result of the program in the clustering mode with the projection and Davis–Boldin criterion.



Pic. 5. Graph of the dependence of the Davis–Boldin index on the number of clusters.

conducted in various regimes using the example of Privolzhsky Federal District (PFD). 900 industrial enterprises and 137 railway stations were considered. Production was determined by geographical coordinates and the volume of produced and / or extracted container-compatible products. A lot of stations are set on the network of six railways passing through the territory of Privolzhsky Federal District.

Let's consider some of the obtained results for PFD in the mode of the k -means algorithm with projection; the criterion is the total distance from all points to their centers $D = \sum_{i=1}^n D_i$. The result of the program for $k = 33$ is shown in Pic. 2. Data received:

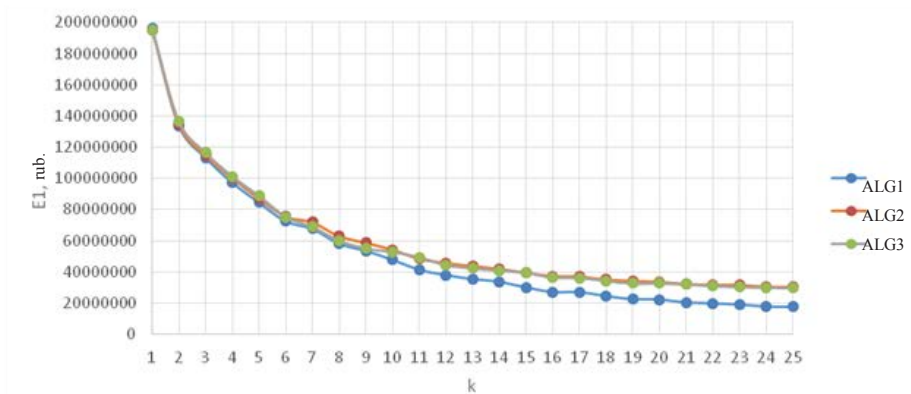
$D = 28242$ km. The graph of the dependence of criterion D on k is shown in Pic. 3.

From the graph shown in Pic. 3, it follows that as the number k increases, the total distance $D = \sum_{i=1}^n D_i$ is reduced.

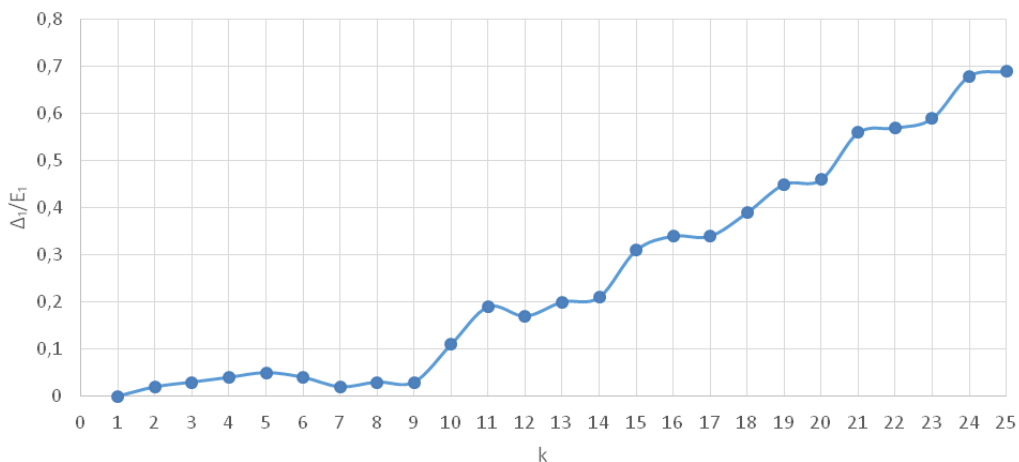
Further, to optimize the number of clusters k , we select the Davis–Boldin index, and we leave the algorithm unchanged-clustering with projection. The obtained data: $k = 22$, $DB = 0.71$. The result of the program for $k = 22$ is shown in Pic. 4. The graph of the dependence of the DB criterion is shown in Pic. 5.

3.

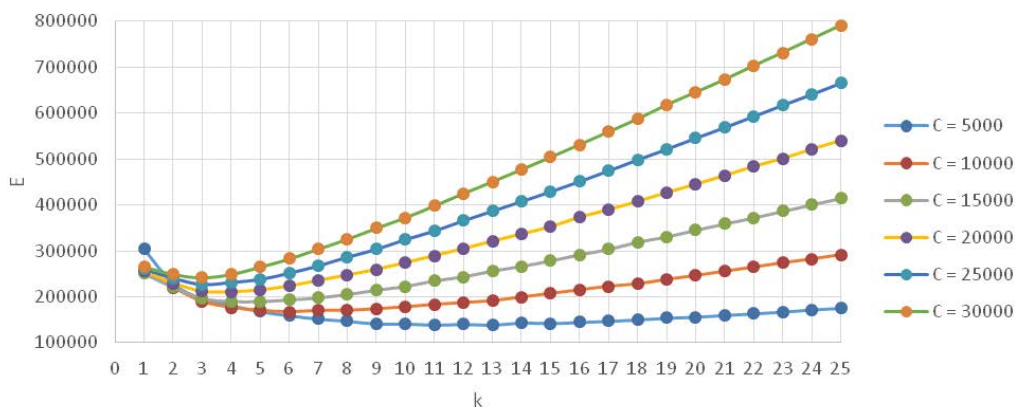
We perform clustering provided that the target criterion is specified in the case when the number k



Pic. 6. Graph of the dependence of transportation costs on the number of clusters.



Pic. 7. Dependence of Δ_i/E₁ on k for production of PFD.



Pic. 8. Graphs of the dependence of total costs on k for different c (algorithm 3).

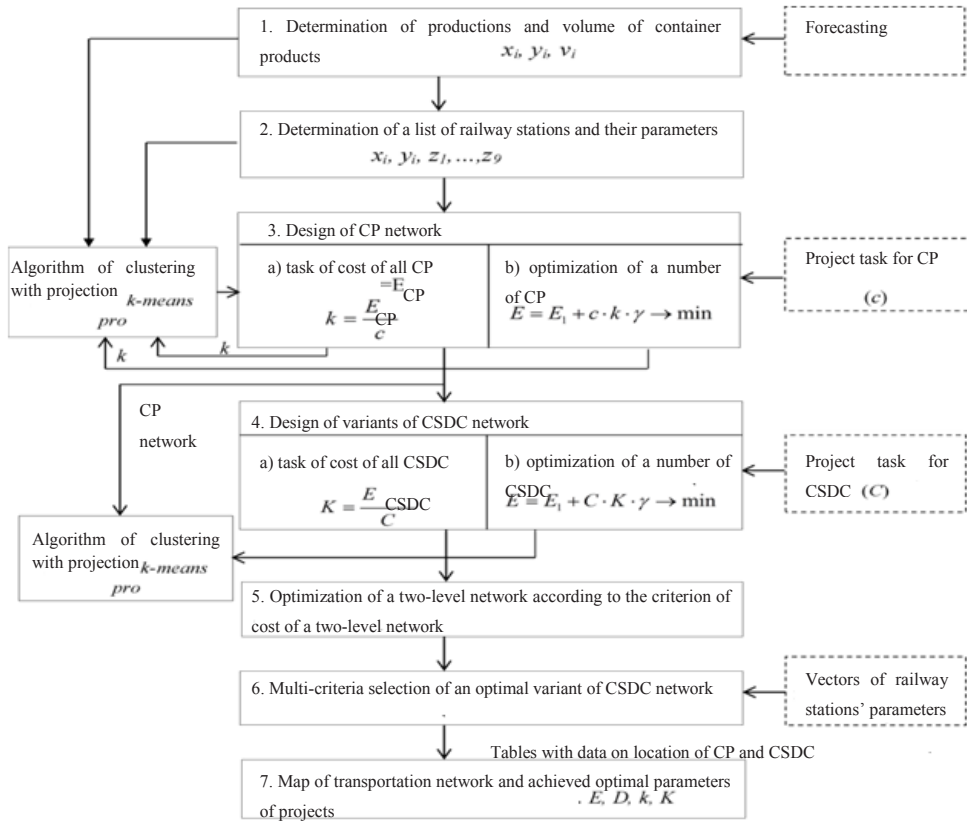
(CP) is known, i.e. when designing resources to create all CP and the average normative cost of one container point is given. In this case, the costs of creating all CP are not optimized, as the criterion is the cost of transporting goods from all customers to their CP, i.e.

$$E_i = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s \rightarrow \min, \quad (7)$$

where E_i – transportation costs; D_i – distance from a production point to CP; V_i – volume of production of a container-compatible products; s – freight rate.

Clustering was carried out for given quantities k , which varied from 1 to 25 for all three algorithms. The results of the execution of Algorithm 1, Algorithm 2





Pic. 9. Algorithm for modeling of a two-level structure of the CTS of rail transport.

and Algorithm 3 in the form of a graph of dependencies are shown in Pic. 6.

As can be seen from Pic. 6, the total costs of transportation fall with increasing k – the number of CP. From this point of view, the more CP are there, the lower are the costs of transportation from production to container points.

In our case, the cluster centers must necessarily be on the railway line and this is a limitation for the very process of clustering. The k -means pro algorithm projects the cluster centers to the railway station each time.

We call the projection defect the difference between the criterion values of the quality of free clustering and the clustering «with projection» $\Delta = E_{pr} - E_j$. The dependence Δ / E_1 on k for the production of PFD is shown in Pic. 7.

From here one can observe the following dependence: with a significant increase in the number of CP, the projection defect increases, i.e. in some cases, when the difference reaches 30–40 %, it is probably more profitable to construct a CP, to create a new infrastructure, rather than to place them on the existing infrastructure.

Next, we consider clustering under the condition that the number of CP is not specified (k is unknown), but the average cost of one CP – c is known. Then the optimization criterion for clustering is the sum of the total transportation costs and the cost of creating the CP, i.e.

$$E = \sum_{i=1}^n D_i \cdot V_i \cdot s + c \cdot k \cdot \gamma \rightarrow \min, \quad (8)$$

where γ – normative efficiency coefficient.

The results of operation of the new algorithm k -means pro (algorithm 3) for PFD in the form of graphs of the dependence of the total costs E on k for various conditional c are shown in Pic. 8.

The optimal variant for different c will look like this: for $c = 5000$ – 11 clusters; for $c = 20000$ – 4 clusters; for $c = 10000$ – 6 clusters; for $c = 25000$ – 2 clusters; for $c = 15000$ – 5 clusters; for $c = 30000$ – 2 clusters.

To optimize the location of CSDC with the use of clustering algorithms, a mathematical model was developed.

Let the coordinates and parameters of the railway stations (their numbers $l = 1, 2, \dots, L$) be given and k station numbers from L , in which there will be CP, be found. It is necessary to find r station numbers where CSDC will be located.

At the first stage, we will assume that candidates for the deployment of CSDC can be any station from the general list. Let us imagine the search as a task of finding cluster centers of stations-CP. The solution is based on the k -means pro algorithm. At the same time, it is possible to obtain not only the optimal variant based on the cost criterion for the transportation of goods from all CP to their CSDC, but also a number of suboptimal options having very close criteria values.

In the second stage, we consider the properties of station points and additional criteria for optimizing clustering. That is, the point-station has q coordinates, which determine its properties with respect to how much it satisfies the purposes of creating a CSDC in it. The first two coordinates are the coordinates of the terrain in a planar system

(x , y). Next are the components of the vector of coordinates, quantitatively measuring the nine criteria for the creation of the CSDC.

Each component should be expressed in conventional units, comparable to other coordinates. For this, the values of the criteria z_1, \dots, z_9 must be converted into dimensionless quantities. The most common normalization method is z :

$$Z_{\text{norm}} = \frac{z - \bar{z}}{\sigma_z}, \quad (9)$$

where z – average value; σ_z – standard deviation of the values z .

So, as a result of solving the problem of clustering of the first level, the CP is determined. Each such point-CP in addition to the coordinates is characterized by «weight», which is determined by the volume of the processed containers.

Then the stations are found for CSDC as centers of clusters for points-CP. Clustering in this case should be such that, taking into account the volumes of CP, clusters that are as compact as possible in the (x , y) coordinates are obtained, and their centers are as far apart as possible from each other. Thus, only the coordinates (x , y) become clustered traits, and all other attributes will be additional. Taking into account the volumes, this leads to minimization of the total costs for transportation of goods from the CP to the CSDC. All other criteria z_1, \dots, z_9 are additional for clustering and act as restrictions on the choice of CSDC points.

At the level of preliminary design of the locations of CSDC, two options for setting the task are possible.

1. With the available means A to construct $r = A/C$ CSDC in the places optimizing the integral efficiency index B , where C – average cost of CSDC.

2. To construct an optimal number of CSDC, optimizing the integrated efficiency index B taking into account the costs of crating CSDC network. These costs will be $r \cdot C$.

In order to take into account all properties of points-stations, it is necessary to ensure the implementation of the main rule – the greater are the values of the components of the coordinates z_1, \dots, z_9 for points-stations, the more expedient is it to select the center-CSDC at this point-station.

Pic. 9 shows the algorithm for modeling the design of a two-level structure of the CTS of rail transport.

Conclusion. In the course of the research, mathematical models, methods, a clustering algorithm with a projection and a software product were developed that can be used to solve problems related to the design of the location of transport facilities. Algorithm and software product were tested in the practical calculations of the optimum from the point of view of the specified criteria location of objects of the terminal infrastructure of Privolzhsky Federal District. The results obtained make it possible to recommend a unified methodology based on cluster analysis methods as a means for rational organization of the terminal infrastructure serving container trains.

Information about the author:

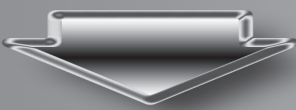
Moskvichev, Oleg V. – Ph.D. (Economics), associate professor, head of Operational management department, director of the Center for Modeling of Transport and Logistics Processes of Samara State Transport University, Samara, Russia, moskvichev063@yandex.ru.

Article received 21.03.2017, revised 29.05.2017, accepted 10.06.2017.

REFERENCES

1. Rezer, S. M., Moskvichev, O. V., Moskvicheva, E. E. Optimization of the model of formation and functioning of the container-transport system of the country [*Optimizacija modeli formirovanija i funkcionirovanija kontejnerno-transportnoj sistemy strany*]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2016, Iss. 7, pp. 3–7.
2. Moskvichev, O. V. About a new approach to the organization of container trains in the inland traffic [*O novom podhode k organizacii kontejnernyh poezdov vo vnutrennem soobshhenii*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2014, Iss. 2, pp. 56–59.
3. Mirkin, B. G. Methods of cluster analysis for decision support [*Metody klaster-analiza dlja podderzhki prinjatija reshenij*]. Moscow, Vysshaja shkola ekonomiki publ., 2011, 88 p.
4. Moskvichev, O. V., Esipov, B. A., Skladnev, N. S., Alyoshintsev, A. O. Development and research of a clustering algorithm with projection for solving the problems of transport infrastructure optimization [*Razrabotka i issledovanie algoritma klasterizacii s proekcij dlja reshenija zadach optimizacii transportnoj infrastruktury*]. *Perspective information technologies: Proceedings of the international scientific-technical conference*. Samara, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 633–637.
5. Dragan, D. D. Research of algorithms and methods of intellectual support of decision-making [*Issledovanie algoritmov i metodov intellektual'noj podderzhki prinjatija reshenij*]. [Electronic resource]: http://cad.kpi.ua/attachments/diplomas/presentations/2011_B_05_Dragan.pdf. Last accessed 10.06.2017.
6. Aivazyan, S. A., Buchstaber, V. M., Enyukov, I. S., Meshalkin, L. D. Classification and diminution of dimensionality [*Klassifikacija i snizhenie razmernosti*]. Moscow, Finansy i statistika publ., 1989, 607 p.
7. Moskvichev, O. V., Tretyakov, G. M., Moskvicheva, E. E. New approach to development of the container-transport system of Russia on the basis of formation of a container cluster [*Novyj podhod v razvitanii kontejnerno-transportnoj sistemy Rossii na osnove formirovanija kontejnerno klastera*]. *Vestnik transporta Povolzh'ja*, 2012, Iss. 3, pp. 35–39.
8. Moskvichev, O. V., Nikonov, Yu. S. Estimation of the potential and perspectives of development of a container transport system [*Ocenka potenciala i perspektiv razvitanija kontejnernoj transportnoj sistemy*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 2013, Iss. 4, pp. 37–39.
9. Moskvichev, O. V., Moskvicheva, E. E., Nikonov Yu. S. To the issue of consolidation and delivery of single and group container shipments as a part of container trains [*K voprosu konsolidacii i dostavki odinochnyh i gruppovyh kontejnernyh otpravok v sostave kontejnernyh poezdov*]. *Transport Urala*, 2014, Iss. 2, pp. 15–18.
10. Moskvichev, O. V. Multicriteria assessment of the containerability of manufactured products as one of the factors determining placement of the terminal-logistics infrastructure [*Mnogokriterial'naja ocenka kontejneroprigradnosti proizvodimoy produkcii kak odin iz faktorov, opredelajushhij razmeshhenie terminal'no-logisticheskoy infrastruktury*]. *Vestnik transporta Povolzh'ja*, 2015, Iss. 1, pp. 74–80.





СОГЛАШЕНИЯ МСАТ И ООН О ЦИФРОВИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МДП

МСАТ (IRU) и Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН) подписали 6 октября 2017 года соглашения о цифровизации процедуры таможенного транзита в соответствии с Конвенцией МДП. Целью этого шага является активизация международных перевозок и торговли за счёт повышения эффективности и безопасности таможенных процедур посредством совершенствования управления данными.

Полную цифровизацию процедуры таможенного транзита МДП будет поддерживать Меморандум о взаимопонимании, что еще больше укрепит сотрудничество между ЕЭК ООН и IRU. Помимо описания новых пилотных проектов с использованием электронной процедуры МДП в других странах, Меморандумом также предусмотрен ряд ежегодных планов действий для определения дальнейших шагов.

Исполнительный секретарь ЕЭК ООН Ольга Алгаерова приветствовала подписание Меморандума: «Компьютеризация системы МДП повысит скорость, эффективность и прозрачность этой процедуры таможенного транзита. Рост интереса к Конвенции МДП означает, что всё больше стран смогут воспользоваться её преимуществами. Подписями под Меморандумом ЕЭК ООН и IRU подтверждают свою

приверженность единому видению устойчивости системы МДП в долгосрочной перспективе».

Генеральный секретарь IRU Умберто де Претто отметил: «Мы нацелены на укрепление партнерских отношений с ЕЭК ООН в части расширения и совершенствования системы МДП, чтобы стимулировать торговлю и экономический рост. Этому будут способствовать дальнейшие пилотные проекты eTIR и соглашение на регулярной основе применения электронных транспортных, таможенных и транзитных инструментов».

Цели на 2018 год включают: предоставление возможности всем заинтересованным таможенным администрациям присоединиться к новому цифровому проекту, запуск второго пилотного проекта, достижение полной синхронизации системы IRU/ЕЭК ООН с зеркальными базами данных.

По материалам сайта IRU: <https://www.iru.org/ru/%D0%A0%D0%B5%D1%81%D1%83%D1%80%D1%81%D1%8B/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/soglasenia-o-cifrovizacii-sistemy-mdp-podpisany-segodna-s-oon>

AGREEMENTS OF IRU AND UN ON TIR DIGITALISATION

IRU and United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) signed on October 6, 2017 agreements on the digitalisation of the customs transit procedure under the TIR Convention, to boost international transport and trade by improving the efficiency and security of customs procedures through enhanced data management.

The full digitalisation of the TIR customs transit procedure will be supported by a Memorandum of Understanding to further strengthen cooperation between UNECE and IRU. Outlining the launch of new digital TIR pilot projects to encompass further countries, the Memorandum also establishes a series of yearly action plans to define next steps.

UNECE Executive Secretary Olga Algayerova welcomed the MoU, stating that «The computerisation of the TIR system will enhance the speed, efficiency and transparency of the TIR customs transit procedure. Increasing interest in the TIR Convention means more and more countries

will benefit from these improvements. Through this MoU, UNECE and IRU reaffirm their commitment to a common vision for the long term sustainability of the TIR system».

Secretary General of IRU, Umberto de Pretto, commented: «We look forward to a strengthened partnership with UNECE on expanding and upgrading the TIR system to improve trade and spur economic growth, with further eTIR pilot projects and regular coordination on the use of digital transport, customs and transit tools».

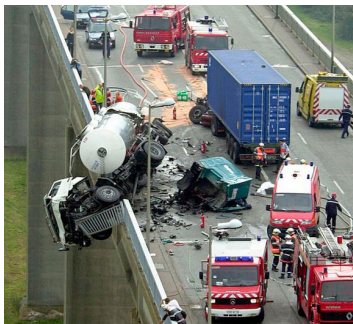
For 2018, the objectives include: enabling any interested customs administrations to join a new digital project; the launch of the second pilot project; and the introduction of full IRU/ UNECE system synchronisation with mirrored databases.

Retrieved and compiled from IRU WWeb-site news. Original source: <https://www.iru.org/resources/newsroom/agreements-tir-digitalisation-signed-un>

T

АВАРИЙНОСТЬ 176

Причины нарушения правил на автодорогах.



ПРОЕКЦИИ РИСКА 184

И длина, и интервал, и ещё кое-что.

ЭКОЛОГИЯ 198

Транспортная среда: поиск оценочных критериев.

БЕЗОПАСНОСТЬ • SAFETY AND SECURITY

ACCIDENT RATE 176

Causes of road safety rules violation.

RISK ESTIMATION 184

Length, interval and many other factors.



ECOLOGY 198

Transport environment: in search of assessment criteria.





Причины аварийности и критерии контроля на автодорогах



Николай ПЕНЬШИН
Nikolai V. PENSHIN

Марина УШАКОВА
Marina A. USHAKOVA



Пеньшин Николай Васильевич – кандидат экономических наук, доцент, научный руководитель кафедры организации перевозок и безопасности дорожного движения Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ), Тамбов, Россия.

Ушакова Марина Александровна – магистрант кафедры организации перевозок и безопасности дорожного движения ТГТУ, Тамбов, Россия.

Causes of Accidents and Criteria of Control on the Roads

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 180)

В обзорной по своему характеру статье анализируются точки зрения отечественных и зарубежных исследователей на проблемы безопасности движения на автомобильных дорогах, причины аварийности и способы её предотвращения. Делаются попытки проследить основные тенденции научного поиска в этой сфере, в том числе те из них, которые касаются диагностических критериев и показателей для оценки безопасности пассажирского автотранспорта, а также человеческого фактора во всех его современных проявлениях.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, пассажирский автотранспорт, аварийность, диагностика, критерии контроля, профилактика нарушений, человеческий фактор.

Проблемами безопасности дорожного движения занимается множество исследователей. Но довольно часто их рассматривают в привычном ракурсе, избегая острых поворотов и прямых оценок. Нередко принимая новые положения обеспечения безопасности пассажирских перевозок, не указывают, какая именно технология может обеспечить комфортные, с минимальным риском перевозки пассажиров. Преимущественно требования предъявляются к водителю и маршрутам, в то время как безопасность при перевозке населения этим не ограничивается. И в своём обзоре нам как раз и хотелось бы расширить привычные рамки дискуссий.

В статье «Методология формирования диагностических критериев для оценки безопасности пассажирского транспорта» М. З. Еркнапешян, В. А. Зеликов, К. А. Яковлев и В. А. Иванников [1] отмечают, что существующие методы информационного обеспечения безопасности дорожного движения являются неэффективными для профилактики аварийности, в первую очередь из-за отсутствия системы истинных показателей оценки аварийности на пассажирском транспорте общего пользования. Список более «истинных» диагностических показателей, по мнению этих авторов, следующий:

— контроль технического состояния транспортных средств перед началом работы и на линии;

— профессиональный отбор и подбор водителей;

— обеспечение информацией водителей относительно условий движения на маршруте;

— подготовка водителей на маршрутах (стажировка);

— ежегодное повышение квалификации водителей для обеспечения безопасности дорожного движения;

— медицинская экспертиза водителя для получения водительского удостоверения;

— предрейсовый и послерейсовый медицинский осмотр водителей;

— контроль работы водителей на линии.

Но при этом авторы не уточняют, насколько получаемый интегральный показатель (сумма оценок по 5-балльной системе) отвечает готовности субъектов автотранспортной деятельности предотвращать аварийность на дорогах. Применение данной методики возможно только для сравнения показателей одного автотранспортного предприятия с другим. И сводить все показатели в интегральную оценку не совсем правильно. Лучше отдельно выделять характеристики, которые явно влияют на безопасность движения. К тому же, по нашему мнению, пользоваться указанными в статье параметрами ещё и не очень корректно. Практически все из них закреплены на законодательном уровне и обязательны к исполнению.

Как полагают Г. Бойко, С. Туйрина и В. Федотова [2], главной причиной нарушения безопасности дорожного движения с участием пассажирского транспорта является массовое привлечение неквалифицированных водителей для работы в автобусах малой вместимости. Они недостаточно разбираются в специфике их технической эксплуатации, стараются произвести посадку в салон как можно большего числа пассажиров, не учитывая, что это создаёт опасность не только для людей, находящихся в машине, но и для дорожной ситуации в целом. Низкая квалификация водителей микроавтобусов, а также их низкий уровень правового сознания и недостаточное понимание сути дорожно-транспортных происшествий (ДТП) явно способствуют возникновению аварий [2, с. 28].

С такой точкой зрения трудно не согласиться. Эти автобусы пользуются большой популярностью у населения, при сравнении с более габаритными автобусами у них можно выявить многие положительные стороны —

они манёвреннее и быстрее, разница в оплате проезда минимальна. А для перевозчиков на маршрутах, где в течение дня наблюдаются преимущественно небольшие пассажиропотоки, это даёт возможность полностью заполнить салон и уменьшать себестоимость поездок. Но качество и безопасность перевозок микроавтобусами действительно оставляют желать лучшего. Водители автобусов малой вместимости часто нарушают правила дорожного движения: устраивают гонки с водителями других пассажирских машин, проскакивают на перекрёстках на жёлтый сигнал светофора, нередко неправильно перестраиваются, создавая опасные дорожные ситуации.

По мнению Г. И. Клинковштейна, на безопасность в сфере пассажирского автомобильного транспорта общего пользования влияют внешние и внутренние проблемы [3]. Внешние характеризуются большим ростом транспортной загрузки городов, нарастающим уровнем автомобилизации и существенным отставанием в последние годы темпов развития дорожных сетей. Вследствие этого, собственно, высоки и аварийность, и риск дорожно-транспортных происшествий.

Внутренние проблемы безопасности движения, считает тот же исследователь, связаны с недостаточным развитием транспортной инфраструктуры: низким уровнем развития улично-дорожной сети (УДС), неэффективностью существующих маршрутных сетей городов, отсутствием достойных организационных, технологических и технических решений по защите пешеходов на улицах и пользователей пассажирского автомобильного транспорта. Но внутренние проблемы не ограничиваются только этим. Они проявляются и в низких технических характеристиках автобусов по условиям активной, пассивной и послеаварийной безопасности, недостаточной квалификации водительского состава, недостатках в организации перевозочного процесса.

На это влияет в первую очередь непродуманная политика как в сфере автомобильного транспорта, так и в области поддержки малого бизнеса. При всех изначально положительных сторонах предложенной государством модели упрощения тарифной и налоговой политики, приведших к дроблению большинства автотранспортных предприятий страны, она не учитывает значительные потери государства от снижения устойчивости работы пассажирского автомобильного транспорта общего пользования и снижения эффективности мер по предупреждению ДТП со стороны хозяйствующих субъектов малого



бизнеса. Мелкие предприятия не имеют своей производственно-технической базы, ограничены в возможности замены изношенного парка автобусов и проведении профессионального подбора и повышения квалификации водителей.

В добавление к этому, на наш взгляд, прослеживается слабая ответственность регионов и местного самоуправления в части диспропорции массовой автомобилизации и развития улично-дорожной сети. В России зарегистрировано более 57 млн транспортных средств. Что составляет около 390 авт./1000 жителей, в то время как доля УДС – 10 % от территории городов. Для сравнения в странах Европы этот показатель может достигать 25 %, а в Северной Америке – 35 %. Необходимо довести этот показатель хотя бы до 20 %, чтобы обеспечить если не комфортные, то безопасные условия для движения транспорта.

Итальянские учёные С. Кафисо, А. Грациано и Г. Паппалардо [4] из университета Катании считают, что безопасности пассажирского транспорта на дорогах уделяют недостаточно внимания из-за низкого процента аварий с участием автобусов и предположения, что общественный транспорт повышает безопасность дорожного движения за счёт снижения автомобильного трафика. Университетские специалисты полагают это неверным. Они приводят статистику, что на все аварии приходится 10 % с участием автобусов. Но при этом отмечают, что общественный транспорт имеет важное социальное значение, поэтому аварии нужно не только сократить до минимума, но и исключить саму вероятность их возникновения.

В своих исследованиях Кафисо и его коллеги выяснили, что наибольшее влияние на безопасность движения пассажирского транспорта оказывают профессиональное мастерство водителя (наибольшая опасность возникает при торможении и автоматическом открывании дверей), материалы и внутренняя архитектура автобусов. Наиболее частыми причинами дорожно-транспортных происшествий становятся невнимательность и усталость водителей. Один из способов усиления здесь позиций – широкое внедрение в будущем интеллектуальных транспортных систем в пассажирских перевозках, которые повысят вероятность преодоления многих из перечисленных проблем.

Ю. Заранка, Р. Песелийнас и Д. Матийоус из Вильнюсского технического университета Гедимины в статье «Анализ влияния усталости на работоспособность водителей

пассажирского транспорта» подтверждают, что усталость водителя остаётся довольно частой причиной аварий и несчастных случаев. До 75 % ДТП происходит по этой причине. Причём надёжность водителя может ухудшиться из-за предрасположенности к риску, эмоциональной неустойчивости, агрессивности, неправильного восприятия шкалы ценностей [5].

Основываясь на результатах своего исследования, авторы предлагают методику профессионального отбора водителей. Они отмечают, что их важные профессиональные черты должны включать эмоциональную стабильность, устойчивость к препятствиям и однообразию дороги, способность предсказывать возможные аварийные ситуации, внимательность и хорошую память. Именно на них следует обращать внимание после долгого перерыва в работе водителя, когда профессиональные навыки теряют автоматизм. Рекомендуется проводить тестирование водителей на регулярной основе с помощью специальных упражнений, моделирующих различные аварийные ситуации.

Такая методика необходима, но в то же время в предложенном варианте вильнюсских коллег нет точных критериев и их количественного измерения. Можно только говорить о том, справляется ли потенциальный водитель с заданиями и с какой скоростью он их выполняет, т.е. речь идёт о сравнительных показателях.

При рассмотрении мнений различных учёных о психологических причинах ДТП следует заметить, что большинство из них подчёркивает некие неподходящие индивидуальные черты причастных к авариям людей и вообще существенное влияние человеческого фактора на безопасность дорожного движения. Как правило, исследователи приходят к единодушному выводу: профессиональный отбор, основанный на результатах тестирования, должен быть всесторонним и качественным. Методология такого выбора обязана учитывать детальный анализ особенностей деятельности и социальной значимости профессии водителей.

Линглинг Янг, Куанхин Сун, Шаокуан Шен и Ю Хуанг [6] из Пекинского транспортного университета в статье «Анализ безопасности поведения такси при смене полосы» рассматривают такую актуальную проблему для Китая, как безопасность пассажирских перевозок при использовании такси. Этот вопрос не менее актуален и для России, поскольку у нас ещё и мало нормативно-правовых актов, касающихся данной

сферы. А те, что имеются, в недостаточной степени защищают пассажиров и других участников дорожного движения.

По оценке авторов, низкий уровень заработной платы может «поощрять» водителей такси жертвовать безопасностью, поскольку они пытаются максимизировать доходы за счёт ускорения движения (оборота источника дохода) или рискованного поведения. В том числе нарушают часто рядность, совершают перестроение, что создаёт аварийные ситуации на дороге.

Та же ситуация, заметим, наблюдается и в нашей стране. За качество обслуживания и безопасность пассажиров в такси никто не отвечает. Пассажир пользуется этим видом перевозок на свой страх и риск.

Коллектив румынских исследователей в статье «Необходимость улучшения транспортных условий в крупных городах Румынии» [7] считает, что рост числа автомобилей внёс свой вклад в увеличение трафика, в частности в утренние и вечерние часы пик. Кроме того, большинство машин — подержанные, что также отрицательно повлияло на дорожную ситуацию и экологическую обстановку в городах. Проблему может решить общественный транспорт, но на сегодняшний день население использует личный автомобиль даже для поездок на короткие расстояния. По мнению авторов, качество обслуживания и скорость движения пассажирского транспорта оставляют желать лучшего, поэтому большинство жителей отдаёт предпочтение своему автомобилю. В противовес этому идёт поиск альтернатив — один из проектов предусматривает пассажирские перевозки с применением рельсовых автобусов в Бухаресте и других крупных городах страны.

У этого вида транспорта много положительных сторон в сравнении с обычными автобусами: скорость, безопасность, удобство, экологичность. Для многих городов России подобный вид пассажирских перевозок тоже мог бы стать хорошей альтернативой уже привычным для нас автобусам, троллейбусам и метро.

В России, кстати, уже есть положительные примеры применения рельсовых автобусов. И здесь было бы целесообразно подвоз пассажиров осуществлять как можно ближе к крупным пассажирообразующим предприятиям (рынки, театры, супермаркеты и т.д.). Сейчас рельсовый вариант

в основном востребован на пригородных маршрутах, но и в городской черте такой транспорт пользовался бы популярностью. Используя уже имеющиеся подъездные железнодорожные пути и строя новые, можно добиться снижения нагрузки на общественный пассажирский транспорт и дорогу.

Из всего изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо обновление нормативно-правовой базы в области обеспечения безопасности дорожного движения в связи с тем, что в существующих законах и постановлениях имеются существенные пробелы, требующие обязательной реакции общества и государства.

2. Следует определить первоначальный комплекс мер по совершенствованию организации дорожного движения для уменьшения количества транспортных средств на улицах городов и увеличения пропускной способности улично-дорожной сети.

3. Предлагается расширить возможности для применения альтернативных видов общественного транспорта с целью разгрузки и повышения безопасности движения в зонах эксплуатации традиционных видов перемещения пассажиров в городской черте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Methodology of formation of diagnostic criteria for evaluation of safety of motor transport public service / M. Z. Erknepshyan, V. A. Zelikov, K. A. Yakovlev, V. A. Ivannikov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.— 2016.— № 3.— Vol. 12.— Pp. 1787—1792.
2. Boyko G. Research of influence of small capacity passenger vehicles to work of transport system / G. Boyko, S. Tujrin, V. Fedotov // Transport problems.— 2015.— № 1.— Vol. 10.— Pp. 23—30.
3. Клиновштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения.— М.: Транспорт, 2001.— 247 с.
4. Cafiso S. Using the Delphi method to evaluate opinions of public transport managers on bus safety / S. Cafiso, A. Di Graziano, G. Pappalardo // Safety science.— 2013.— Vol. 57.— Pp. 254—263.
5. Zaranka J. Analysis of the influence of fatigue on passenger transport drivers' performance capacity / J. Zaranka, R. Pečeliūnas, J. Matijošius // Transport.— 2012.— Vol. 27(4).— Pp. 351—356.
6. Safety Analysis of Taxi Lane Changing Behavior / L. Yang, Q. Sun, S. Chen, Y. Huang // Advanced Forum on Transportation of China (AFTC), 5th (17 Oct. 2009, Beijing).— IET, 2009.— Pp. 199—203.
7. The need to improve transport conditions in the big cities of Romania // V. Rădulescu, I. Străinescu, L. Moroianu, E. Tudor, C. Goia, F. Bozaş, V. Lupu, B. Rădulescu, M. Tănase // Urban Transport.— Vol. 9.— Pp. 125—135.

Координаты авторов: **Пеньшин Н. В.** — avtobd@mail.ru, **Ушакова М. А.** — ushackova.marina@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 18.05.2017, принята к публикации 02.08.2017.



CAUSES OF ACCIDENTS AND CRITERIA OF CONTROL ON THE ROADS

Penshin, Nikolai V., Tambov State Technical University (TSTU), Tambov, Russia.

Ushakova, Marina A., Tambov State Technical University (TSTU), Tambov, Russia.

ABSTRACT

In the article, which has a nature of a review, the views of domestic and foreign researchers on the problems of road safety on roads, the causes of accidents and ways to prevent them are analyzed.

Keywords: road safety, passenger motor transport, accident rate, diagnostics, control criteria, prevention of violations, human factor.

Background. Many researchers deal with the problems of road safety. But quite often they are considered in the usual foreshortening, avoiding sharp turns and direct assessments. Often, adopting new regulations to ensure the safety of passenger traffic, it is not indicated which technology can provide comfortable, with minimal risk transportation of passengers. Primarily requirements are imposed on the driver and routes, while safety during transportation of the population is not limited to this. And in our review of publications, we just want to pay attention to this topic.

Objective. The objective of the authors is to causes of accidents and criteria of control on the roads, which are considered in a number of scientific publications.

Methods. The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach.

Results. In the article «Methodology of formation of diagnostic criteria for evaluation of safety of motor transport public service» M. Z. Erknepeshyan, V. A. Zelikov, K. A. Yakovlev and V. A. Ivannikov [1] note that existing methods of information support of road safety are ineffective for prevention of accidents, primarily due to the lack of a system of true indicators of accident rate assessment on public passenger transport. The list of more «true» diagnostic indicators, according to these authors, is as follows:

- monitoring of technical condition of vehicles before starting work and on the line;
- professional selection of drivers;
- providing drivers with information regarding traffic conditions on the route;
- training of drivers on the routes (internship);
- annual advanced training of drivers for road safety;
- medical examination of the driver for obtaining a driving license;
- pre-trip and post-trip medical examination of drivers;
- control of drivers on the line.

But at the same time, the authors do not specify how the integral indicator obtained (the sum of the estimates for the 5-point system) corresponds to the readiness of the subjects of road transport activities to prevent accidents on the roads. The application of this technique is possible only to compare the performance of one trucking enterprise with another. And it is not entirely correct to reduce all the indicators to an integral estimate. It is better to separately identify the characteristics that clearly affect the safety of traffic. In addition, in our opinion, it is also not very correct to use the parameters specified in the article. Almost all of them are fixed at the legislative level and are obligatory for execution.

According to G. Boyko, S. Tuirina and V. Fedotov [2], the main cause of the traffic safety violation

Attempts are made to trace the main trends of scientific research in this field, including those that concern diagnostic criteria and indicators for assessing safety of passenger vehicles, as well as the human factor in all its contemporary manifestations.

involving passenger transport is massive attraction of unskilled drivers for work in small capacity buses. They do not understand enough about the specifics of their technical operation, try to allow as many passengers as possible in the passenger compartment, not taking into account that this creates a danger not only for people in the car, but also for the traffic situation as a whole. Low qualification of drivers of minibuses, as well as their low level of legal awareness and lack of understanding of the essence of road accidents (crashes) clearly contribute to the occurrence of accidents [2, p. 28].

It is difficult not to agree with such a view. These buses are very popular among the population, when compared with more spacious buses, many positive aspects can be revealed in them – they are more mobile and faster, the difference in payment for travel is minimal. And for carriers on routes where during the day there are mainly small passenger traffic, it makes it possible to completely fill the cabin and reduce the cost of driving. But the quality and safety of transport by minibuses really leave much to be desired. Drivers of low-capacity buses often violate the traffic rules: they arrange races with drivers of other passenger cars, jump at the intersections to a yellow traffic light signal, often wrongly change the lane, creating dangerous traffic situations.

According to G. I. Klinkovshstein, safety in the sphere of passenger motor transport of general use is influenced by external and internal problems [3]. External are characterized by a large increase in urban transport traffic, an increasing level of motorization and a significant lag in the last years of the pace of development of road networks. As a consequence, the accident rate itself and the risk of road accidents are high.

Internal problems of traffic safety, the same researcher believes, are associated with the insufficient development of the transport infrastructure: low level of development of the street-road network (SRN), inefficiency of the existing urban route networks, lack of decent organizational, technological and technical solutions to protect pedestrians on the streets and users of passenger motor transport. But internal problems are not limited to this. They are also manifested in the low technical characteristics of buses in terms of active, passive and post-accident safety, inadequate driver training, and shortcomings in the organization of the transportation process.

This is influenced, first of all, by the ill-conceived policy both in the sphere of motor transport and in the field of small business support. With all the initially positive aspects of the simplified tax and tax policy proposed by the state, which led to the fragmentation of most of the country's motor transport enterprises, it does not take into account the significant losses of



the state from reducing the sustainability of public road transport and reducing the effectiveness of measures to prevent accidents from small business entities. Small enterprises do not have their own production and technical base, are limited in the ability to replace a worn-out bus fleet and conduct professional selection and advanced training of drivers.

In addition to this, in our opinion, the weak responsibility of the regions and local self-government regarding the disproportion of mass motorization and development of the street-road network can be traced. In Russia, more than 57 million vehicles have been registered. That makes about 390 cars/1000 inhabitants, while the share of SRN is 10 % of the territory of cities. For comparison, in Europe, this figure can reach 25 %, and in North America – 35 %. It is necessary to bring this figure to at least 20 % to ensure, if not comfortable, then safe conditions for traffic.

Italian scientists S. Cafiso, A. Graziano and G. Pappalardo [4] from the University of Catania believe that the safety of passenger transport on the roads is given insufficient attention due to the low percentage of accidents involving buses and the assumption that public transport increases road safety for account for reducing car traffic. University specialists believe this is incorrect. They cite statistics that all accidents account for 10 % of buses. But at the same time they note that public transport has an important social significance, so the accident should not only be reduced to a minimum, but also to exclude the very possibility of their occurrence.

In their research, Cafiso and his colleagues found that the professional skills of the driver have the greatest impact on the safety of passenger traffic (the greatest danger occurs during braking and automatic opening of doors), materials and the internal architecture of buses. The most frequent causes of road accidents are inattention and fatigue of drivers. One way to strengthen these positions is the widespread introduction in the future of intelligent transportation systems in passenger transportation, which will increase the likelihood of overcoming many of the listed problems.

J. Zaranka, R. Peselijnas and D. Matiyozus from the Vilnius Gediminas Technical University in the article «Analysis of the influence of fatigue on passenger transport drivers' performance capacity» confirm that driver fatigue remains a rather frequent cause of crashes and accidents. Up to 75 % of accidents occur due to his fault. And the reliability of the driver can

worsen due to the predisposition to risk, emotional instability, aggressiveness, wrong perception of the scale of values [5].

Based on the results of their research, the authors suggest a technique for professional selection of drivers. They note that their important professional traits should include emotional stability, resistance to obstacles and monotony of the road, the ability to predict possible emergencies, mindfulness and good memory. They should be paid attention to after a long break in the driver's work, when the professional skills lose their automatism. It is recommended that drivers be tested on a regular basis with the help of special exercises simulating various emergency situations.

Such a methodology is necessary, but at the same time in the proposed version of Vilnius colleagues there are no exact criteria and their quantitative measurement. One can only talk about whether the potential driver is coping with tasks and at what speed he is performing them, i.e. we are talking about comparative indicators.

When considering the opinions of various scientists about the psychological causes of accidents, it should be noted that most of them emphasize certain unsuitable individual traits of people involved in accidents and in general a significant influence of the human factor on road safety. As a rule, researchers come to a unanimous conclusion: professional selection, based on the results of testing, should be comprehensive and qualitative. The methodology of this choice must take into account a detailed analysis of the characteristics of the activity and social significance of the profession of drivers.

Lingling Yang, Kuanghin Soong, Shaokuan Shen and Yu Huang [6] from the Beijing Transport University in the article «Safety Analysis of Taxi Lane Changing Behavior» consider such an urgent problem for China as the safety of passenger transportation when using a taxi. This issue is no less relevant for Russia, since we also have few regulatory and legal acts concerning this sphere. And those that are available do not sufficiently protect passengers and other road users.

According to the authors' estimates, a low level of wages can «encourage» taxi drivers to sacrifice safety, as they try to maximize revenues by accelerating traffic (revenue source turnover) or risky behavior. Including often do not keep lanes, change lanes, which creates emergency situations on the road.

The same situation, we note, is observed in our country. No one is responsible for quality and safety





of passengers in a taxi. The passenger uses this type of transportation at his own risk.

The team of Romanian researchers in the article «The need to improve transport conditions in the big cities of Romania» [7] believes that the increase in the number of cars contributed to increased traffic, particularly in the morning and evening peak hours. In addition, most cars are second-hand, which also adversely affected the road situation and the environmental situation in the cities. The problem can be solved by public transport, but today the population uses a personal car even for trips on short distances. According to the authors, the quality of service and the speed of passenger transport leave much to be desired, so most residents prefer their own cars. In contrast, there is a search for alternatives – one of the projects provides for passenger transportation using rail buses in Bucharest and other major cities of the country.

This type of transport has many advantages compared to conventional buses: speed, safety, convenience, environmental friendliness. For many cities in Russia, this type of passenger traffic could also be a good alternative to the already familiar for us buses, trolleybuses and the metro.

In Russia, by the way, there are already positive examples of the use of rail buses. And here it would be expedient to bring passengers as close to large passenger-forming enterprises as possible (markets, theaters, supermarkets, etc.). Now the rail version is mainly in demand on suburban routes, but in the city, such a transport would be popular. Using existing railroad access roads and building new ones, it is possible to reduce the burden on public passenger transport and the road.

Conclusions.

From all the above, we can draw the following conclusions:

1. It is necessary to update the regulatory framework in the field of road safety due to the fact that existing laws and regulations have significant gaps

requiring an obligatory reaction of society and the state.

2. An initial set of measures to improve traffic management should be identified to reduce the number of vehicles on city streets and increase the capacity of the road network.

3. It is proposed to expand the possibilities for the use of alternative types of public transport with the purpose of unloading and improving traffic safety in the areas of operation of traditional modes of moving passengers in the city.

REFERENCES

1. Erknepeshyan, M. Z., Zelikov, V. A., Yakovlev, K. A., Ivannikov, V. A. Methodology of formation of diagnostic criteria for evaluation of safety of motor transport public service. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, Iss. 3, Vol. 12, pp. 1787–1792.
2. Boyko, G., Tujrin, S., Fedotov, V. Research of influence of small capacity passenger vehicles on work of transport system. *Transport problems*, 2015, Iss. 1, Vol. 10, pp. 23–30.
3. Klinkovshstein, G. I., Afanasiev, M. B. Organization of road traffic [*Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya*]. Moscow, Transport publ., 2001, 247 p.
4. Cafiso, S., Di Graziano, A., Pappalardo, G. Delphi method to evaluate opinions of public transport managers on bus safety. *Safety science*, 2013, Vol. 57, pp. 254–263.
5. Zaranka, J., Pečeliūnas, R., Matijošius, J. Analysis of the influence of fatigue on passenger transport drivers' performance capacity. *Transport*, 2012, Vol. 27(4), pp. 351–356.
6. Yang, L., Sun, Q., Chen, S., Huang, Y. Safety Analysis of Taxi Lane Changing Behavior. *5th Advanced Forum on Transportation of China (AFTC)*, 17 Oct. 2009, Beijing, IET, 2009, pp. 199–203.
7. Rădulescu, V., Străinescu, I., Moroianu, L., Tudor, E., Goia, C., Bozaș, F., Lupu, V., Rădulescu, B., Tănase, M. The need to improve transport conditions in the big cities of Romania. *Urban Transport*, Vol. 9, pp. 125–135. ●

Information about the authors:

Penshin, Nikolai V. – Ph.D. (Economics), associate professor, scientific leader of the department of Transportation and Road Safety of Tambov State Technical University (TSTU), Tambov, Russia, avtobd@mail.ru.

Ushakova, Marina A. – master student of the department of Transportation and Road Safety of Transportation and Road Safety of Tambov State Technical University (TSTU), Tambov, Russia, ushackova.marina@yandex.ru.

Article received 18.05.2017, accepted 02.08.2017.



СОТРУДНИЧЕСТВО РОСТРАНСНАДЗОРА И ОАО «РЖД» В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Соглашение о сотрудничестве было подписано 13 октября 2017 года в ОАО «РЖД» на выездном заседании коллегии Федеральной службы по надзору в сфере транспорта и Общественного совета при Ространснадзоре.

Президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров, открывая заседание, отметил, что в компании реализуется стратегия обеспечения гарантированной безопасности и надёжности перевозочного процесса. Результатом целенаправленной работы стало снижение в 2017 году общего количества транспортных происшествий на инфраструктуре железнодорожного транспорта на 35 % по сравнению с аналогичным показателем предыдущего года.

Также ОАО «РЖД» обеспечивает соответствие заданным Транспортной стратегией Российской Федерации параметрам

в области безопасности движения. Так, за истёкший период 2017 года установленный целевой параметр выполнен и составил 1,04 события на миллион поездо-километров (при заданном значении 1,3), что ниже уровня прошлого года на 29 %.

Помимо этого, за 9 месяцев 2017 года в рамках программы мероприятий по приведению инфраструктуры ОАО «РЖД» к требованиям правил технической эксплуатации было отремонтировано более 24 тыс. объектов (мосты, платформы, тоннели), в целом на реализацию программы в текущем году предусмотрено более 100 млрд рублей.

По материалам пресс-службы ОАО «РЖД»: http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=654&layer_id=4069&referrerLayerId=3307&id=90635 ●

COOPERATION OF FEDERAL SERVICE FOR SUPERVISION OF TRANSPORT AND RUSSIAN RAILWAYS ON RAIL SAFETY

The agreement was signed on October 13, 2017 during an offsite session held at Russian Railways of the Collegium of Russia's Federal Service for Supervision of Transport (Rostransnadzor) and the Public Council at Rostransnadzor.

The President of Russian Railways Oleg Belozarov opened the meeting and noted that the Company was implementing a strategy to guarantee the safety and reliability of the transportation process. Belozarov also reported that the Company's purposeful work had resulted in a reduction of 35 % in the total number of transport accidents which had occurred on the railway transport infrastructure in 2017 compared to last year.

Russian Railways also ensures compliance with the parameters set by the Transport Strategy of the Russian Federation in the field

of traffic safety. Thus for 2017 to date, the target parameter has been met and amounted to 1.04 events per million train-kilometres, which is below the set value of 1.3 and 29 % less than the level of the previous year.

In addition, from January to February 2017 more than 24,000 objects such as bridges, platforms and tunnels were repaired as part of the programme of measures undertaken to bring the infrastructure of Russian Railways into compliance with the requirements of the technical operational rules.

Russian Railways has spent more than 100 billion roubles under this programme.

Retrieved and compiled from Russian Railways press service news: http://eng.rzd.ru/newse/public/en?STRUCTURE_ID=15&layer_id=4839&referrerLayerId=4530&id=107160 ●



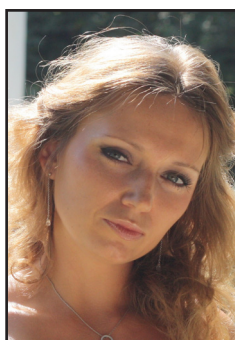


«Интервалы безопасности» на остановках автобусов города Волжского



Галина ЧЕРНОВА
Galina A. CHERNOVA

Марина ВЕЛИКАНОВА
Marina V. VELIKANOVA



Чернова Галина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института – филиала ВолГТУ, Волжский, Россия.

Великанова Марина Владимировна – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта Волжского политехнического института – филиала ВолГТУ, Волжский, Россия.

«Safety Intervals» at the Bus Stops of the City of Volzhsky

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 192)

Анализ улично-дорожной сети в городе Волжском, напряжённой ситуации с обеспечением безопасности с посадкой и высадкой пассажиров общественного транспорта. Определено несоответствие длин остановочных пунктов входящему потоку автобусов. Предложены мероприятия по улучшению качества перевозки пассажиров с учётом интервалов безопасности на остановках автобусов и оптимизации маршрутов городского общественного транспорта, частных автобусов и маршрутных такси.

Ключевые слова: городской общественный транспорт, автобус, остановочный пункт, интервал безопасности, маршрутная сеть, оптимизация маршрутов.

Неконтролируемое внедрение частных перевозчиков привело к стремительному увеличению количества автобусов и в результате к перегрузке улично-дорожной сети. Отсутствие в правилах дорожного движения требований остановки общественного транспорта на остановочном пункте только в крайнем правом ряду привело к тому, что автобусы стали останавливаться без учёта интервала безопасности, в два ряда и на проезжей части дороги, тем самым не обеспечивая должные условия перевозки пассажиров.

С устоявшейся транспортной инфраструктурой городов сложилось так, что остановочные пункты были спроектированы для случаев применения на маршрутах автобусов большой и средней вместимости, и поэтому их пропускная способность обеспечивалась с учётом безопасной остановки транспорта согласно требований нормативных документов [1]. Длина остановочных пунктов предусматривала безопасную остановку общественного транспорта в одном правом ряду с учётом интервала безопасности, определённого нормами [3].



Рис. 1. Остановочный пункт «пл. Свердлова».

1.

На городских маршрутах в городе Волжском работают 107 автобусов большой и средней вместимости муниципальной пассажирской автоколонны и 512 автобусов малой вместимости. В связи с их растущим входящим потоком на остановочных пунктах возникла проблема с обеспечением безопасной перевозки пассажиров.

Длина остановочного пункта должна соответствовать интенсивности входящего потока автобусов, чтобы не было заторов, ожидания и остановки пассажирских машин в два ряда.

Планировка города прямоугольная и вытянутая вдоль реки Ахтубы, и потому маршруты в основном сосредоточены на продольных улицах Мира, Дружбы, Карбышева, проспекте Ленина (рис. 2).



Рис. 2. План города Волжского.



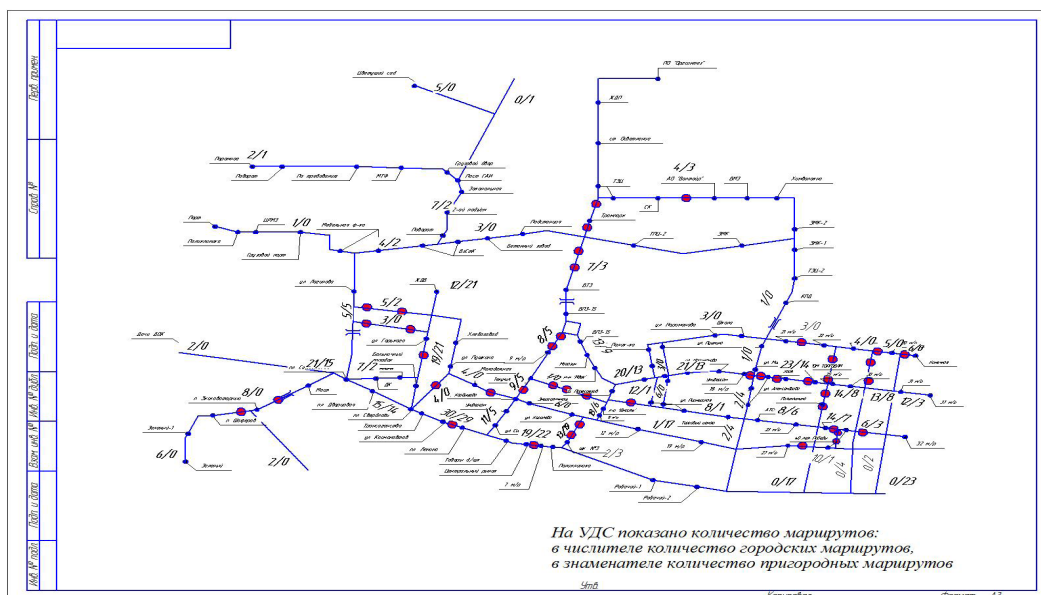


Рис. 3. Количество маршрутов на улицах города Волжского (в числителе городские маршруты, в знаменателе – пригородные).

Система общественного транспорта Волжского состоит из автобусного и трамвайного секторов.

Все автобусные маршруты расположены в зоне, которая ограничивается со стороны Волгограда улицами Логинова, Набережной, Кирова, Свердлова, Карбышева, Энгельса, Пушкина, Волжской Военной Флотилии, 87-й Гвардейской дивизии, проспектом Ленина. В сумме насчитывается 55 маршрутов городского направления и 47 пригородного. Протяжённость улично-дорожной сети 97,114 км, длина маршрутов – 885,581 км.

Наиболее загруженными общественным транспортом являются улицы Мира и Коммунистическая, бульвар Профсоюзов, проспект Ленина, по которым проходит от 1100 до 3500 автобусов в день. В основном все городские муниципальные маршруты дублируются маршрутами частных перевозчиков. Кроме того, все пригородные маршруты, выходящие с городского автовокзала, площади Ленина, 18-го и 32-го микрорайонов, также проходят по центру города – проспекту Ленина и улице Мира.

Схема маршрутов с нанесением количества маршрутов на улицах города представлена на рис. 3.

Наибольшее количество автобусов за день проходит по улице Мира от улицы Оломоуцкой до площади Труда и проспек-

ту Ленина от улицы Молодогвардейцев до площади Строителей (2000–3000 автобусов в день), по улице Коммунистической (1100–2000 автобусов в день), поэтому практически все остановочные пункты на них не имеют достаточной длины для размещения одновременно прибывших автобусов. Менее загруженными (1100–2000 автобусов в день) являются улицы Химиков, Энгельса, участок улицы Дружбы от ул. 40 лет Победы до Оломоуцкой, участок улицы Мира до ул. Оломоуцкой, улица Карбышева от бульвара Профсоюзов до площади Карбышева.

Поток автобусов в час-пик на остановочных пунктах в прямом и обратном направлениях составляет: проспект Ленина – 226 и 294, улица Мира – 281 и 280, бульвар Профсоюзов – 240 и 240, улица Дружбы – 183 и 141, улица Карбышева – 129 и 120, улица Оломоуцкая – 139 и 139, улица Энгельса – 150 и 150.

2.

В сложившейся ситуации видится два варианта решения проблемы. Первый – увеличение длин остановочных пунктов для существующего потока автобусов; второй – уменьшение входящего потока автобусов на остановочных пунктах.

Основным фактором определения длины остановочных пунктов является без-

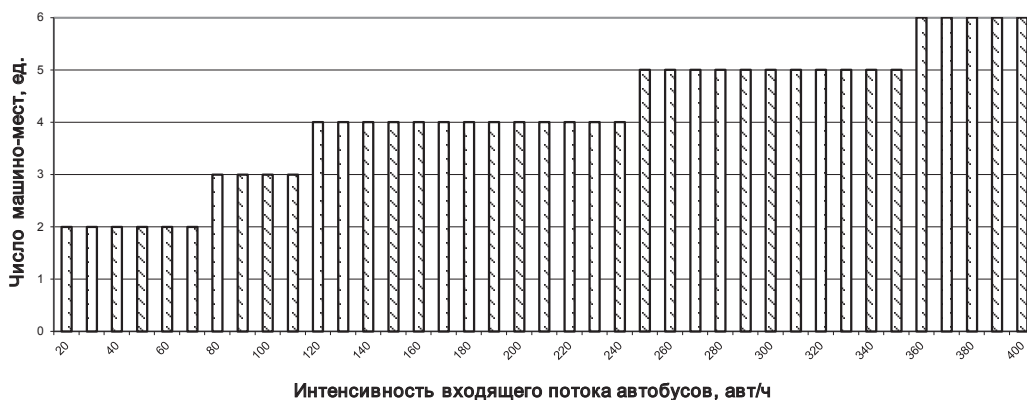


Рис. 4. Номограмма для определения числа машино-мест на остановочных пунктах в зависимости от интенсивности смешанного входящего потока автобусов.

опасное размещение автобусов на остановках и обязательным условием — соблюдение расстояния безопасности между стоящими транспортными средствами (по ВСН 23–75 оно принимается равным 3 м) [1].

Руководствуясь этими требованиями и положениями теории массового обслуживания, были разработаны [11] и использованы номограммы для определения соответствия длины остановочных пунктов входящему потоку автобусов для смешанного потока и потока автобусов «ГАЗель». Требуемая длина уточнена по результатам, полученным для смешанного потока автобусов. Номограмма, касающаяся числа машино-мест на остановочных пунктах в зависимости от интенсивности смешанного входящего потока автобусов, представлена на рис. 4.

Для оценки обеспечения безопасной остановки автобусов на остановочных пунктах Волжского до и после оптимизации маршрутной сети проведена их инвентаризация на основании паспортов маршрутов, в которые включены названия пунктов и расстояние между ними. Составлен реестр остановочных пунктов, в него включены следующие данные: улица, название остановочного пункта, длина остановочного пункта, максимальный входящий поток автобусов, требуемая длина остановочного пункта.

Определено соответствие длины остановочных пунктов входящему потоку автобусов на основании обследования загрузки остановочных пунктов в направлении с новой части города и проведён

подсчёт количества автобусов, производящих остановку в час-пик, в период с 7 до 8 часов.

В таблице 1 представлены показатели остановочных пунктов по результатам обследования их загрузки: длина и входящий поток автобусов. По номограмме (рис. 4) определены требуемые длины остановочных пунктов.

Из 54-х обследованных 22 остановочных пункта при существующей организации перевозок пассажиров не обеспечивают одновременную безопасную остановку автобусов. Поэтому в городе встал вопрос о мероприятиях по обеспечению безопасного пребывания людей и автобусов на остановочных пунктах.

3.

На основании документа планирования (по ФЗ № 220 от 13.07.2015 г.) в Волжском проведена оптимизация маршрутной сети, заключающаяся в отмене маршрутов, дублирующих социальные маршруты автоколонны № 1732, и в приведении количества автобусов на маршрутах в соответствие с пассажиропотоками. В результате оптимизации количество маршрутов частных перевозчиков уменьшается с 25 до 14, а количество автобусов особо малой вместимости сокращается на 193 единицы (было 512 на 1 января 2016 года).

Проведён расчёт количества автобусов, которые будут проходить через остановочные пункты в результате оптимизации маршрутной сети на основании [10] и уменьшения количества маршрутных



Показатели остановочных пунктов при максимальной загрузке в час-пик с 7 до 8 часов

№ п/п	Название остановочного пункта	Показатели остановочного пункта				
		Входящий поток автобусов, ед./час				
		В настоящее время		После оптимизации		
		Длина, м	гор./приг.	требуемая длина, м	гор./приг.	требуемая длина, м
Улица Пушкина с 37 микрорайона						
1	37 микрорайон	40	93	40–60	31/–	20–40
2	30–37 микрорайоны	28	81	40–60	19/–	20–40
3	24–30 микрорайоны	27	60	40–60	19/–	20–40
4	Школа	27	37	40–60	19/–	20–40
5	Ул. Нариманова	30	37	40–60	19/–	20–40
Улица Дружбы с 32 микрорайона						
1	32 микрорайон	64	54/5	40–60	20/5	20–40
2	Ул. 40 лет Победы	42	55/14	40–60	20/14	20–40
3	26 микрорайон	58	185/24	60–80	85/24	40–60
4	23 микрорайон	11	44/–	20–40	36/–	20–40
5	АТС-9	30	44/–	20–40	36/–	20–40
6	Пионерская, ТЦ	40	44/–	20–40	36/–	20–40
7	Пионерская–Мира	>80	80/–	40–60	36/–	20–40
Улица Оломоуцкая						
1	Аптека «Витафарм»	21,7	144/30	50–70	114/30	50–70
2	Текила	80	144/30	50–70	114/30	50–70
Улица Мира с 37 микрорайона						
1	37 микрорайон	80	77/20	40–60	21/20	20–40
2	ТЦ	48	94/48	50–70	24/48	40–60
3	ХСС	82	118/49	50–70	46/49	40–60
4	24 микрорайон	52	118/49	50–70	46/49	40–60
5	Дом Торговли	86	263/71	60–80	78/71	50–70
6	Александрова	45	263/71	60–80	78/71	50–70
7	Универсам	гор. 30/30 приг.	234/74	60–80	62/74	50–70
8	Нариманова	30	234/75	60–80	62/75	50–70
9	Мира–Искра	37	254/74	60–80	56/74	50–70
10	Мира (Пионерская)	37	232/62	60–80	75/62	50–70
11	Стимул	75	232/62	60–80	75/62	50–70
Улица Химиков						
1	Идея	52	104/50	50–70	18/50	40–60
2	10 микрорайон	64	89/50	50–70	3/50	40–60
3	10 микрорайон-2	30	15/–	30–40	15/–	30–40
4	ВПЗ	56	93/50	50–70	7/50	40–60
Улица Энгельса						
5	8 микрорайон	40	99/21	40–60	12/21	20–40
6	Пл. Карбышева	46	121/21	50–70	13/21	20–40
7	Ул. Советская	37	121/21	50–70	13/21	20–40
Бульвар Профсоюзов						

1	К-н Юность	60	190/16	50–70	51/16	40–60
2	12 микрорайон	47	190/16	50–70	51/16	40–60
Улица Карбышева						
1	Королева	25,6	64/-	30–40	32/–	20–60
2	Энерготехмаш	17	64/-	30–40	32/–	20–60
3	Пл. Карбышева	45,8	49/-	30–40	17/–	20–40
4	Молодёжная	80	49/-	30–40	18/–	20–40
5	Пушкина	80	33/-	30–40	18/–	20–40
Улица Александрова						
1	Волгамолл	80	33/44	40–60	20/44	30–40
2	Лента	30	33/44	40–60	20/44	30–40
Проспект Ленина						
1	Ман (пос. Рабочий)	80	33/33	30–40	20/33	30–40
2	Поликлиника	27	164/67	50–70	54/67	40–60
3	Улица Королёва	44	164/67	50–70	54/67	40–60
4	Центральный рынок	61	164/67	50–70	54/67	40–60
5	Центральный парк	53	171/69	60–70	60/69	50–70
6	Товары для школьников	53	171/69	60–70	60/69	50–70
7	Пл. Ленина	80	291/95	80–100	107/95	50–70
8	Ул. Космонавтов	35	291/95	80–100	107/95	50–70
9	Больничный городок	40	140/49	50–70	59/49	40–60
10	Пл. Свердлова	80	175/64	60–80	65/64	50–70
11	ДК ВГС	80	175/61	60–80	65/71	50–70
12	Пл. Строителей	48	201/71	60–80	84/71	50–70
Улица Коммунистическая						
1	Ул. Горького	34	140/49	50–70	63/11	30–40

такси. Определено соответствие длин остановочных пунктов для нового потока автобусов на основании номограммы (рис. 3). Входящий в результате оптимизации поток автобусов (ед./час) на остановочные пункты и соответствие длины безопасной остановки даны в таблице 1.

Так как в результате оптимизации маршрутной сети не на всех остановочных пунктах обеспечивается безопасная остановка автобусов, необходимы меры по улучшению качества обслуживания пассажиров.

В связи с большой интенсивностью потоков автобусов, подходящих к остановочным пунктам, возможны следующие варианты решения проблемы:

1. Увеличение длин остановочных пунктов.

2. Строительство новых остановочных пунктов для автобусов особо малой вместимости.

3. Приведение числа автобусов на маршрутах к оптимальному значению, соответствующему максимальному пассажиропотоку.

4. На остановочных пунктах с длиной, соответствующей интенсивности входящего потока автобусов, выделить отдельные машино-места для остановки автобусов большой и особо большой вместимости.

5. Перераспределение пригородных автобусов на ТПУ (транспортно-пересадочные узлы), расположенные на выездах из города.

Увеличение длины остановочных пунктов и строительство новых – прерогатива муниципальных органов, которым вменено заниматься организацией транспортного обслуживания Федеральным законом 131-ФЗ от 06.10.2003 г. «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации», п. 7 ст. 14 [9] и которые являются заказчиками перевозок.



**Результаты уменьшения количества автобусов
на остановочных пунктах в процессе оптимизации**

№ п/п	Остановочный пункт	Длина ОП, м	Входящий поток автобусов, ед./час		Требуемая длина ОП, м	Обеспечение безопасной остановки автобусов на ОП в результате оптимизации	Мероприятия
			В н. вр.	После оптим.			
			гор./приг.	гор./приг.			
Улица Дружбы							
1	26 микрорайон	58	185/24	85/24	40–60	Обеспечивается	–
Бульвар Профсоюзов							
2	К-н Юность	60	190/16	51/16	40–60	Обеспечивается	–
3	12 микрорайон	47	190/16	51/16	40–60	Обеспечивается	–
Улица Оломоуцкая							
4	Аптека «Витафарм»	21,7	144/30	114/30	50–70	Не обеспечивается	Увеличить длину ОП
Улица Мира с 37 микрорайона							
5	24 микрорайон	52	118/49	78/71	50–70	Обеспечивается	–
6	Александрова	45	263/71	78/71	50–70	Не обеспечивается	Перераспределение пригородных маршрутов на ТПУ. Увеличение длины ОП невозможно
7	Универсам	гор. 30/ 30 приг.	234/74	62/74	50–70	Не обеспечивается для суммарного потока	
8	Нариманова	30	234/75	62/75	50–70		
9	Мира–Искра	37	254/74	56/74	50–70		
10	Мира (Пионерская)	37	232/62	75/62	50–70		
Проспект Ленина							
11	Поликлиника	27	164/67	54/67	40–60	Не обеспечивается для суммарного потока	Выделение отдельной площадки для легковых автомобилей
12	Улица Королёва	44	164/67	54/67	40–60	Обеспечивается	–
13	Центральный рынок	61	164/67	54/67	40–60	Обеспечивается	–
14	Центральный парк	53	171/69	60/69	50–70	Обеспечивается	–
15	Товары д/школьников	53	171/69	60/69	50–70	Обеспечивается	–
16	Пл. Ленина	80	291/95	107/95	50–70	Обеспечивается	–
17	Ул. Космонавтов	35	291/95	107/95	50–70	Не обеспечивается для суммарного потока. Длину ОП нельзя увеличить	Перераспределение пригородных маршрутов на ТПУ
18	Больничный Городок	40	140/49	59/49	40–60	Обеспечивается	–
19	Площадь Свердлова	80	175/64	65/64	50–70	Обеспечивается	–
20	ДК ВГС	80	175/61	65/71	50–70	Обеспечивается	–
21	Пл. Строителей	48	201/71	84/71	50–70	Обеспечивается	–
Улица Горького							
22	Ул. Горького	34	140/49	63/11	30–40	Обеспечивается	–

В таблице 2 представлены загрузка 22 остановочных пунктов, в которых не обеспечивается безопасная остановка автобусов даже в результате закрытия 14 маршрутов частных перевозчиков, и мероприятия по оптимизации сети.

4.

В ходе проводимых мероприятий:

1. На улице Оломоуцкой не обеспечивается безопасная остановка автобусов на остановочном пункте (ОП) «Ап-

тека «Витафарм». Необходимо увеличить длину с 21,7 до 50–70 метров.

2. На улице Мира не налажена безопасная остановка автобусов на остановочных пунктах «Ул. Александрова», «Универсам», «Ул. Нариманова», «Ул. Мира. Магазин Искра», «Ул. Мира. Пионерская». Требуется перераспределение пригородных маршрутов на ТПУ в южном направлении.

3. На проспекте Ленина на ОП «Поликлиника» следует выделить специальные площадки для парковки легковых автомоби-

лей. Автобусы останавливаются во втором ряду. В случае перераспределения пригородных маршрутов на ТПУ решение проблемы обеспечивается.

4. На ОП «Ул. Космонавтов» длина 35 метров не обеспечивает безопасную остановку автобусов, нужна длина 50–70 метров. Длину ОП нельзя увеличить из-за недостаточности места. Перераспределение пригородных маршрутов на ТПУ не поможет.

5. На площади Строителей из-за отсутствия координации работы перевозчиков периодически возникают ситуации, когда автобусы останавливаются в два ряда. Необходимо координация расписания движения муниципальных и частных автобусов.

6. На улице 40 лет Победы остановочные пункты отсутствуют, поэтому требуется изменить трассы маршрутов, выходящих с 27 микрорайона до улицы 87-я Гвардейская с поворотом на улицу Дружбы. Пешеходная доступность остановочных пунктов для жителей, проживающих и работающих в зоне улицы 40 лет Победы, обеспечивается к остановкам, расположенным на улицах Карбышева, 87-я Гвардейская, Дружбы, и равна около 250–300 метров при нормативе 500 метров.

В результате на десяти остановочных пунктах улиц Мира, Оломоуцкой, проспекте Ленина даже после уменьшения количества автобусов не обеспечивается безопасная остановка автобусов (таблица 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными недостатками организации перевозок пассажиров общественным транспортом следует считать:

1. Отсутствие координации выхода автобусов от начального остановочного пункта муниципальных и частных автобусов, что может приводить к одновременному подходу к остановкам нескольких автобусов.

2. Проезд пригородных маршрутов через весь город, что даёт дополнительную нагрузку на улично-дорожную сеть.

Имеются предложения по улучшению сложившейся ситуации:

1. Обеспечить скоординированный выход автобусов с начальных остановочных пунктов.

2. В случае невозможности обеспечения безопасной остановки автобусов организовывать новые остановочные пункты.

3. Запланировать строительство транспортно-пересадочных узлов на выездах из города для пригородных маршрутов, тем самым исключить проезд пригородных маршруток по территории города.

4. Продолжать оптимизацию маршрутной сети, упорядочить использование маршрутных такси, исключить дублирование маршрутов городского общественного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 23–75 «Указания по разметке автомобильных дорог».

2. ГОСТ 25869–90. Отличительные знаки и информационное обеспечение подвижного состава пассажирского наземного транспорта, остановочных пунктов и пассажирских станций. Общие технические требования.

3. СНиП 2.05.02–85 «Автомобильные дороги» (утв. постановлением Госстроя СССР от 17.12.1985 г. № 223, в ред. от 30.06.2003 г.).

4. СП 42.13330.2011. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. (Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*.– утв. приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 г. № 820).

5. Приказ Минтранса России от 15.01.2014 г. № 7 «Об утверждении Правил обеспечения безопасности перевозок пассажиров и грузов автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом».

6. Постановление правительства РФ от 23.10.1993 г. № 1090 «О Правилах дорожного движения» (ред. от 21.01.2016 г.).

7. Правила перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом. Постановление правительства РФ от 14.02.2009 г. № 112 (в ред. от 07.09.2011 г. № 757, от 14.05.2013 г. № 411, от 26.11.2013 г. № 1073, от 09.06.2014 г. № 528).

8. Устав автомобильного транспорта. Ф3 № 259 от 08.11.2007 г., в ред. 03.02.2014 г.

9. Федеральный закон № 131 от 06.10.2003 г. «Об общих принципах организации местного самоуправления в РФ» (с изм. 30 марта 2015 года).

10. Федеральный закон № 220 от 13.07.2015 г. «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в РФ и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».

11. Чернова Г. А. Организация безопасной перевозки пассажиров с учётом эксплуатационной и экологической составляющих / Дис... канд. техн. наук.– Волгоград, 2005.– 197 с.

12. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council. (Методика исследования транспортных потоков.) Washington, D.C., USA, 2000. 1134 p.

Координаты авторов: **Чернова Г. А.** – vat@volpi.ru, **Великанова М. В.** – marina_2010@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 17.05.2017, принята к публикации 24.08.2017.



«SAFETY INTERVALS» AT THE BUS STOPS OF THE CITY OF VOLZHISKY

Chernova, Galina A., Volzhsky Polytechnic Institute – branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia.

Velikanova, Marina V., Volzhsky Polytechnic Institute – branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia.

ABSTRACT

Analysis of the street-road network in the city of Volzhsky, a tense security situation with embarkation and disembarkation of public transport passengers is provided. The discrepancy between the lengths of

stopping points and the incoming traffic of buses is determined. Proposals are made to improve the quality of passenger transportation, taking into account safety intervals at bus stops and optimizing the routes of urban public transport, private buses and fixed-route taxis.

Keywords: urban public transport, bus, stopping point, safety interval, route network, route optimization.

Background. The uncontrolled introduction of private carriers led to a rapid increase in the number of buses and, as a result, to overloading the street-road network. The absence in the traffic rules of the requirements for stop of public transport at the stopping point only in the extreme right lane led to the fact that the buses began to stop without taking into account the safety interval, in two lanes and on the carriageway, thus not providing the proper conditions for carriage of passengers.

With the established transport infrastructure of cities, it was established that the stopping points were designed for the use of large and medium capacity buses on routes, and therefore their throughput was ensured taking into account a safe stop of transport in accordance with the requirements of normative documents [1]. The length of stopping points provided for a safe stop of public transport in one right-hand lane, taking into account the safety interval defined by the standards [3].

Objective. The objective of the authors is to consider «safety intervals» at the bus stops of the city of Volzhsky.

Methods. The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach.

Results.

1.

On the city routes in the city of Volzhsky there are 107 large and medium buses of the municipal passenger motorcade and 512 small buses. Due to their growing incoming traffic at the stops, there was a problem with ensuring safe transportation of passengers.

The length of a stopping point should correspond to intensity of the incoming traffic of buses, so that



Pic. 1. The stopping point «pl. Sverdlova».

there are no congestion, waiting and stop of passenger cars in two lanes.

The layout of the city is rectangular, and stretched along the Akhtuba river, and therefore routes are mostly focused on longitudinal streets Mira, Druzhby, Karbysheva, prospect Lenina (Pic. 2).

The public transport system of Volzhsky consists of bus and tram sectors.

All bus lines are located in an area which is limited from the side of Volgograd by the streets Loginova, Naberezhnaya, Kirova, Sverdlova, Karbysheva, Engelsa, Pushkina, Volzhsky Voennoi Flotilii, 87 Gvardeiskoi Divizii, prospect Lenina. In total, there are 55 city routes and 47 suburban destinations. The length of the street-road network is 97,114 km, the length of the routes is 885,581 km.

The most loaded with public transport are the streets Mira and Kommunisticheskaya, Boulevard Profsoyuzov, prospect Lenina, along which from 1100 to 3500 buses a day run. Basically all city municipal routes are duplicated by routes of private carriers. In addition, all suburban routes that depart from the city bus station, Lenin Square, the 18th and 32nd microdistricts, also pass through the city center – prospect Lenina and Mira street.

The route scheme with the number of routes on the streets of the city is shown in Pic. 3.

The largest number of buses a day passes along Mira street from Olomutsky street to Truda square and prospect Lenina from Molodogvardeitsev street to Stroitelei square (2000–3000 buses per day), along Kommunisticheskaya street (1100–2000 buses a day), so almost all the stops do not have enough length to accommodate concurrently arrived buses. Less loaded (1100–2000 buses per day) are the streets Khimikov, Engelsa, a section of the Druzhby street from 40 let Pobedy street to Olomutskaya street, section of Mira street to Olomutsky street, Karbysheva street from the Profsoyuzov Boulevard to Karbysheva square.

The flow of buses at rush hour at the stopping points in the forward and reverse directions is: prospect Lenina – 226 and 294, Mira street – 281 and 280, Profsoyuzov Boulevard – 240 and 240, Druzhby street – 183 and 141, Karbysheva street – 129 and 120, Olomutskaya street – 139 and 139, Engelsa street – 150 and 150.

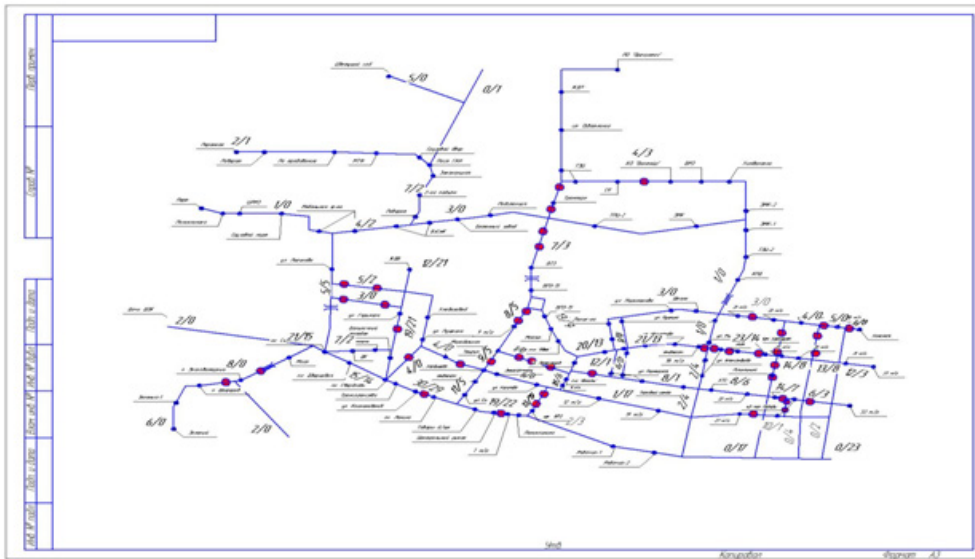
2.

In this situation, there are two ways to solve the problem. The first is to increase the length of the stopping points for the existing flow of buses; the second is to reduce the incoming traffic of buses at the stopping points.

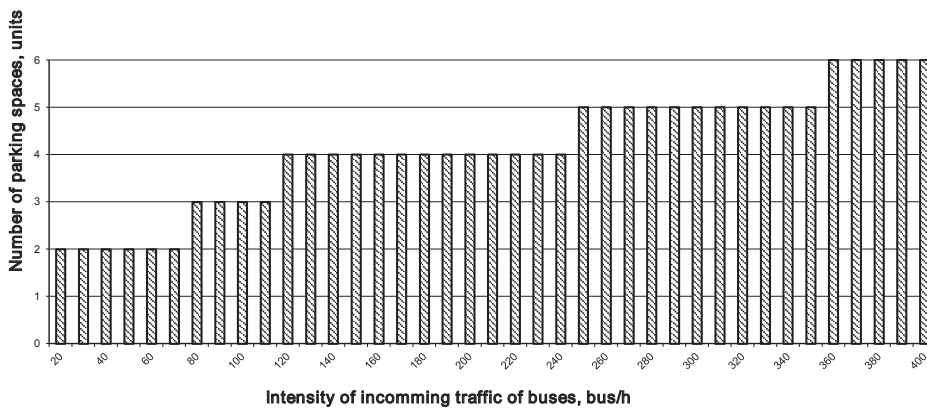
The main factor in determining the length of stopping points is the safe placement of buses at



Pic. 2. Plan of the city of Volzhsky.



Pic. 3. Number of routes on the streets of the city of Volzhsky (in the numerator – city routes, in the denominator – suburban routes).



Pic. 4. Nomogram for determining the number of parking spaces at the stopping points, depending on the intensity of the mixed incoming traffic of buses.

Indicators of stopping points at maximum load in the hour-peak from 7 to 8 hours

No.	Name of the stopping point	Indicators of the stopping point				
		Length, m	Incoming traffic of buses, units/h			
			At present		After optimization	
			required length, m	required length, m	urb/suburb	required length, m
Pushkina street from 37 microdistrict						
1	37 microdistrict	40	93	40–60	31/–	20–40
2	30–37 microdistricts	28	81	40–60	19/–	20–40
3	24–30 microdistricts	27	60	40–60	19/–	20–40
4	School	27	37	40–60	19/–	20–40
5	Narimanova street	30	37	40–60	19/–	20–40
Pushkina street from 32 microdistrict						
1	32 microdistrict	64	54/5	40–60	20/5	20–40
2	40 let Pobedy street	42	55/14	40–60	20/14	20–40
3	26 microdistrict	58	185/24	60–80	85/24	40–60
4	23 microdistrict	11	44/–	20–40	36/–	20–40
5	ATS-9	30	44/–	20–40	36/–	20–40
6	Pionerskaya, TC	40	44/–	20–40	36/–	20–40
7	Pionerskaya–Mira	>80	80/–	40–60	36/–	20–40
Olomutskaya						
1	Pharmacy «Vitapharm»	21,7	144/30	50–70	114/30	50–70
2	Tekila	80	144/30	50–70	114/30	50–70
Mira street from 37 microdistrict						
1	37 microdistrict	80	77/20	40–60	21/20	20–40
2	TC	48	94/48	50–70	24/48	40–60
3	HSS	82	118/49	50–70	46/49	40–60
4	24 microdistrict	52	118/49	50–70	46/49	40–60
5	Dom Torgovli	86	263/71	60–80	78/71	50–70
6	Aleksandrova	45	263/71	60–80	78/71	50–70
7	Universam	urb30/30 subur	234/74	60–80	62/74	50–70
8	Narimanova	30	234/75	60–80	62/75	50–70
9	Mira–Iskra	37	254/74	60–80	56/74	50–70
10	Mira (Pionerskaya)	37	232/62	60–80	75/62	50–70
11	Stimul	75	232/62	60–80	75/62	50–70

stops and an obligatory condition – the safety distance between standing vehicles (according to VSN23–75 it is taken to be 3 m) [1].

In accordance with these requirements and application of the queuing theory, the nomograms were developed [11] and used to determine the correspondence of the length of the stop points to the incoming flow of buses for the mixed flow and the flow of buses «GAZelle». The required length is refined based on the results obtained for the mixed bus flow. A nomogram concerning the number of parking spaces at stop points, depending on the intensity of the mixed incoming traffic of buses, is shown in Pic. 4.

To assess the provision of a safe bus stop at the Volzhsky stop points before and after the optimization of the route network, an inventory was made based on the route passports, which include the names of the points and the distance between them. The register of stopping points is made up, the following data are included: street, name of the stopping point, length of the stopping point, maximum incoming traffic of buses, required length of the stopping point.

The correspondence of the length of the stopping points to the incoming traffic of buses was determined

on the basis of a survey of the loading of the stopping points in the direction from the new part of the city and the number of buses stopping in the hour-peak was counted from 7 to 8 hours.

Table 1 shows the indicators of stopping points based on the results of a survey of their load: length and incoming traffic of buses. According to the nomogram (Pic. 4), the required length of the stopping points is determined.

Of the 54 surveyed 22 stopping points with the existing organization of transportation, passengers do not provide a simultaneous safe stop of buses. Therefore, the city was faced with the issue of measures to ensure the safe stay of people and buses at stops.

3.

Based on the planning document (in accordance with Federal Law No. 220 dated July 13, 2015) in Volzhsky, optimization of the route network was carried out, consisting in the abolition of routes duplicating the social routes of convoy No. 1732, and in bringing the number of buses on the routes in line with passenger traffic. As a result of optimization, the number of routes for private carriers decreases from 25 to 14, and the number of especially small capacity

Khimikov street						
1	Idea	52	104/50	50–70	18/50	40–60
2	10 microdistrict	64	89/50	50–70	3/50	40–60
3	10 microdistrict-2	30	15/–	30–40	15/–	30–40
4	VPZ	56	93/50	50–70	7/50	40–60
Engelsa street						
1	8 microdistrict	40	99/21	40–60	12/21	20–40
2	Pl. Karbysheva	46	121/21	50–70	13/21	20–40
3	Sovetskaya street	37	121/21	50–70	13/21	20–40
Boulevard Profsoyuzov						
1	K-n Yunost'	60	190/16	50–70	51/16	40–60
2	12 microdistrict	47	190/16	50–70	51/16	40–60
Karbysheva street						
1	Koroleva	25,6	64/–	30–40	32/–	20–60
2	Energotekhmash	17	64/–	30–40	32/–	20–60
3	Pl. Karbysheva	45,8	49/–	30–40	17/–	20–40
4	Molodezhnaya	80	49/–	30–40	18/–	20–40
5	Pushkina	80	33/–	30–40	18/–	20–40
Aleksandrova street						
1	Volgamoll	80	33/44	40–60	20/44	30–40
2	Lenta	30	33/44	40–60	20/44	30–40
Prospect Lenina						
1	Man (pos. Rabochiy)	80	33/33	30–40	20/33	30–40
2	Policlinic	27	164/67	50–70	54/67	40–60
3	Koroleva street	44	164/67	50–70	54/67	40–60
4	Central market	61	164/67	50–70	54/67	40–60
5	Central park	53	171/69	60–70	60/69	50–70
6	Tovary dlya shkolknikov	53	171/69	60–70	60/69	50–70
7	Pl. Lenina	80	291/95	80–100	107/95	50–70
8	Kosmonavtov street	35	291/95	80–100	107/95	50–70
9	Bolnichniy gorodok	40	140/49	50–70	59/49	40–60
10	Pl. Sverdlova	80	175/64	60–80	65/64	50–70
11	DK VGS	80	175/61	60–80	65/71	50–70
12	Pl. Stroitelei	48	201/71	60–80	84/71	50–70
Kommunisticheskaya street						
1	Gorkogo street	34	140/49	50–70	63/11	30–40

buses is reduced by 193 units (there were 512 as of January 1, 2016).

The calculation of the number of buses that will pass through the stopping points as a result of optimization of the route network on the basis of [10] and a reduction in the number of fixed-route taxis has been carried out. The correspondence of the lengths of the stopping points for the new bus flow is determined on the basis of the nomogram (Pic. 3). The resulting flow of buses (units per hour) to the stopping points and the corresponding length of the safe stop are given in Table 1.

Since the optimization of the route network does not ensure safe stopping of buses at all stopping points, measures are needed to improve the quality of passenger service.

In connection with the high intensity of the bus flows approaching the stopping points, the following solutions are possible:

1. To increase the length of the stopping points.
2. To construct new stopping points for buses of especially small capacity.
3. To bring the number of buses on the routes to the optimal value corresponding to the maximum passenger traffic.

4. At stopping points with a length corresponding to the intensity of the incoming traffic of buses, to allocate individual parking spaces for buses of large and extra-large capacity.

5. To redistribute suburban buses to TIH (transport-interchange hubs) located on the outskirts of the city

The increase in the length of stopping points and the construction of new ones is the prerogative of municipal bodies, which are charged with organizing the transport service by Federal Law 131-FZ dated October, 6 2003 «On general principles of the organization of local bodies in the Russian Federation», paragraph 7, Article 14 [9] and which are customers of transportation.

Table 2 shows the loading of 22 stops, which do not provide a safe bus stop, even as a result of the closure of 14 routes of private carriers, and network optimization measures.

4.

During the events held:

1. On Olomutskaya street a safe bus stop at the stopping point (SP) »Pharmacy «Vitapharm» is not provided. It is necessary to increase the length from 21,7 to 50–70 meters.



The results of decreasing the number of buses at stopping points during the optimization process

No.	Stopping point	Length of SP, m	Incoming traffic of buses, units/h		Required length of SP, m	Provision of a safe stop of buses at SP as a result of optimization	Measures
			At present	After optimization			
			urb/subur	urb/subur			
Druzhby street							
1	26 microdistrict	58	185/24	85/24	40–60	Is provided	–
Boulevard Profsoyuzov							
2	K-n Yunost	60	190/16	51/16	40–60	Is provided	–
3	12 microdistrict	47	190/16	51/16	40–60	Is provided	–
Olomutskaya street							
4	Pharmacy «Vitapharm»	21,7	144/30	114/30	50–70	Is not provided	To increase the length of SP
Mira street from 37 microdistrict							
5	24 microdistrict	52	118/49	78/71	50–70	Is provided	–
6	Aleksandrova	45	263/71	78/71	50–70	Is not provided	Redistribution of suburban routes to TIH. It is impossible to increase the length of SP.
7	Universam	Urb30/30subur	234/74	62/74	50–70	Is not provided for total traffic.	
8	Narimanova	30	234/75	62/75	50–70		
9	Mira–Iskra	37	254/74	56/74	50–70		
10	Mira (Pionerskaya)	37	232/62	75/62	50–70		
Prospect Lenina							
11	Policlinic	27	164/67	54/67	40–60	Is not provided for total traffic.	Allocation of a separate space for private cars.
Redistribution of suburban route to TIH.							
12	Koroleva street	44	164/67	54/67	40–60	Is provided	–
13	Central market	61	164/67	54/67	40–60	Is provided	–
14	Central park	53	171/69	60/69	50–70	Is provided	–
15	Tovary dlya shkolknikov	53	171/69	60/69	50–70	Is provided	–
16	Lenina square	80	291/95	107/95	50–70	Is provided	–
17	Kosmonavtov street	35	291/95	107/95	50–70	Is not provided for total traffic. It is impossible to increase the length of SP	Redistribution of suburban routes to TIH.
18	Bolnichniy gorodok	40	140/49	59/49	40–60	Is provided	–
19	Sverdlova square	80	175/64	65/64	50–70	Is provided	–
20	DK VGS	80	175/61	65/71	50–70	Is provided	–
21	Pl. Stroitelei	48	201/71	84/71	50–70	Is provided	–
Gorkogo street							
22	Gorkogo street	34	140/49	63/11	30–40	Is provided	–

2. On Mira street there is no safe stop of buses at the stopping points «Aleksandrova street», «Universam», «Narimanova street», «Mira street. Iskra shop», «Mira street. Pionerskaya». Redistribution of suburban routes to TIH in the south direction is required.

3. On prospect Lenina at the SP Polyclinic, special parking areas for cars should be allocated. Buses stop in the second lane. In case of redistribution of suburban routes to TIH, the solution of the problem is ensured.

4. At the ST «Kosmonavtov street» the length of 35 meters does not provide a safe bus stop, a length

of 50–70 meters is required. The length of the SP cannot be increased due to insufficient space. Redistribution of suburban routes to TIH will not help.

5. On Stroitelei square, due to the lack of coordination of the work of carriers, there are occasional situations when buses stop in two lanes. It is necessary to coordinate the timetable for movement of municipal and private buses.

6. There are no stopping points on 40 let Pobedy street, therefore it is required to change the routes of the routes leaving from the 27 microdistrict to 87 Gvardeiskaya street with a turn to Druzhby street. Pedestrian accessibility of stopping points for residents living and working in the area of 40 let Pobedy street is provided to the stops located on the streets of Karbysheva, 87 Gvardeiskaya, and is about 250–300 meters at a standard of 500 meters.

As a result, at ten stops in the streets Mira, Olomutskaya, prospect Lenina, even after reducing the number of buses, a safe bus stop is not ensured (Table 2).

Conclusion. The main disadvantages of organizing passenger transportation by public transport are:

1. The lack of co-ordination of the bus exit from the initial stopping point of municipal and private buses, which can lead to a simultaneous approach of several buses to stopping points.

2. The passage of suburban routes through the city, which gives an additional load of the street-road network.

There are proposals to improve the situation:

1. To ensure a coordinated exit of buses from the initial stopping points.

2. If it is not possible to ensure a safe bus stop, to organize new stopping points.

3. To plan the construction of transport-interchange hubs on the outskirts of the city for suburban routes, thereby excluding the passage of suburban buses through the city.

4. To continue the optimization of the route network, to streamline the use of fixed-route taxis, to exclude the dubbing of urban public transport routes by them.

REFERENCES

1. VSN23–75 «Instructions for marking of highways». [VSN23–75 «Ukazaniya po razmetke avtomobil'nyh dorog»].

2. GOST 25869–90. Distinctive signs and information support for rolling stock of passenger ground transport, stopping points and passenger stations. General technical requirements [GOST 25869–90. *Otlichitel'nye znaki i informacionnoe obespechenie podvizhnogo sostava passazhirskogo nazemnogo transporta, ostanovochnyykh punktov i passazhirskih stancij. Obshhie tehnikeskie trebovaniya*].

3. SNIp 2.05.02–85 «Roads» (approved by the decision of the USSR Gosstroy dated 17.12.1985 No. 223, as amended on 30.06.2003) [SNIp 2.05.02–85 «Avtomobil'nye dorogi» (utv. postanovleniem Gosstroja SSSR ot 17.12.1985 № 223, v red. ot 30.06.2003 g.)].

4. SP 42.13330.2011. Set of rules. Town planning. Planning and development of urban and rural settlements. (Updated version of SNIp 2.07.01–89* – approved by the order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation dated 28.12.2010 No. 820) [SP 42.13330.2011. *Svod pravil. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojka gorodskih i sel'skih poselenij. (Aktualizirovannaja redakcija SNIp 2.07.01–89* – utv. prikazom Minregiona RF ot 28.12.2010 № 820)*].

5. Order of the Ministry of Transport of Russia dated 15.01.2014 No. 7 «On Approval of the Rules for Ensuring the Safety of Transportation of Passengers and Goods by Road Transport and City Ground Electric Transport» [Prikaz Mintransa Rossii ot 15.01.2014 № 7 «Ob utverzhdenii Pravil obespechenija bezopasnosti perevozok passazhirov i gruzov avtomobil'nyim transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom»].

6. Decree of the Government of the Russian Federation dated 23.10.1993 No. 1090 «On Traffic Rules» (as amended on January 21, 2016) [Postanovlenie pravitel'stva RF ot 23.10.1993 № 1090 «O Pravidlah dorozhnogo dvizhenija» (red. ot 21.01.2016 g.)].

7. Rules for transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport. Decree of the Government of the Russian Federation No. 112 dated 14.02.2009 (as amended on 07.09.2011 No. 757, on 14.05.2013, No. 411, No. 1073 on 26.11.2013, No. 528 on 09.06.2014) [Pravila perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nyim transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom. *Postanovlenie pravitel'stva RF № 112 ot 14.02.2009 g. (v red. ot 07.09.2011 № 757, ot 14.05.2013 № 411, ot 26.11.2013 № 1073, ot 09.06.2014 № 528)*].

8. Charter of road transport. FZ No. 259 dated 08.11.2007, as amended on 03.02.2014 [Ustav avtomobil'nogo transporta. FZ № 259 ot 08.11.2007 g., v red. 03.02.2014 g.].

9. Federal Law No. 131 dated 06.10.2003 «On general principles of organization of local bodies in the Russian Federation» (amended on March 30, 2015) [Federal'nyj zakon № 131 ot 06.10.2003 g. «Ob obshhikh principah organizacii mestnogo samoupravlenija v RF» (s izm. 30 marta 2015 goda)].

10. Federal Law No. 220 of 13.07.2015 «On organization of regular transportation of passengers and baggage by road and urban land electric transport in the Russian Federation and on introduction of amendments to certain legislative acts of the Russian Federation» [Federal'nyj zakon № 220 ot 13.07.2015 g. «Ob organizacii reguljarnykh perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nyim transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom v RF i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty RF»].

11. Chernova, G. A. Organization of safe transportation of passengers, taking into account the operational and environmental components. Ph.D. (Eng) thesis. [Organizacija bezopasnoj perevozki passazhirov s uchjotom ekspluatacionnoj i ekologicheskoj sostavljajushhij. Dis... kand. tehn. nauk]. Volgograd, 2005, 197 p.

12. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council (A technique for studying transport flows). Washington, D.C., USA, 2000, 1134 p.

Information about the authors:

Chernova, Galina A. – Ph.D. (Eng), associate professor of the department of Road transport of Volzhsky Polytechnic Institute – branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, vat@volpi.ru.

Velikanova, Marina V. – senior lecturer of the department of Road transport of Volzhsky Polytechnic Institute – branch of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia, marina_2010@mail.ru.

Article received 17.05.2017, accepted 24.08.2017.





Критерии экологической безопасности железнодорожных перевозок



Елена ОВАНЕСОВА

Elena A. OVANESOVA

Criteria of Environmental Safety of Railway Transportation

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 202)

В данном случае железнодорожный транспортный комплекс представлен как элемент в структуре концепции перехода экономики страны к устойчивому развитию. При этом поднят вопрос о формировании объективных критериев экологической безопасности грузовых и пассажирских перевозок. Сформированы экологические аспекты эксплуатации железнодорожного транспорта и предложены критериальные основы безопасности причастных к дорогам инфраструктуры и подвижного состава, сопутствующей перевозкам среды.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, перевозки, устойчивое развитие, экологические аспекты, критерии экологической безопасности.

Ованесова Елена Алексеевна – ассистент кафедры техносферной безопасности Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Среди учёных нет единого мнения, являются ли инвестиции в развитие транспортной сети основой экономического роста, приводит ли экономическое развитие к увеличению числа и объёма перевозок. Однако очевидно, что рост экономики и транспортной нагрузки – процессы взаимосвязанные и, как отмечено в транспортной стратегии Российской Федерации, «по мере дальнейшего развития страны, расширения её внутренних и внешних транспортно-экономических связей, роста объёмов производства и повышения уровня жизни населения значение транспорта и его роль как системообразующего фактора будут только возрастать» [1].

Развитая транспортная сеть, обладающая достаточной пропускной способностью и высоким уровнем качества перевозочного процесса, – неотъемлемый элемент экономического, социально-политического и культурного прогресса любого государства.

Нынешнее его положение делает транспорт одним из ключевых звеньев в переходе к новому экологическому миропорядку. В процессе становления экологической науки всё более понятным становилось то, что человек способен вносить устойчивые изменения в строение биосферы. Однако такие изменения имеют в большинстве своём негативные последствия

не только для природы, но и самого человека [2]. Как следствие на смену концепциям потребительского отношения к ресурсам планеты сегодня приходит парадигма востребованности рационального природопользования: в научном сообществе широко признаны идеи устойчивого развития, обсуждаются такие концепции, как «гипотеза Геи», «теория золотого миллиарда» и др.

В российской научной традиции переход к устойчивому развитию рассматривается как этап эволюции биосферы в ноосферу, а не самоцель: устойчивое развитие, по меркам западных коллег, связано с проблемами экономики, науки, техники, новых экологических технологий, в то время как идеи становления ноосферы в первую очередь ассоциированы с ростом духовности, нравственности, формированием новой эстетики.

Подобный подход хорошо проиллюстрирован В. А. Ванюшиным и О. Л. Кузнецовым, которые пишут: «Ноосферное развитие (ноосферогенез) и устойчивое развитие, по сути, очень близкие понятия. Ноосфера – зрелый и завершающий этап перехода к устойчивому развитию, желаемая будущая коэволюция общества и природы» [цит. по: 3, с. 68]. В данной трактовке перестройка мировой экономики в соответствии с положениями концепции устойчивого развития, то есть переход к состоянию гармоничного роста, не ставящего под угрозу жизнь будущих поколений, – насущная необходимость, обязательное условие и основа дальнейшего эволюционного прогресса. Экономический рост необходим, однако он должен быть сопряжён с переходом к качественно новым технологиям, снижающим удельную нагрузку на окружающую природную среду на единицу производимой продукции или услуг.

Любой объект техносферы, в том числе и железнодорожный транспорт, представляет собой систему, взаимодействующую с окружающей его средой. Решающим тут становится выделение всех аспектов такого взаимодействия, оценка их значимости, возможных путей контроля и регулирования. Проблема же состоит в том, что на сегодняшний день пределы устойчивости биотехносферы изучены недостаточно, а следовательно, нет и объективных критериев оценки их значимости. При этом разработка и реализация экологических критериев, основанных на принципах перехода в новое устойчивое состояние, для принятия решения в пользу наиболее оптимального варианта развития

железнодорожного комплекса и его отдельных компонентов бесспорно необходимы.

Железнодорожный транспорт, по признанию специалистов, сегодня считается одним из наиболее экологичных. Эмиссия углекислого газа, приходящаяся на одного пассажира на километр пути, при поездке на поезде примерно в три раза меньше, чем на машине, и в четыре раза меньше, чем на самолёте [4]. С другой стороны, о достаточности уровня экологической безопасности на железных дорогах все же говорить не приходится. До сих пор не находит своего решения целый ряд проблем.

На основе анализа перевозочного процесса как источника негативного воздействия на окружающую среду можно выделить:

- внешний шум;
- электромагнитное излучение;
- бактериальное загрязнение дорожного полотна и прилегающих территорий;
- загрязнение прилегающих территорий тяжёлыми металлами, другими органическими и неорганическими опасными веществами (масла, смазки, электролит);
- выброс продуктов сгорания топлива локомотивами при работе угольных котлов системы отопления;
- электропотребление;
- расход воды, угля и других ресурсов;
- образование опасных неорганических отходов;
- фрагментация экосистем;
- отчуждение территорий под строительство дороги и прилегающей инфраструктуры.

Поскольку объективные и всеобъемлющие критерии оценки данных аспектов при отсутствии полной исходной информации могут быть сформулированы только частично, предлагаем те критерии оценки экологической безопасности железнодорожного транспорта, которые достижимы для реализации:

- удельное потребление энергии на единицу перевозимого груза или пассажира;
- конечное потребление энергии железнодорожным транспортным комплексом;
- доля использования альтернативных источников энергии и экологически чистых видов топлива;
- удельные выбросы загрязняющих веществ на единицу перевозимого груза или пассажира (определяются по результатам инвентаризации выбросов от объектов железнодорожного транспорта);



Анализ значимости некоторых экологических аспектов железнодорожных пассажирских перевозок по коэффициенту превышения нормативного (фонового) значения

№ п/п	Фактор	Фактическое значение	Нормативное (фоновое) значение	Коэффициент превышения (N)	Ссылка на источник исходных данных
1	Загрязнение почвогрунтов тяжёлыми металлами (на расстоянии 100 м от оси главного хода)	—	—	до 130*	[6]
2	Напряжённость магнитного поля (на расстоянии 2 м от оси пути при токе 1000 А), А/м	86,7	16	5,4750	[7, 8]
3	Шум (на расстоянии 100 м от оси пути), дБА	76,5	55	1,3909	[9, 10]
4	Удельная эмиссия парниковых газов в грузовых перевозках (дизельная тяга), г/т • км	35	—	0,0534**	[12]
5	Удельная эмиссия парниковых газов в грузовых перевозках (электрическая тяга), г/т • км	18	—	0,0247**	[12]
6	Напряжённость электрического поля (на расстоянии 3 м от оси пути на высоте 1,8 м), В/м	1,9	1000	0,0019	[7, 11]

* Суммарный показатель загрязнения тяжёлыми металлами: $Z_c = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{\phi i}} - (n-1)$, где $\frac{C_i}{C_{\phi i}}$ — отношение

содержания элемента в исследуемом объекте к среднему фоновому его содержанию.

** В качестве фонового значения принята удельная эмиссия парниковых газов для авиационного транспорта.

- валовой выброс загрязняющих веществ железнодорожным транспортным комплексом;
- удельные выбросы парниковых газов на единицу перевозимого груза или пассажира;
- валовой выброс парниковых газов железнодорожным транспортным комплексом;
- превышение допустимых значений критериев качества атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвы вследствие процессов эксплуатации железнодорожного комплекса;
- степень фрагментации экосистем;
- отчуждение территорий для транспортной инфраструктуры;
- доступность и привлекательность на рынке транспортных услуг.

Необходимо также учитывать то, что экологические аспекты и критерии экологической безопасности могут быть различны для разных экосистем. Так, например, при разработке мероприятий по снижению негативного воздействия транспорта на окружающую среду в черте населённых пунктов, безусловно, на первый план выходят транспортный шум, загрязнение атмосферы продуктами сгорания топлива, отчуждение территорий (в условиях плотной городской застройки), повышение уровня электромагнитной напряжённости, загрязнение почвы. Для особо охраняемых природных территорий ключевыми становятся такие моменты, как шум от транспортных объектов и фрагментация экосистем, оказывающие ключевое влияние на смену местообитания и миграцию популяций. Для земель сельскохозяйственного на-

значения наиболее значимым станет загрязнение почв тяжёлыми металлами, другими вредными и опасными веществами.

В условиях малой изученности устойчивости биотехносферы и невозможности определения количественных показателей по всем предлагаемым критериям принято руководствоваться принципом «нулевого воздействия», то есть нормальное (идеальное) состояние означает само отсутствие потенциально опасного фактора. Такой подход, впрочем, хотя и является ныне наиболее востребованным, может приводить к некоторому искажению результатов при проведении оценки экологических рисков.

Для оценки значимости экологических аспектов в условиях населённых пунктов с определёнными ограничениями пригодна модель интегральной оценки, в основу которой положен закон минимума Либиха. Модель описана в работе «Модель интегральной эколого-гигиенической оценки производственной среды» [5].

Оценку качества среды предлагается проводить по следующей схеме:

1. Определение набора параметров, по которым будет проводиться оценка. Параметры подбираются с учётом особенностей объекта исследования.

2. Определение нормативных (фоновых) значений для выбранных параметров в соответствии с категорией объекта и целью исследования.

3. Количественная оценка выбранных параметров.

4. Определение относительного показателя качества среды по формуле

$$E = \max(N_1, N_2, \dots, N_n),$$

где N_i — находится по установленным зависимостям:

— для параметров среды с верхним пределом допустимых значений

$$N_i = \frac{C_i}{P_i},$$

где C_i — фактическое значение n -го параметра среды, P_i — нормативное (фоновое) значение n -го параметра;

— для параметров среды с нижним пределом допустимых значений

$$N_i = \frac{P_i}{C_i};$$

— для параметров среды с диапазоном допустимых значений $[a, b]$

$$N_i = \left| 2 \frac{C_i - a}{b - a} - 1 \right| \text{ при } C_i \in [a, b];$$

$$N_i = \frac{C_i}{b} \text{ при } C_i > b;$$

$$N_i = \frac{a}{C_i} \text{ при } C_i < a.$$

В таблице 1 представлен пример анализа значимости вклада некоторых экологических аспектов эксплуатации железнодорожного транспорта. Исходные данные для анализа получены из ранее опубликованных источников. Ранжирование аспектов проведено по коэффициенту превышения нормативного (фонового) значения фактора. Результаты анализа показали, что среди рассмотренных факторов наиболее значимыми для окружающей среды являются загрязнение почвогрунтов тяжёлыми металлами, повышение уровня напряжённости магнитного поля вблизи электрифицированных участков, а также акустическое загрязнение прилегающих территорий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема разработки объективных критериев оценки экологической безопасности транспорта, как и любой другой отрасли народного хозяйства, является актуальной и на сегодняшний день только намечены пути ее ре-

шения. Концепция развития железнодорожного комплекса должна включать определённые показатели эффективности по критериям экологической безопасности, а не носить исключительно декларативный характер. В основу разработки такой концепции могут быть положены и предложенные в статье критерии, однако остаётся пока открытым вопрос о методологии их оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р (ред. от 11.06.2014) «О Транспортной стратегии Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ, 15.12.2008, № 50, ст. 5977.

2. Ованесова Е. А. Понятие эколого-гигиенической безопасности в системе междисциплинарных взаимодействий // Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Поволжского региона: Сб. материалов VIII международной науч.— практ. конференции / Казанский филиал МИИТ.— Казань: Мир без границ, 2016.— С. 8—10.

3. Дробжев М. И. В. И. Вернадский: ноосфера и устойчивое развитие // Вопросы современной науки и практики.— 2013.— № 3.— С. 65—75.

4. World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse / L. Brown.— N.Y.: W.W. Norton & Company, 2011.— 327 p.— ISBN 978-0-393-08029-2 (cloth) 978-0-393-33949-9 (pbk).

5. Ованесова Е. А. Модель интегральной эколого-гигиенической оценки производственной среды. [Электронный ресурс]: <http://fcrisk.ru/forums/node/386>. Доступ 22.05.2017.

6. Журавлева М. А. Экологическая оценка распределения тяжёлых металлов в полосе отвода железных дорог / Дис... канд. техн. наук.— М., 2015.— 209 с.

7. Белинский С. О. Методы и средства защиты персонала от электромагнитных полей объектов тягового электрооборудования // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте: Сб. трудов молодых учёных и специалистов транспортной отрасли / Под общ. ред. О. С. Юдаевой, Е. А. Ованесовой.— М., 2015.— С. 18—31.

8. ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 «Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на сельских территориях».

9. Ованесова Е. А. Защита от шума на железнодорожном транспорте: определение требуемой ширины санитарно-защитной зоны // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте: Сб. трудов молодых учёных и специалистов транспортной отрасли.— Выпуск II.— М.: ВНИИЖТ, 2016.— С. 104—109.

10. СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003».

11. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».

12. Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года. [Электронный ресурс]: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer_id=5104& Доступ 22.05.2017.

Координаты автора: **Ованесова Е. А.** — e-toloknova@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 22.05.2017, принята к публикации 15.07.2017.



CRITERIA OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF RAILWAY TRANSPORTATION

Ovanesova, Elena A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article describes the case when railway transport complex is presented as an element within structured concept of national economy's transition to sustainable development. A question of formulating objective criteria

of environmental safety of freight and passenger transportation is discussed. Environmental aspects of operation of railways are developed, and criteria-based approaches to safety of railway-related infrastructure, rolling stock and environment are suggested.

Keywords: railways, transportation, carriage, sustainable development, ecological aspects, criteria of environmental safety.

Scientists have no unity of opinion on whether or not investments into the development of the transportation network are the foundation of economic growth; and whether economic growth leads to increased intensity and volume of transportation. It is evident, however, that economic growth and the growth of «transportation load» are related processes, and, as noted in the transportation strategy of the Russian Federation, «along with further development of the country, expansion of its internal and external transportation and economic links, increased production volumes, and improvement of the nation's standard of living, the importance of the transport sector and its role as a systemic factor will only go up» [1].

A well-developed transport network that has sufficient throughput capacity and a high quality of transportation processes is an indispensable part of economic, sociopolitical, and cultural progress of any nation.

Its current state makes transport one of the key links in the transition to a new environmental world order. As the science of ecology was maturing, it was becoming increasingly clear that humans are capable of making persistent changes in the structure of the biosphere. However, such changes have had mostly negative consequences not only for the natural environment, but also for humans themselves [2]. As a result, the old concepts of treating the planet merely as a set of resources to be consumed are increasingly superseded by a paradigm of more careful and rational treatment of the Nature: ideas of sustainable development have gained universal recognition in the academic community, and such concepts as the Gaia hypothesis and the «theory of the golden billion», etc. are explored.

The Russian academic tradition views the transition to sustainable development as a stage in the evolution of the biosphere into the noosphere, rather than an end in and of itself: sustainable development, in the view of western academics, has to do with problems addressed by economics, science, engineering, and novel environment-friendly technologies; whereas the ideas of transitioning to the noosphere are primarily associated with spiritual growth, morals, and the emergence of new aesthetics.

Such an approach is well illustrated by V. A. Vanyushin and O. L. Kuznetsov, who write, «Noospheric development (the genesis of the noosphere) and sustainable development are essentially very close notions. The noosphere is a stage of maturity and completion in the transition to sustainable development» [3, page 68]. Construed like this, the restructuring of the global economy in line with the dicta of sustainable development as a general concept, i.e. the transition to a state of harmonious growth that bears no threat to the lives of future generations, is an existential need, a required

condition, and the foundation of further evolutionary progress. Economic growth is necessary; it must, however, involve a transition to qualitatively new technologies that would reduce the specific load on the natural environment per unit of product or service.

Any element of the technosphere, including rail transport, is a system that interacts with its environment. It is critically important that we identify all aspects of this interaction, assess their significance, and determine possible methods of their control and regulation. What poses the greatest problem is that to-date, the limits of the biotechnosphere's stability have not been studied and understood sufficiently, and therefore there are no objective criteria to make a judgment on their significance. That said, the development and application of ecological criteria that are based on the principles of transition to a new sustainable state is unarguably necessary in order to decide on the most optimal way to develop the railway complex and its individual components.

Today, experts recognize rail transport as one of the most environment-friendly modes of transportation. In transportation by rail, emissions of carbon dioxide per passenger per kilometer are about one third of those in automotive transportation and one fourth of air transport emissions [4]. On the other hand, we still cannot say that railways' environmental safety is at a sufficiently high level. A whole range of problems remain unsolved.

Our analysis of the transportation process as a source of negative impacts on the environment reveals the following factors:

- noise emissions;
- electromagnetic emissions;
- bacterial contamination of the rail track and adjacent areas;
- contamination of adjacent areas with heavy metals and other organic and non-organic hazardous substances (oils and other lubricants, electrolytes);
- emissions of fuel combustion products by locomotives that use coal-fired heating boilers;
- consumption of electricity;
- consumption of water, coal, and other resources;
- generation of dangerous non-organic waste;
- fragmentation of ecosystems;
- taking up land for the construction of railways and associated infrastructure.

Given that, in the absence of complete input information, an objective and comprehensive set of criteria for the assessment of the above factors can be defined only partially, we suggest only those criteria for the assessment of the rail transport's environmental safety that lend themselves to practical application:

- specific energy consumption per unit of freight or per passenger;
- total use of energy by the rail transport complex;
- share of alternative energy sources and environmentally friendly types of fuel;

Table 1

Significance analysis of some environmental aspects of passenger railway transport by the coefficient of normative (background) value violation

No.	Factor	Actual value	Normative (background) value	Violation coefficient (N)	Source of input data
1	Contamination of soils with heavy metals (at a distance of 100 m from the primary traffic axis)	–	–	up to 130*	[6]
2	Magnetic field intensity (at a distance of 2 m from the track axis and at the current of 1,000 A), in A/m	86.7	16	5.4750	[7, 8]
3	Noise (at 100 m from the track axis), in dBA	76.5	55	1.3909	[9, 10]
4	Specific emission of greenhouse gases in freight transportation (diesel locos), in g/t·km	35	–	0.0534**	[12]
5	Specific emission of greenhouse gases in freight transportation (electric locos), in g/t·km	18	–	0.0247**	[12]
6	Electric field intensity (at 3 m from the track axis, at a height of 1.8 m), in V/m	1.9	1000	0.0019	[7, 11]

* Cumulative value of contamination with heavy metals: $Zc = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{bi}} - (n-1)$,
 where $\frac{C_i}{C_{bi}}$ is the ratio of element content in the research sample to the mean background content of the element.
 ** Adopted as the background value is the specific emission of greenhouse gases for air transport.

• specific emissions of contaminants per unit of freight or per passenger (as determined by inventory emissions of rail transport facilities);

• cumulative emissions of contaminants by the rail transport complex;

• specific emissions of greenhouse gases per unit of freight or per passenger;

• total emissions of greenhouse gases by the rail transport complex;

• violations of admissible quality criteria of atmospheric air, surface and ground waters, and soil resulting from processes involved in the operation of the railway complex;

• degree of ecosystems' fragmentation;

• alienation of land for transportation infrastructure;

• accessibility and attractiveness to customers on the market of transportation services.

It should also be taken into account that environmental aspects and environmental safety criteria can be different for different ecosystems. For example, when measures are designed to reduce the negative environmental impact of transport in populated areas, such factors come into the foreground as transport-related noise, contamination of the atmosphere with fuel combustion products, alienation of land (in the conditions of a densely built-up urban areas), increased intensity of electromagnetic fields, and contamination of soil. For specially protected nature reserves, such factors become key as the noise from transport facilities and ecosystem fragmentation that have the decisive impact on the change of habitats and migration of biological populations. For agricultural lands, contamination of soils with heavy metals and other harmful or dangerous substances is the most significant.

In view of the current limited understanding of biotechnosphere stability, and the impossibility of determining the quantitative indicators for all of the proposed criteria, it is customary to proceed from the

principle of «zero impact», meaning that the normal (ideal) state is the absence the potentially damaging factor. This approach, although the most accepted one today, may however lead to a certain distortion of the results obtained through the process of environmental risk assessment.

To evaluate the significance of environmental aspects in populated areas, the integral assessment model based on the Liebig's law of the minimum is suitable with certain qualifications. The model is described in the paper A model of integral ecological and hygienic assessment of the industrial environment [5].

The following procedure is suggested for environment quality assessment:

1. Determine a set of parameters by which to perform the assessment. The parameters are selected in view of the specific features of the object to be studied.

2. Determine the normative (background) values of the selected parameters in view of the category of the object and the purpose of the study.

3. Perform the quantitative evaluation of the selected parameters.

4. Determine the relative indicator of the environment quality by the formula

$$E = \max(N_1, N_2 \dots N_n),$$

where N_i is determined by the identified dependencies:

– for environmental parameters that have a ceiling of admissible values

$$N_i = \frac{C_i}{P_i},$$

where C_i is the actual value of the n^{th} environmental parameter, P_i is the normative (background) value of the n^{th} parameter;

– for environmental parameters with a floor of admissible values



$$N_i = \frac{P_i}{C_i};$$

– for environmental parameters with a range of admissible values $[a, b]$

$N_i = \left 2 \frac{C_i - a}{b - a} - 1 \right $	at	$C_i \in [a, b];$
$N_i = \frac{C_i}{b}$	at	$C_i > b;$
$N_i = \frac{a}{C_i}$	at	$C_i < a.$

Table 1 is an example analysis of the significance of contributions made by some environmental aspects of rail transport operation. The input data for the analysis were taken from published sources. The aspects were ranked by the coefficient reflecting the degree of violation of the normative (background) value of the parameter. The analysis shows that, out of the reviewed factors, the greatest significance was associated with the contamination of the soils with heavy metals, excessive levels of magnetic fields intensity in the vicinity of electric railway sections, and acoustic contamination of adjacent areas.

Conclusions

The problem of developing a set of objective criteria to be used for assessing environmental safety of the transport sector, as well as any other sector of the economy, remains unsolved. Today, only paths to its solving have been outlined. A conceptual strategy for the development of the railway complex must include certain effectiveness indicators based on the environmental safety criteria rather than be merely declarative. The criteria suggested in this article can, among others, be laid in the foundation of the effort to develop such a conceptual strategy. However, the question of a methodology to be used for their validation remains open.

REFERENCES

- Order of the Government of the Russian Federation dated 22.11.2008 No. 1734-r (ed. 11.06.2014) «On the Transport Strategy of the Russian Federation» [Rasporyazhenie pravitel'stva RF ot 22.11.2008 № 1734-r (red. ot 11.06.2014) «O Transportnoy strategii Rossijskoy Federatsii»]. Legislative acts of the Russian Federation, 15.12.2008, No. 50, art. 5977 [Sobranie zakonodatel'stva RF, 15.12.2008, № 50, st. 5977].
- Ovanesova, E. A. Notion of ecological and hygienic safety in the system of interdisciplinary interactions [Ponyatie ehkologo-gigienicheskoy bezopasnosti v sisteme mezhdistsiplinarnykh vzaimodeystvij]. Modern problems of social, economic and ecological safety of Volga region. Proceedings of VIII international scientific and practical conference [Aktual'nye problemy sotsial'no-ehkonomicheskoy i ehkologicheskoy bezopasnosti Povolzhskogo regiona: Sb. materialov VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakt. konferentsii]. Kazan branch of MIIT University, Kazan, Mir bez granits publ., 2016, pp. 8–10.
- Drobzhnev, M. I. Vladimit Vernadsky; noosphere and sustainable development [V. I. Vernadskij: noosfera

i ustojchivoe razvitiye]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki, 2013, Iss. 3, pp. 65–75.

4. Brown, Lester R. World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse. N.Y., W. W. Norton & Company, 2011, 327 p.

5. Ovanesova, E. A. Model of integral ecological and hygienic assessment of industrial environment [Model' integral'noj ehkologo-gigienicheskoy otsenki proizvodstvennoy sredy]. [Electronic resource]: <http://fcrisk.ru/forums/node/386>. Last accessed 22.05.2017.

6. Zhuravleva, M. A. Ecological assessment of distribution of heavy metals in railways' right of way. Ph.D. (Eng) thesis [Ekologicheskaya otsenka raspredeleniya tyazhelykh metallov v polose otvoda zheleznykh dorog. Dis... kand. tehn. nauk]. Moscow, 2015, 209 p.

7. Belinsky, S. O. Methods and tools of protection of personnel against electromagnetic fields of traction power supply facilities tool [Metody i sredstva zashchity personala ot ehlektromagnitnykh polej ob'ektov tyagovogo ehlektrosnabzheniya]. In: Modern approaches of providing hygienic, health and disease, environmental safety of railways. Collection of works of young researchers and staff of transport sector [Sovremennye podkhody k obespecheniyu gigienicheskoy, sanitarno-ehpidemiologicheskoy i ehkologicheskoy bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte: Sb. trudov molodykh uchennykh i spetsialistov transportnoj otrasli]. Gen. ed. Udaeva, O. S., Ovanesova, E. A. Moscow, 2015, pp. 18–31.

8. Hygienic specification GN2.1.8/2.2.4.2262–07 «Maximum permissible levels of electromagnetic fields of 50Hz frequency in the rooms of residential and public buildings and in the territories intended for building [GN2.1.8/2.2.4.2262–07 «Predel'no dopustimye urovni magnitnykh polej chastoty 50 Gts v pomesheniyakh zhilykh, obshchestvennykh zdaniy i na selitebnykh territoriyakh»].

9. Ovanesova, E. A. Protection against noise on railways: identification of th necessary width of sanitary protective zone [Zashchita ot shuma na zheleznodorozhnom transporte: opredelenie trebuemoj shiriny sanitarno-zashhitnoj zony]. In: Modern approaches of providing hygienic, health and disease, environmental safety of railways. Collection of works of young researchers and staff of transport sector [Sovremennye podkhody k obespecheniyu gigienicheskoy, sanitarno-ehpidemiologicheskoy i ehkologicheskoy bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte: Sb. trudov molodykh uchennykh i spetsialistov transportnoj otrasli]. Second issue. Moscow, VNIIZH, 2016, pp. 104–109.

10. Collection of rules SP 51.13330.2011 «Protection against noise. Revised edition of construction standards and rules SNiP 23–03–2003» [SP 51.13330.2011 «Zashchita ot shuma. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23–03–2003»].

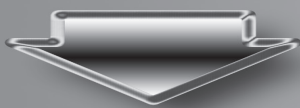
11. Sanitary rules and standards SanPiN2.1.2.2645–10 «Sanitary and disease control requirements to the conditions of habitation in residential buildings and rooms» [SanPiN2.1.2.2645–10 «Sanitarno-ehpidemiologicheskoe trebovaniya k usloviyam prozhivaniya v zhilykh zdaniyakh i pomesheniyakh»].

12. Environmental strategy of the JSC Russian Railways till 2017 and towards 2030 [Ekologicheskaya strategiya OAO «RZHD» na period do 2017 goda i perspektivu do 2030 goda]. [Electronic resource]: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer_id=5104&. Last accessed 22.05.2017.

Information about the author:

Ovanesova, Elena A. – assistant lecturer at the department of technosphere safety of the Russian University of Transport, Moscow, Russia, e-toloknova@rambler.ru.

Article received 22.05.2017, accepted 15.07.2017.



ИКАО И ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАССАЖИРОВ



Генеральный секретарь ИКАО д-р Фан Лю.

24–26 октября 2017 года состоялся тринадцатый Симпозиум ИКАО по стратегии реализации Программы идентификации пассажиров (TRIP).

«Стратегия реализации TRIP ИКАО укрепляет глобальный механизм защиты от международного терроризма, трансграничной преступности и многих других угроз безопасности гражданского общества и безопасности полётов международной авиации», — подчеркнула Генеральный секретарь ИКАО д-р Фан Лю в своем выступлении на открытии симпозиума. «Деятельность в области упрощения формальностей в значительной мере содействует достижению целей ООН в области устойчивого развития (ЦУР), и стратегия реализации TRIP ИКАО также вносит существенный вклад в осуществление резолюций 2178 и 2309 Совета Безопасности ООН».

Будучи главным из проводимых в мире мероприятий по проездным документам и управлению идентификацией, этот Симпозиум по TRIP является важным шагом в осуществлении глобальной контртеррористической деятельности по приоритетным направлениям, которые недавно были определены Советом Безопасности Организации Объединённых Наций.

На заседаниях Симпозиума по TRIP 2017 года участники могли получить обновлённую информацию о наиболее современных методах досмотра и обеспечения безопасности, основанных на оценке рисков, при уделении особого внимания важности сотрудничества и наращивания потенциа-

ла по мере того, как государства принимают меры по укреплению своих соответствующих механизмов защиты.

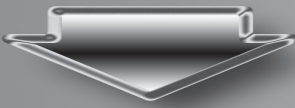
В контексте выпуска Сборника ИКАО по TRIP на симпозиуме вновь рассматривался вопрос о необходимых государствам более широких рекомендациях по планированию и реализации TRIP. В этом новом и всеобъемлющем справочном документе представлены соответствующие инициативы таких партнёрских организаций, как Управление Организации Объединённых Наций по наркотикам и преступности (ЮНОДК), Интерпол, Европейский союз, Организация по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ) и Международная организация по миграции (МОМ), а также ряд дополнительных инструктивных материалов ИКАО.

Симпозиум по TRIP 2017 года был посвящён теме «Повышение безопасности и эффективности воздушного движения», что отражает стремление сделать хорошо разработанные технологии обеспечения безопасности ещё и средством создания более комфортных условий для пассажиров и повышения эффективности процессов упрощения формальностей в целом. «Только посредством выполнения этих двух первоочередных задач сбалансированным образом мы сможем обеспечить подлинную устойчивость предлагаемых нами подходов», — сказала в заключение д-р Лю.

Участники симпозиума по TRIP 2017 года также ознакомились с большой выставкой, на которой были продемонстрированы новейшие отраслевые технологические и процедурные инновации. В этом мероприятии приняли участие около 600 официальных лиц из 82 государств и 14 международных организаций.

По материалам ИКАО: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/RU/ICAO-traveller-identification-event-highlights-key-aviation-role-in-combatting-terrorism-and-cross-border-crime.aspx>





ICAO: TRAVELLER IDENTIFICATION TASKS



ICAO Secretary General Dr. Fang Liu.

ICAO's 13th Traveller Identification Programme (TRIP) Strategy Symposium took place on October 24–26, 2017.

«The ICAO TRIP strategy reinforces the global line of defence against international terrorist movements, cross border crime, and the many other threats to the safety and security of civil society and international aviation», stressed ICAO Secretary General Dr. Fang Liu in her opening address to the event. «Facilitation activities are strongly supportive of the UN Sustainable Development Goals (SDGs), and the ICAO TRIP Strategy also significantly contributes to UN Security Council Resolutions 2178 and 2309». The world's foremost travel document and identity management event, this latest edition of the TRIP Symposium is seen as an important step in maintaining the global momentum on anti-terrorism priorities recently achieved through the United Nations Security Council (UNSC).

2017 TRIP Symposium sessions provided participants with new insights into latest screening and risk-based security measures, while stressing the importance of partnerships and capacity-building as States work to shore up their respective lines of defence.

The extended TRIP planning and implementation guidance needed by States was further addressed at the event through the launch of ICAO's TRIP Compendium. The

new and comprehensive reference document showcases related initiatives by partners such as the United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC), INTERPOL, the European Union, the Organization for Security and Cooperation in Europe (OSCE), and the International Organization for Migration (IOM), while further collating a range of additional ICAO guidance material.

The 2017 TRIP Symposium was centred around the theme of «Making Air Travel more Secure and Efficient», reflecting the fact that well-designed security technologies also support the improvement of the passenger experience and the efficiency of facilitation processes more generally. «It is only by ensuring both of these priorities in a balanced way that our proposed solutions will be truly sustainable», Dr. Liu concluded.

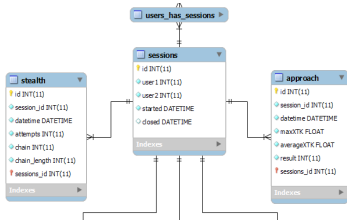
2017 TRIP Symposium participants also enjoyed a wide-ranging exhibition showcasing the latest industry technology and process innovations. The event gathered close to 600 officials from 82 States and 14 international organizations.

Retrieved and compiled from ICAO Web-site news. Original source: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-traveller-identification-event-highlights-key-aviation-role-in-combatting-terrorism-and-cross-border-crime.aspx>

T

ГРАЖДАНСКАЯ АВИАЦИЯ 208

*Подготовка пилотов
для двухчленного экипажа.*



ДЕМПИНГ 218

*Новые вызовы для
профсоюзов на рынке труда.*



CIVIL AVIATION 208

*Training of pilots
for two-member crew.*



DAMPING 218

*New challenges for trade
unions at the labor market.*





Специальное программное обеспечение для подготовки пилотов



Ольга АРИНИЧЕВА
Olga V. ARINICHEVA

Евгений ВЛАСОВ
Evgeny V. VLASOV



Вадим ГРЕХОВ
Vadim A. GREKHOV

Ариничева Ольга Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры лётной эксплуатации и профессионального обучения авиационного персонала СПбГУ ГА, Санкт-Петербург, Россия.
Власов Евгений Витальевич – старший инженер-программист ООО «Фирма «НИТА», Санкт-Петербург, Россия.
Грехов Вадим Александрович – пилот-выпускник СПбГУ ГА, Санкт-Петербург, Россия.

Special Software for Pilot Training (текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 213)

В статье представлено описание методических проблем, возникших в ходе применения пакета специального программного обеспечения, предназначенного для подготовки авиационного персонала по программе «CRM – управление ресурсами двухчленного экипажа». Предложены пути решения основных проблем оценки эффективности взаимодействия в экипаже летательного аппарата, а также намечены пути реализации предложенных решений. Статья продолжает ранее начатую тему (см. «МТ»: 2014, № 5; 2016, № 1; 2017, № 3).

Ключевые слова: гражданская авиация, безопасность полётов, CRM, специальные программные продукты, методическое обеспечение.

В публикациях разных лет [1–3] были рассмотрены возможные пути уменьшения негативного влияния человеческого фактора на безопасность полётов. Одним из подобных способов рядом исследователей СПбГУ ГА [3–12] рассматривается такой путь, как правильное комплектование экипажей летательных аппаратов (ЛА). Хотя он и представляется весьма перспективным, но в настоящее время, к сожалению, откровенно отвергается авиационным сообществом. Поэтому в русле господствующих тенденций подготовки пилотов в первую очередь внимание пока концентрируется на программах Crew Resource Management (CRM).

Исходный вариант программы «CRM России» [3, 13] в середине 2000-х годов был в силу экономических причин преобразован в «CRM – управление ресурсами двухчленного экипажа». Её неременной составляющей стали специальные компьютерные программы, предназначенные для непосредственной оценки

Таблица 1

Корреляции, выявленные между показателями ζ_{04} , N, T_{Ring} , T_{Azef} , ψ_1 и ψ_2 , при обследовании 52 пар участников эксперимента

1-я величина \ 2-я величина	ζ_{04}	N	T_{Ring}	T_{Azef}	ψ_1	ψ_2
ζ_{04}		-0,3029	-0,2302	-0,1489	-0,1091	0,1108
N	$P > 0,95$		-0,0739	0,0666	-0,0933	-0,0096
T_{Ring}	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,0508	-0,0468	-0,1147
T_{Azef}	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		-0,0868	-0,0131
ψ_1	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,7516
ψ_2	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P > 0,999$	

Таблица 2

Корреляции, выявленные между показателями ζ_{04} , N, T_{Azef} , $N_{ош.}$, ψ_1 и ψ_2 , при обследовании 62 пар участников эксперимента

1-я величина \ 2-я величина	ζ_{04}	N	T_{Azef}	$N_{ош.}$	ψ_1	ψ_2
ζ_{04}		-0,1808	-0,0646	0,0133	0,0079	0,0903
N	$P \leq 0,95$		-0,0175	0,1058	-0,2429	-0,0877
T_{Azef}	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,1386	-0,0711	-0,0576
$N_{ош.}$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		-0,1879	-0,2101
ψ_1	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,7188
ψ_2	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P > 0,999$	

эффективности взаимодействия в паре пилотов. В том числе одним из авторов данной статьи (Е. В. Власовым) разработан пакет специального программного обеспечения (СПО) [14].

Это СПО и сопутствующий методический материал были успешно внедрены в учебный процесс, в ходе которого, однако, выявлен ряд проблем методического характера:

- отсутствие персонализации и личного учёта результатов;
- отсутствие общего хранилища данных;
- отсутствие автоматизированной системы обработки результатов;
- слабый контроль над действиями обучаемых.

Рассмотрим подробнее представленные методические проблемы и возможные пути их решения. В первую очередь,

поскольку пакет специального программного обеспечения состоял, в общем-то, из независимых исполняемых модулей, было решено объединить их в общую графическую оболочку, содержащую теоретическую информацию по программе CRM, а также описание всех включённых в программу упражнений. Так как каждое упражнение ведёт свой собственный журнал результатов выполнения, независимый от других приложений, сопоставление успехов обучаемых целиком ложится на плечи преподавателя, что довольно затруднительно. Особенно с учётом того факта, что при выполнении упражнения не имеется никаких данных об обучаемых, а тем более о составе пар, выполняющих задание. То есть становится проблематичной оценка конкретного обучаемого в контексте различных пар и упражнений.



Этот факт хорошо иллюстрируют корреляции, выявленные между различными показателями, которые показаны в таблицах 1 и 2 [8].

Справа и вверху значения коэффициента корреляции Пирсона между данными показателями эффективности, а слева и внизу характеристики значимости корреляции

При этом в таблицах 1 и 2 используются следующие обозначения [8, 14]:

$T_{Azef} = T_{ул.F}$ – время удержания «планки» в пределах допустимых ограничений;

T_{Ring} – время прохождения управляемым объектом (УО) заданной траектории;

$N_{ош.}$ – количество совершённых ошибок за период 300 с;

ψ_1 – средний балл по двум испытуемым за выполнение упражнения «КроссЧек 2» (худший результат);

ψ_2 – средний балл по двум испытуемым за выполнение упражнения «КроссЧек 2» (лучший результат).

Как видно из таблиц, наибольшие расхождения с прочими результатами дало время удержания «планки» в пределах допустимых ограничений (T_{Azef}) в упражнении «Азеф», в задачу которого входит развитие антиципации у пилота. Будучи очень полезным для обучения и разминки, упражнение слишком чувствительно к случайным ошибкам, что весьма существенно снижает возможности для диагностики эффективности взаимодействия.

В довольно эффективном упражнении «Ring-2» очень мал разброс получаемых результатов [8, 14], что приводит к многочисленным флюктуациям в сравнительно небольших группах и затрудняет сравнение полученных данных с данными психодиагностики.

Упражнение «КроссЧек 1» является задачей для отработки когнитивно-моторного взаимодействия в паре в режиме перекрёстного контроля и оценки его эффективности. Как следует из таблиц 1 и 2, оно показало достаточно надёжное совпадение почти со всеми результатами эксперимента, кроме результатов по упражнению «Азеф». Но здесь возникает ещё одна проблема. Для старших возрастных групп есть затруднения, связанные с использованием персонального ком-

пьютера: даже при отличной реакции и слаженности действий у людей этой группы недостаточный уровень моторного навыка применения устройств ввода/вывода, что негативно сказывается на времени выполнения упражнения и результате. (Проще говоря, некоторые относительно пожилые пилоты имеют проблемы по нахождению необходимых символов на клавиатуре). В то же время для молодого поколения авиационных специалистов такая проблема практически не актуальна, а значит, нужна дополнительная корреляция результатов проверки и возраста испытуемых [8, 14].

Таким образом, возникает некоторый набор сложностей при использовании отдельных модулей без их комплексной обработки. Решением же проблемы становится введение централизованного хранилища данных студентов, а также результатов выполнения всех упражнений.

На рис. 1 представлена модель сущность-связь (ER-модель) [15] базы данных, основными сущностями которой являются [14]:

- users – таблица обучаемых, используется для хранения списка студентов, занимающихся по программе CRM, а также для их аутентификации в системе;

- sessions – таблица пользовательских сессий. Когда два пользователя входят в систему на одном компьютере для выполнения упражнений, создаётся сессия, которая хранит в себе идентификаторы пользователей и различную дополнительную информацию;

- stealth, ring, azef и т.д. – таблицы результатов выполнения упражнений. Хранят в себе идентификатор сессии, в которой выполняется каждое упражнение, а также результаты его выполнения.

Связи модели:

- связь «многие-ко-многим» между сущностями users и sessions отражает факт наличия многих сессий у одного пользователя (возможно, с различными партнёрами), а также факт участия в каждой сессии более одного пользователя;

- связь «один-ко-многим» между таблицами результатов и таблицей пользовательских сессий отражает факт принадлежности каждого результата к конкретной сессии, а также факт возможности

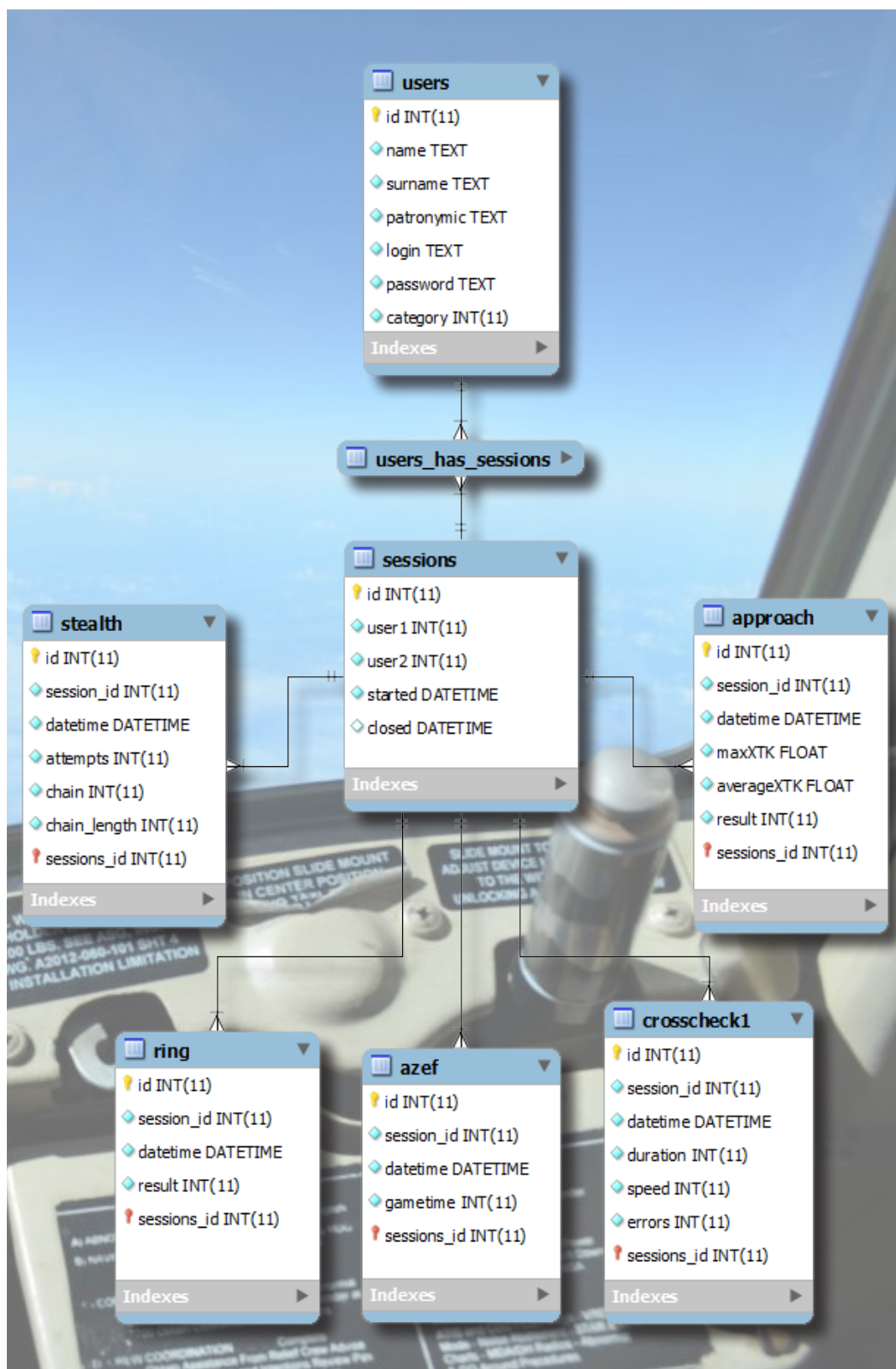


Рис. 1. Упрощённая ER-модель предложенной базы данных [14].





выполнения множества различных упражнений в рамках одной сессии.

Централизованное хранилище данных решает проблему сбора результатов выполнения упражнений, а персонализированная система доступа в систему совместно с механизмом сессий позволяет легко получать результаты любого обучаемого и анализировать их в контексте различных упражнений и пар, с участием которых эти упражнения выполнялись. Представленная система учёта является фундаментом для построения автоматизированной процедуры оценки выполнения программы «CRM – управление ресурсами двухчленного экипажа».

Следующей существенной проблемой стало отсутствие концепции разделения режимов работы СПО на тренировочный и зачётный. Тренировочный режим подразумевает снятие каких-либо ограничений, а также возможность в любое время остановить выполнение упражнения и начать его заново. В то время как режим зачёта, ограничивая свободу действий, не позволяет обучаемым перезапускать упражнение, если оно, по их мнению, выполняется неудачно. Ограничение зачётных попыток приведёт к повышению адекватности результатов, использующихся для оценки.

В целом совершенствование специального программного обеспечения, применяемого при подготовке по программе CRM, призвано повысить эффективность взаимодействия в экипаже и следует не пренебрегать для этого любой, даже самой малой возможностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малишевский А. В., Власов Е. В., Каймакова Е. М. Возможные пути решения проблемы снижения негативного влияния человеческого фактора в чрезвычайных ситуациях на транспорте // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2015. – № 1. – С. 108–114.

2. Малишевский А. В., Ариничева О. В., Власов Е. В. Возможные пути решения проблемы снижения негативного влияния человеческого фактора на безопасность полётов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 2. – С. 12–20.

3. Михайлик Н. Ф., Малишевский А. В. Концепция национальной системы специальной психологической подготовки лётного состава // Прикладная психология. – 1999. – № 4. – С. 30–44.

4. Малишевский А. В., Ариничева О. В., Парфёнов И. А., Петрова М. В. Психологическая совместимость в трудовом коллективе. Соционический подход // Вестник психотерапии. – 2006. – № 17. – С. 46–53.

5. Ариничева О. В., Коваленко Г. В., Малишевский А. В., Михальчевский Ю. Ю. Взаимодействие экипажа воздушного судна со службой управления воздушным движением: соционический аспект проблемы // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2016. – № 4. – С. 5–16.

6. Ариничева О. В., Коваленко Г. В., Малишевский А. В., Парфёнов И. А., Петрова М. В. Исследование методов управления в сфере воздушного транспорта с использованием соционических моделей // Полёт. – 2008. – № 1. – С. 45–49.

7. Малишевский А. В., Парфёнов И. А. Использование соционических моделей для управления и планирования в сфере воздушного транспорта // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2010. – № 4. – С. 117–123.

8. Малишевский А. В., Ариничева О. В., Бровкин П. Е. Анализ экспериментов по оценке эффективности взаимодействия в парах пилотов // Транспорт Урала. – 2013. – № 3. – С. 28–35.

9. Малишевский А. В., Бровкин П. Е. Результаты оценки эффективности взаимодействия в парах пилотов с использованием интертипных отношений В. В. Гуленко и результатов специальных компьютерных испытаний // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – № 1. – С. 108–115.

10. Малишевский А. В., Бровкин П. Е., Власов Е. В. Оценка эффективности экипажей летательного аппарата // Мир транспорта. – 2014. – № 5. – С. 216–229.

11. Ариничева О. В., Малишевский А. В., Власов Е. В. Экипаж самолёта: ресурсы взаимодействия // Мир транспорта. – 2016. – № 1. – С. 220–231.

12. Малишевский А. В. Вопросы оценки эффективности взаимодействия в экипаже воздушного судна с использованием интертипных отношений Г. А. Шульмана – В. В. Гуленко // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2017. – № 1. – С. 24–38.

13. Патент 2119357, Российская Федерация, МПК7 А 61 М 21/00, А 61 В 5/16. Способ повышения профессиональной подготовки лётного состава / Михайлик Н. Ф., Малишевский А. В., Романенко В. В.; заявл. 24.01.1997; опубл. 27.09.1998. Бюл. № 27. – С. 360.

14. Власов Е. В. Анализ методических проблем специального программного обеспечения, применяемого при подготовке по программе CRM // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2015. – № 1. – С. 27–34.

15. Jeffrey A. Hoffer, Ramesh Venkataraman, Heikki Topi. Modern Database Management. 11th ed. London, England: Pearson Education Ltd, 2012, 624 p. ●

Координаты авторов: **Ариничева О. В.** – 2067535@mail.ru, **Власов Е. В.** – jeka.vlasov@gmail.com, **Грехов В. А.** – mrvadim1@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.06.2017, принята к публикации 11.08.2017.

SPECIAL SOFTWARE FOR PILOT TRAINING

Arinicheva, Olga V., St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia.

Vlasov, Evgeny V., NITA company, St. Petersburg, Russia.

Grehov, Vadim A., graduate pilot of St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia.

ABSTRACT

The article is devoted to description of methodological problems, occurred during application of special software package intended for training civil aviation personnel within the program «CRM – two-man crew resource management». The authors suggest approaches to solution of main problems in assessment of efficiency of interaction in the aircraft crew, and to realization of suggested solutions. The article continues previously discussed topic (see World of Transport and Transportation Vol. 12, 2014, Iss. 5; Vol. 14, 2016, Iss. 1; Vol. 15, 2017, Iss. 3).

Keywords: civil aviation, flight safety, CRM, special software, methodological follow-up.

Background. Publications of different years of publication [1–3] have considered possible approaches to reducing of negative impact of human factor on flight safety. Some researchers of St. Petersburg State University of Civil Aviation [3–12] consider correct composition of aircraft crews as one of possible means. Whereas this approach seems promising, it is unreservedly rejected by aviation community. Therefore, attention, following the course of dominating trends, focuses first on the programs of Crew Resource Management (CRM).

The basic version of the software «CRM Russia» [3, 13] in the mi-2000s was due to economic reasons transformed into «CRM – two-man resource management». Computer software intended to directly assess efficiency of interaction between two pilots became its inherent component. Particularly, one of the authors of the present article (Evgeny V. Vlasov) developed special software package (SSP) [14].

That SSP and relevant tutorial materials were implemented into training process. But practices of training revealed problems of methodical character:

- absence of personalization and of account of individual results;
- absence of common data storage base;
- absence of automated system of processing of results;
- weak control of trainees' actions.

Objective. The authors' objective is to analyze problems related to application of special software package «CRM – two-man crew resource management» intended for training civil aviation personnel and to suggest efficiency-focused solutions.

Methods. The authors use statistical analysis, modelling (particularly ER-modelling), methods of computer engineering, syllabus content analysis.

Results. Let us consider in a more detailed manner the above-mentioned tutorial and methodic problems and possible solutions. First, as SSP consisted, to be exact, of independently executed modules, it was decided to combine them into single graphic environment, containing fundamental information on CRM program, and the description of all exercises making part of the program. As each exercise records the results of its execution itself, independently of other applications, comparison of the success of the trainees become the object of responsibility of a trainer, thus making the task rather difficult. It is particularly difficult, if provided that there are no data on the trainees, either on the composition of pairs of trainees, executing the task. So it becomes problematic to assess a given trainee in the context of different exercises and pairs.

This fact is supported by the correlations, revealed between different indices, and shown in tables 1 and 2 [8].

Table 1

Correlations, revealed between indices \varkappa_{04} , N, T_{Ring} , T_{Azef} , ψ_1 and ψ_2 , during the monitoring of 52 pairs of participants in the test

1 st value \ 2 nd value	\varkappa_{04}	N	T_{Ring}	T_{Azef}	ψ_1	ψ_2
\varkappa_{04}		-0,3029	-0,2302	-0,1489	-0,1091	0,1108
N	$P > 0,95$		-0,0739	0,0666	-0,0933	-0,0096
T_{Ring}	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,0508	-0,0468	-0,1147
T_{Azef}	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		-0,0868	-0,0131
ψ_1	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,7516
ψ_2	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P > 0,999$	



Correlations revealed between indices ζ_{04} , N, T_{Azef} , $N_{mist.}$, ψ_1 and ψ_2 , during the monitoring of 62 pairs of participants in the test

1 st value \ 2 nd value	ζ_{04}	N	T_{Azef}	$N_{mist.}$	ψ_1	ψ_2
ζ_{04}		-0,1808	-0,0646	0,0133	0,0079	0,0903
N	$P \leq 0,95$		-0,0175	0,1058	-0,2429	-0,0877
T_{Azef}	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,1386	-0,0711	-0,0576
$N_{mist.}$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		-0,1879	-0,2101
ψ_1	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$		0,7188
ψ_2	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P \leq 0,95$	$P > 0,999$	

To the right and at the top there are Pearson correlation coefficient values between those efficiency rates, and to the left and at the bottom there are features of validity of correlation.

To the right and at the top there are Pearson correlation coefficient values between those efficiency rates, and to the left and at the bottom there are features of validity of correlation.

The Tables 1 and 2 use the following denominations [8, 14]:

- T_{Azef} – retention time of the «reference level» within allowable limits;
- T_{Ring} – time of passing by controlled object of a given trajectory;
- $N_{mist.}$ – number of mistakes committed during 300 sec;
- ψ_1 – mean score of two examinees for exercise «CrossCheck 2» (worst result);
- ψ_2 – mean score of two examinees for exercise «CrossCheck 2» (best result).

As it can be seen from the tables the time of retention of the «reference level» within allowable limits (T_{Azef}) during exercise Azef demonstrated high discrepancy with other results. The task of that exercise is to develop anticipation of the pilot. Being very useful for training and warm-up that exercise is too sensible to accidental errors and this reduces considerably its capacity from the point of view of diagnosing efficiency of interaction.

The spread of results in exercise «Ring-2», which is rather effective itself, is low [8, 14], and that causes numerous fluctuations in comparatively small groups and complicates comparison of the data achieved with psychodiagnostics data.

Exercise «CrossCheck 1» is a task aimed at developing cognitive and motorial interaction in the two-man crew under the mode of cross control and evaluation of its effectiveness. Tables 1 and 2 show that the results of that exercise have reliably overlapped almost all the experiment results, except for the results of Azef exercise. But here we come across another problem. More aged examinees experience difficulties linked to the use of personal computer. Even they have excellent reaction and excellent teamwork, they have insufficient level of motorial skill of the use of input/output devices, that negatively influences the time of exercise accomplishment and the result. (More simply, aged pilots experience problems to find necessary symbols on the keyboard). This problem

is almost not relevant for younger generation of pilots, and since there is a need for additional correlation of the test results and of the age of examinees [8, 14].

Therefore, a set of issues complicates the use of modules in autonomous mode without system proceeding. The problem can be solved by implementation of centralized data store regarding students' data and results of all accomplished exercises.

Pic. 1 shows entity-relationship model (ER-model) [15] of a database, the main entities of which are [14]:

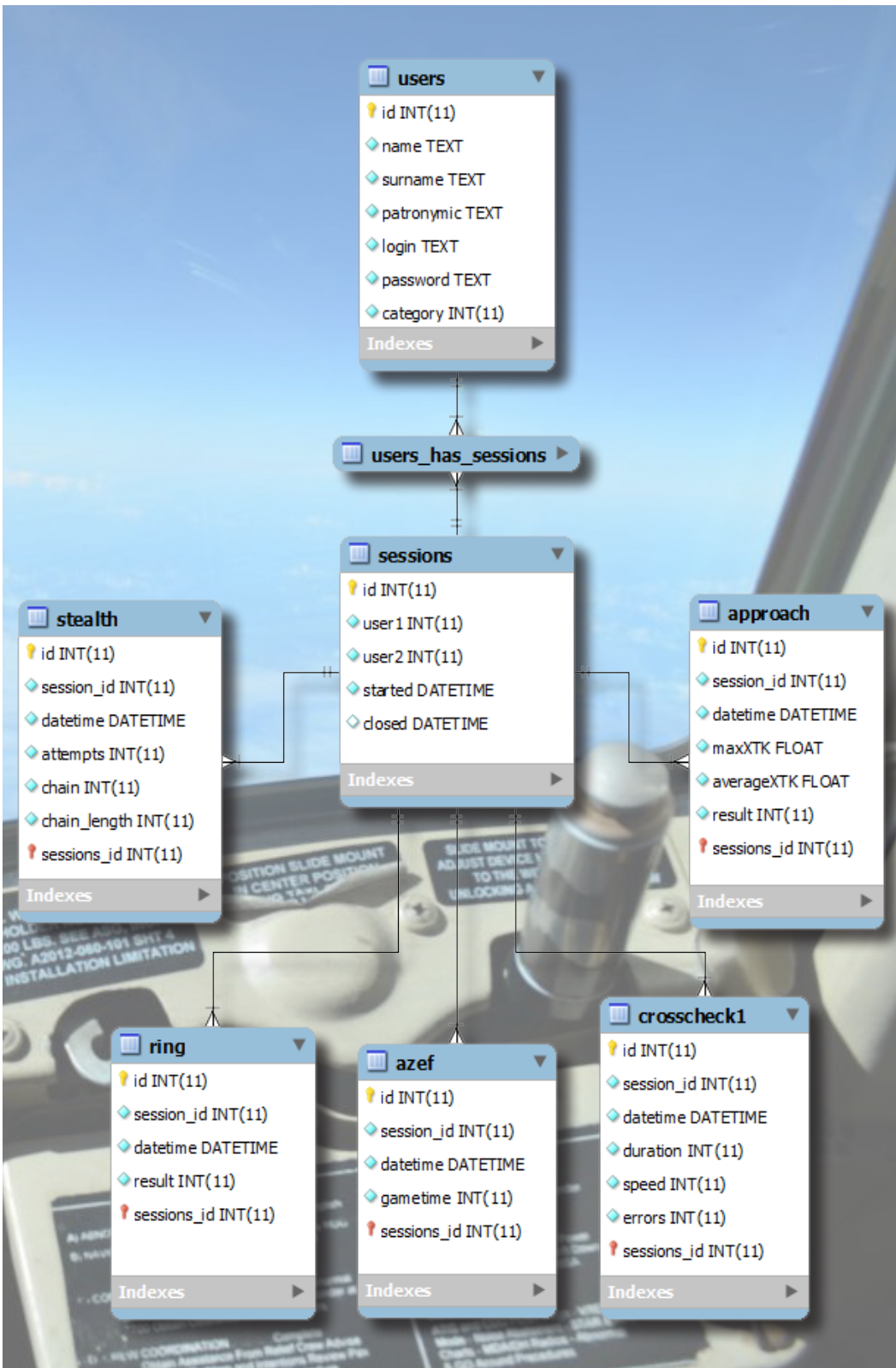
- users – table of students, that is used to store the lists of students trained within CRM program, and to authenticate them in the system;
- sessions – table of users' sessions. When two users enter the system at the same PC to do exercises, a session is created that stores identifications of users and different additional information;
- stealth, ring, azef etc. – tables of results of exercises done. Tables store identification of the session, during which each exercise is done, and the results of exercises.

Relations of the model:

- relation «many-to-many» between entities «users» and «sessions» reflects the fact of existence of multitude of sessions for a user (probably with different partners), as well as the fact of participation in each session of more than one user;
- relation «one-to-many» between tables of results and a table of users' sessions reflects the fact of belonging of each result to the given session, and the fact of a possibility to proceed with multitude of different exercises during a single session.

Conclusions. Centralized data store facilitates solving the problem of collection of the results of exercises, and the personalized system of access to the system together with the mechanism of sessions allows easy obtaining the results of any student and their analyzing in the context of different exercises and composition of different pairs of students. The suggested system of audit is a basis for automated procedure of assessment of passing by a student of the program «CRM – two-man crew resource management».

We can name another important problem that was absence of a concept how to divide the



Pic. 1. Simplified ER-model of a suggested database [14].





operation modes of SSP into a training mode and examination mode. We assume that training mode excludes any limitations and provides for a possibility to stop an exercise at any time and to resume it. Examination mode limits freedom of action, does not allow examinees to resume the exercise if they have an opinion that they are fulfilling it with errors. Reduction of the number of examination attempts will result in growing adequacy of the results which are used for assessment.

Our general opinion is that development of special software that is used in the framework of training in CRM program will permit to increase the interaction within the crew, and to achieve that objective it is advisable not to neglect any, even smallest possibility.

REFERENCES

1. Malishevsky, A. V., Vlasov, E. V., Kaimakova, E. M. Possible ways to solve the problem of negative impact of human factor during transport emergency situations [Vozmozhnye puti resheniya problemy snizheniya negativnogo vliyaniya chelovecheskogo faktora v chrezvychajnykh situatsiyakh na transporte]. *Mediko-biologicheskiye i sotsialno-psychologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychajnykh situatsiyakh*, 2015, Iss. 1, pp. 108–114.
2. Malishevsky, A. V., Arinicheva, O. V., Vlasov, E. V. Possible ways to solve the problem of reducing negative impact of human factor on flight safety [Vozmozhnye puti resheniya problemy snizheniya negativnogo vliyaniya chelovecheskogo faktora na bezopasnost' polyotov]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2016, Iss. 2, pp. 12–20.
3. Mihailik, N. F., Malishevsky, A. V. Concept of national system of special psychological training of aircraft crews [Kontseptsiya natsional'noj sistemy spetsial'noj psikhologicheskoy podgotovki lyotnogo sostava]. *Prikladnaya psikhologiya* [Applied Psychology], 1999, Iss. 4, pp. 30–44.
4. Malishevsky, A. V., Arinicheva, O. V., Parfyonov, I. A., Petrova, M. V. Psychological compatibility in corporate team. Socionic approach [Psychologicheskaya sovmestimost' v trudovom kollektive. Sotsionicheskiy podhod]. *Vestnik psikhologii*, 2006, Iss. 17, pp. 46–53.
5. Arinicheva, O. V., Kovalenko, G. V., Malishevsky, A. V., Mihalchevsky, Yu. Yu. Interaction of the aircraft crew with the air traffic control service: socionic aspect of the problem [Vzaimodejstvie ehkipazha vozdushnogo sudna so sluzhboj upravleniya vozdushnym dvizheniem: sotsionicheskij aspekt problemy]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Bulletin of St. Petersburg State University of Civil Aviation], 2016, Iss. 4, pp. 5–16.
6. Arinicheva, O. V., Kovalenko, G. V., Malishevsky, A. V., Parfyonov, I. A., Petrova, M. V. Study of the methods of control in the field of civil aviation with the use of socionic models [Issledovanie metodov upravleniya v sfere vozdushnogo transporta s

ispol'zovaniem sotsionicheskikh modeley]. *Polyot*, 2008, Iss. 1, pp. 45–49.

7. Malishevsky, A. V., Parfyonov, I. A. Using socionic models for management and planning in the field of civil aviation [Ispol'zovanie sotsionicheskikh modeley dlya upravleniya i planirovaniya v sfere vozdushnogo transporta]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Scientific bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation], 2010, Iss. 4, pp. 117–123.

8. Malishevsky, A. V., Arinicheva, O. V., Brovkin, P. E. Analysis of experiments to assess effectiveness of interaction in pilots' pairs [Analiz eksperimentov po otsenke ehffektivnosti vzaimodejstviya v parakh pilotov]. *Transport Urala*, 2013, Iss. 3, pp. 28–35.

9. Malishevsky, A. V., Brovkin, P. E. Results of assessment of effectiveness of interaction in the pairs of pilots using Gulenko intertype relations and results of special computer tests [Rezultaty otsenki ehffektivnosti vzaimodejstviya v parakh pilotov s ispol'zovaniem intertipnykh otnoshenij V. V. Gulenko i rezultatov spetsial'nykh komp'yuternykh ispytaniy]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Scientific bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation], 2014, Iss. 1, pp. 108–115.

10. Malishevsky, A. V., Brovkin, P. E., Vlasov, E. V. Evaluating the Effectiveness of Crews of an Aircraft. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 5, pp. 216–229.

11. Arinicheva, O. V., Malishevsky, A. V., Vlasov, E. V. Aircraft Crew: Resources of Interaction. *World of Transport and Transportation*, Vol. 14, 2016, Iss. 1, pp. 220–231.

12. Malishevsky, A. V. Issues of assessment of effectiveness of interaction within the crew of an aircraft using Shulman and Gulenko intertype relations [Voprosy otsenki ehffektivnosti vzaimodejstviya v ehkipazhe vozdushnogo sudna s ispol'zovaniem intertipnykh otnoshenij G. A. Shul'mana – V. V. Gulenko]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Bulletin of St. Petersburg State University of Civil Aviation], 2017, Iss. 1, pp. 24–38.

13. Patent 2119357, Russian Federation, MPK7 A 61 M 21/00, A 61 B 5/16. Method to increase professional capacity of pilots [Sposob povysheniya professional'noj podgotovki lyotnogo sostava]. Mihailik, N. F., Malishevsky, A. V., Romanenko, V. V. Application 24.01.1997; published 27.09.1998. Bulletin № 27, p. 360.

14. Vlasov, E. V. Analysis of methodologic problems of special software, applied for training in CRM programs [Analiz metodicheskikh problem spetsial'nogo programmno obespecheniya, primenyaemogo pri podgotovke po programme CRM]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii* [Bulletin of St. Petersburg State University of Civil Aviation], 2015 Iss. 1, pp. 27–34.

15. Hoffer, Jeffrey A., Venkataraman, Ramesh, Topi, Heikki. *Modern Database Management*. 11th ed. London, England, Pearson Education Ltd, 2012, 624 p. ●

Information about the authors:

Arinicheva, Olga V. – Ph.D. (Eng), associate professor at the department of flight operations and professional training of air personnel of St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia, 2067535@mail.ru.

Vlasov, Evgeny V. – senior software engineer of the division of flight simulators of NITA Ltd., St. Petersburg, Russia, jeka.vlasov@gmail.com.

Grehov, Vadim A. – graduate pilot of the faculty of flight operations of St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia, mrvadim1@mail.ru.

Article received 21.06.2017, accepted 11.08.2017.



СТУДЕНТЫ – ПРОВОДНИКИ



Летом в поездах дальнего следования формирования АО «ФПК» (дочернее общество ОАО «РЖД») на различных маршрутах проводниками работали более 10 тыс. студентов, из них 80 % являются членами молодежной общероссийской общественной организации «Русские студенческие отряды».

Подобная практика с каждым годом набирает популярность среди учащейся молодежи. В этом году в поездах дальнего следования трудилось на 2 тыс. студентов больше, чем в 2016 году.

АО «ФПК» привлекает студентов путём сотрудничества с молодежной общероссийской общественной организацией «Русские студенческие отряды». В этом году договор впервые заключён сроком на три года и подразумевает привлечение студентов для

работы в поездах компании не только в летний период, но и во время зимних массовых перевозок.

Для трудоустройства все студенты прошли медицинскую комиссию и обучение по профессии «Проводник пассажирского вагона». В процессе подготовки будущие работники компании получили навыки клиентоориентированного обслуживания пассажиров, освоили приёмы безупречного сервиса, узнали о видах и качестве услуг, предоставляемых пассажирам в поездах дальнего следования.

Фото с сайта «Архангельские известия»
и сайта «Тюмень сегодня».

По материалам
пресс-службы ОАО «РЖД» ●

STUDENTS AS PASSENGER ATTENDANTS

During the summer 2017 more than 10 thousand students worked as on-board passenger attendants in long-distance trains of JSC Federal Passenger Company.

This internship practices have become even more popular with students during recent years. 2 more thousand students worked as sleeping car stewards this year as compared to 2016.

The JSC Federal Passenger Company attracts students via Russian youth non-governmental organization «Russian student teams». 80 % of students that worked as car stewards were its members. This year FPC signed the contract with this organization for

3 years providing possibility of employment of students in summer as well as in winter period.

To be employed all the students passed medical tests and training in profession of passenger car attendant. During training students obtained skills of customer-focused services to passengers, got knowledge of excellent service, types and quality of services provided to passengers in long-distance trains.

Photos: Arkhangelskiye Izvestia and Web-site
Tyumen segodnya.

News of press service of Russian Railways ●





Борьба профсоюзов против социального демпинга



Сергей ЗУБКОВ
Sergey A. ZUBKOV

Григорий КРАЙНОВ
Grigory N. KRAINOV



Зубков Сергей Александрович – доктор философских наук, профессор кафедры политологии, истории и социальных технологий Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Крайнов Григорий Никандрович – доктор исторических наук, профессор кафедры политологии, истории и социальных технологий Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Struggle of Trade Unions against Social Dumping (текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 223)

В условиях современной глобализации транснациональные корпорации (ТНК) используют в своей практике социальный демпинг, который выражается в экспорте слаборазвитым странам низкокачественных экономических ресурсов, политических идей или социокультурных ценностей для получения своей выгоды. Авторы статьи на примерах из деятельности международных транспортных профсоюзов показывают их борьбу против такого демпинга, в защиту трудовых прав наёмных работников, а также попытки наладить взаимовыгодное сотрудничество профсоюзов, бизнеса и государственной власти.

Ключевые слова: глобализация, транспортные профсоюзы, международная федерация транспортников (МФТ), социальный демпинг, транснациональные корпорации, стратегия профсоюзной борьбы, трудовые права трудящихся.

Демпинг (от англ. dumping – сброс) – продажа товаров и услуг по искусственно заниженным ценам. В международной лексике категория «демпинг» используется как синоним нечестной конкуренции, предусматривающей воздействие на цены экспортируемых товаров для устранения конкурентов, захвата внешних рынков, получения заведомо высокой прибыли.

Социальный демпинг определяется как выражение свободы рыночных отношений между участниками мировой хозяйственной системы в процессе экспорта низкокачественных экономических ресурсов, политических идей или социокультурных ценностей для получения соответствующей целям выгоды. Демпинг социальный относится к наиболее сложной разновидности игры на чужой территории, по своим последствиям он наиболее разрушителен для государств с относительно слабой экономикой, ярко выраженной социальной поляризацией и стратификацией населения, сложной демографической ситуацией и деформированным общественным сознанием. На практике социальный демпинг как явление всё больше проникает на мировой рынок рабочей силы и в его региональные центры.

1.

Самодавляющим фактором современного общественного развития стала глобализация. Сегодня в мире идут серьёзные изменения, сопровождаемые переводом производства из развитых стран в регионы с менее высоким социальным уровнем, чем повсюду пользуются транснациональные корпорации (ТНК), применяя как раз методы социального демпинга. Под предлогом повышения производительности и конкурентоспособности ТНК прилагают немало сил для выхолащивания социального законодательства, направленного на защиту прав и интересов трудящихся, охрану труда и окружающей среды. Эти процессы ведут к разобщению трудящихся, уменьшению их возможностей защитить свои права, препятствуют объединению наёмных работников в профсоюзы и самой деятельности профорганизаций.

Перенос ТНК основной части производства товаров и услуг в страны со слабыми социально-трудовым законодательством и профсоюзами выводит их из сферы действия сложившихся национальных колдоговорных систем. Нарушается прежний порядок коллективных переговоров и коллективных соглашений. Теряют прежнее значение общенациональные (генеральные) соглашения и центр тяжести колдоговорной борьбы перемещается на отраслевой и даже локальный уровень предприятия (фирмы), что, естественно, уменьшает возможности профсоюзов достичь каких-то совместных результатов.

В последнее время действия ТНК по применению методов социального демпинга находят своё отражение уже и в формах заёмного труда, к которым относится аутсорсинг. Это новая бизнес-технология позволяет сократить социальные издержки и провести модернизацию компаний. При аутсорсинге головные компании выводят часть рабочих мест за штат предприятия (в том числе в другие страны), т.е. передают определённую функцию обслуживания другой структуре. Это может быть сначала охрана, потом столовая, обслуживание лифтов и т.д. Порой за штат выводят целые цеха. Происходит дробление трудового коллектива и ослабление целостности профсоюза. Как правило, в связи с аутсорсингом профсоюзные ряды существенно редеют.

Применение ТНК отмеченных форм и методов социального демпинга бросает серьёзный вызов мировому профсоюзному движению,

в том числе Международной федерации транспортников (МФТ), которая объединяет в своих рядах 700 национальных профсоюзов, представляющих около 4,7 млн трудящихся из 150 стран мира [1].

Сейчас деятельность МФТ по решению проблем социального демпинга концентрируется на реализации стратегии «Организуемся глобально, боремся за права трудящихся», одобренной конгрессом в Дурбане в 2006 году. Стратегия направлена на рост влияния профсоюзов, установление целей, достижение которых обеспечило бы лучшие стратегические позиции работникам транспорта в глобальной экономике, в том числе на предприятиях международных транспортных операторов, в глобальных или региональных транспортных узлах, чувствительных цепочках трансконтинентальных поставок.

За время реализации стратегия «Организуемся глобально» уже принесла свои результаты. Среди них – создание межсекционных профсоюзных сетей МФТ, которые позволяют её организациям эффективно вести работу по защите прав профсоюзов и бороться с социальным демпингом.

2.

Программа работы с почтово-транспортными корпорациями секций работников автомобильного транспорта и гражданской авиации МФТ привела к появлению межсекционных сетей в таких компаниях, как DHL, UPS, Fed Ex и TNT. Профсоюзная сеть в компании DHL работает в рамках совместной программы с Глобальной федерацией почтовых работников UNI.

Членская организация МФТ, германский профсоюз Ver.di взял на себя руководство по созданию сети профсоюзов в треугольнике транспортных узлов компании DHL Уилмингтон–Лейпциг–Гонконг. После совещания представителей профсоюзов при европейских узлах воздушного транспорта компании DHL в Лондоне была организована сеть, объединяющая членов профсоюзов, работающих на шести из восьми основных транспортных узлов DHL в Италии, Франции, Дании, Германии и Бельгии.

Уже на начальной стадии своей деятельности профсоюзные сети МФТ в сфере почтово-транспортных компаний показали свой потенциал. В апреле 2006 года корпорация TNT объявила о продаже своего логистического направления. Профсоюзная сеть незамедли-



тельно взялась за проведение акции «За справедливость в TNT» с целью оказать давление на компанию и получить гарантии сохранения рабочих мест, условий труда и прав профсоюзов. Акция шла преимущественно в форме электронных конференций. Работал адресный web-сайт. МФТ вела диалог со штаб-квартирой корпорации TNT в Гааге, в котором участвовали профсоюзы Нидерландов, Великобритания, США. В конечном счёте диалог завершился конкретной договорённостью [2].

В 2008 году продолжилось организационное становление межсекционных профсоюзных сетей МФТ в сфере почтово-транспортных компаний [3]. В конце июля в Гватемале прошёл семинар, в котором участвовали несколько членских профсоюзов с обоих американских континентов, на нём рассматривалась организационная работа в компании DHL. Делегации европейских авиационных транспортно-логистических узлов сети компании DHL собрались в сентябре того же года на свою третью встречу в штаб-квартире МФТ в Лондоне. Внимание было сосредоточено на создании компанией UPS Европейской сети транспортно-логистических узлов и на работе компании DHL Express в Индии.

Глобальная акция по поводу компании DHL, входящей в состав германского холдинга Deutsche Post World Net (DPWN), достигла своей кульминации во время «Недели действий работников DHL», когда шла подготовка международного рамочного соглашения. Весной 2009 года был запущен глобальный социальный диалог сети профсоюзов МФТ-UNI с высшим руководством компании DHL [4].

В 2012 году продолжилось усиление влияния сети профсоюзов МФТ-UNI на глобализированном рынке труда. Ежегодное заседание этой сети профсоюзов состоялось в Лондоне в мае при участии 100 активистов персонала ТНК глобальной доставки.

Профсоюзной сети удалось защитить права 24 членов турецкого профсоюза Türkiye Motorlu Tasit İşçileri Sendikası (TÜMTİS), которые были уволены из DHL Turkey на основании обвинений, которые МФТ посчитала сфабрикованными и голословными. В ноябре МФТ опубликовала итоги независимого расследования их увольнения, выявившего изошрённую антипрофсоюзную кампанию с участием руководителей высшего звена [5].

Энергичная кампания солидарности продолжалась до конца года, а 12 декабря органи-

зации МФТ участвовали в международном Дне действий в поддержку профсоюза TÜMTİS и его борьбы за признание профсоюза и его освобождение от вмешательств и запугиваний. В конце декабря суд по трудовым спорам признал компанию DHL Turkey виновной в увольнении восьми работников, чьи дела были переданы ему на рассмотрение. В 2013 году борьба не ослабевала [6].

3.

В 2012 году произошло позитивное событие — руководители сети профсоюзов МФТ — UNI и рядовые активисты создали новый Всеиндийский координационный совет работников DHL, призванный сплотить их соратников по всей стране. Новый альянс объединил более тысячи штатных сотрудников DHL в Индии, а также персонал субподрядчиков и агентств, давая им возможность предлагать администрации компании «одно окно» для контактов с профсоюзом [7].

Проводя семинары и совещания, МФТ помогала профсоюзам разрабатывать организационную стратегию для DHL India. Её администрация дала согласие принять участие в заседании координационного Совета в Мумбаи. На нём были обсуждены важные вопросы: необходимость дать неорганизованным трудящимся такую же возможность высказать своё мнение и жалобы, как и членам профсоюза, неуклонно расширять общение в сети и проведение кампаний на национальном и международном уровне, а также продолжать исследования, образовательные программы и курсы профобучения.

В секции докеров МФТ появилась международная профсоюзная сеть, взявшая на себя операторов глобальных сетей терминалов. Компании APM и DPW включились в проект для порта в Мумбаи. В процессе работы установлен глобальный диалог с компанией APM Terminals, прошли переговоры с компаниями Dubai Ports World (DPW) и PSA. Профсоюзы работников терминалов APM в Порт-Саиде и Танжере добились заключения своего первого коллективного договора. Представители сети МФТ в Египте поддержали образование ряда профсоюзов в этой стране и провели в декабре 2012 года семинары «обучения обучающихся» для персонала гражданской авиации и автомобильного транспорта [7].

В 2008—2009 годах межсекционная сеть профсоюзов МФТ на предприятиях Maersk

принимала участие в кампании профсоюза работников транспорта и доков (TDWU) за признание профсоюза группой компаний GTI, подрядчиками контейнерного терминала в порту Мумбаи, принадлежащего Maersk [3, 4].

В апреле 2008 года Международная федерация транспортников направила в Мумбаи делегацию для расследования случаев насилия против членов TDWU, чтобы заставить их вступить в местный «карманный» профсоюз Navi Mumbai. МФТ также заказала доклад в Индийском центре прав человека. А 21 апреля старшие исполнительные руководители компании встретились с лидерами комитета сети профсоюзов на предприятиях Maersk. На встрече было решено создать совместный комитет по правам трудящихся (WRP) для изучения ситуации в компаниях GTI.

В декабре WRP выпустил свой отчёт, в котором указывалось, что подавляющее большинство работающих по контракту водителей в четырёх подрядных компаниях являются членами профсоюза TDWU. В результате компания Maersk направила 2 января 2009 года подрядным компаниям уведомление с информацией о результатах расследования и указанием о том, что Maersk ожидает, что эти компании подпишут коллективные договоры с настоящим профсоюзом не позднее 9 января. Ни одна из компаний не отреагировала положительно на письмо, а две потребовали признания «карманного» профсоюза Navi Mumbai. В ответ Maersk недвусмысленно заявила о намерении разорвать контракты с этими подрядчиками. МФТ ясно заявила, что как рабочие места, так и представительство работающих водителей должны быть защищены.

4.

Действуя в рамках стратегии «Организуем-ся глобально», секция железнодорожников МФТ особое внимание уделяла такому направлению, как организационная работа в транснациональных транспортных корпорациях по созданию межсекционных профсоюзных сетей. В качестве объекта для проведения стратегической работы секция выбрала компанию Deutsche Bahn. Это один из крупнейших игроков в железнодорожной отрасли, который расширяет сферу своей деятельности на другие страны, регионы и отрасли экономики, включая с помощью компании DB Schenker и логистику.

Секция провела в компании Deutsche Bahn ряд межсекционных профсоюзных мероприятий, в которых изъявили желание участвовать и профсоюзы работников автомобильного транспорта. В 2009 году представители профсоюзов Transnet (Германия) и FNV Bondgenoten (Нидерланды) решили начать создание профсоюзной сети. Рабочая группа в первый раз встретилась в марте, а в октябре в Брюсселе прошло заседание по оргработе в компании Deutsche Bahn Rail [4].

Проблемы, которые решает секция с помощью профсоюзной сети, многоаспектные и сложные. Компания Railion, грузовое отделение железнодорожной корпорации Deutsche Bahn Logistics AG, реализует свои амбициозные международные планы и предлагает взять на себя комплексные поставки и обеспечить безостановочное пересечение границ, готова провести структурные преобразования и установить такую систему работы машинистов поездов, при которой игнорировались бы национальные границы. Транспортные профсоюзы выступили против этого.

Сотрудничество секций железнодорожного и автомобильного транспорта МФТ в рамках совместного комитета привело к созданию профсоюзной информационной сети в транснациональных компаниях городского транспорта, включая First Group, National Express, Veolia Transdev.

В 2006 году сеть насчитывала 180 членов из 65 организаций в 35 странах и использовалась для обмена информацией об условиях труда, стиле работы компаний, отзывах профсоюзов и т.п., а также для мобилизации сил международной солидарности при возникновении трудовых споров. В июле сеть МФТ оказала поддержку команде профсоюзов Teamsters и SEIU, которая лоббировала ежегодное собрание акционеров FirstGroup, состоявшееся в Абердине. На конгрессе в Дурбане коалиция профсоюзных групп, которых объединяла сеть, сделала заявление относительно FirstGroup, призывая компанию строить прочное и продуктивное партнёрство с профсоюзом [2].

В 2007 году сеть сконцентрировала своё внимание на компании FirstGroup в связи с её антипрофсоюзной деятельностью в США. В стратегической встрече, которая прошла в начале года в Лондоне, приняли также участие SEIU, Teamsters (США), Transport and General Workers' Union, RMT (Великобритания), SIPTU (Ирландия), FNV Bondgenoten (Нидер-



данды) и Transnet (Германия). Было решено создать сеть солидарности МФТ в компании FirstGroup с целью дальнейшего совершенствования обмена информацией. Координация действий между британскими и американскими профсоюзами в борьбе с FirstGroup оказалась успешной. Американские профсоюзы смогли привлечь более 3000 водителей автобусов, которые ранее не имели голоса на своих рабочих местах, и благодаря совместным международным действиям смогли усилить давление на компанию, которая была вынуждена в значительной степени изменить своё анти-профсоюзное поведение [8].

В 2008 году более 190 активистов 85 профсоюзов из 43 стран мира являлись членами сети МФТ по транснациональным корпорациям городского транспорта. Её деятельность характеризовалась тем, что представители профсоюзов из Великобритании, Нидерландов, Испании и США впервые собрались вместе, чтобы обсудить координацию действий в отношении National Express Group. В конце концов, та установила, что водители междугородных автобусов и сети Eurolines в основном работают на третьи компании, и согласилась рассмотреть возможность привлечения их в профсоюзы и проводить оргработу через МФТ [4].

В мае 2009 года прошла вторая стратегическая встреча по компании National Express в Мадриде. На ней были обсуждены действия корпорации и её дочерних компаний в Великобритании, Испании и США, а также компании Eurolines и поставлен вопрос о создании профсоюзной сети. Было согласовано, что через МФТ пройдёт диалог с компанией на высшем уровне и что европейские коллеги должны поддержать организационную работу в США, где возникла антипрофсоюзная атмосфера [4].

В 2012 году членами информационной сети МФТ по транснациональным компаниям городского транспорта стали уже более 230 активистов от 106 профсоюзов в 55 странах. Она продолжала мониторинг деятельности ТНК пассажирского транспорта и мобилизацию сил глобальной солидарности при возникновении в компаниях трудовых споров [7].

В мае 2012 года международная профсоюзная делегация, состоявшая из представителей

сети, присутствовала на ежегодном собрании акционеров National Express Group в Лондоне. Опираясь на данные совместного исследования профсоюзов Teamsters и Unite, делегация выразила протест против нарушений прав трудящихся в Северной Америке. В тот же день в ЕФТ, европейском отделении МФТ, комитет по городскому общественному транспорту принял декларацию в поддержку проводимой профсоюзами Teamsters и Unite кампании за признание профсоюза и уважение по отношению ко всем работникам National Express.

* * *

На приведённых фактах нетрудно убедиться, что проблема социального демпинга, применяемого ТНК, остаётся одной из острейших в условиях глобализации. Преимущественно он выражается в отказе работодателей и представителей бизнеса от выполнения в полном объёме своих социальных обязательств, которые закреплены в конвенциях МОТ и национальном трудовом законодательстве, в нарушении ими трудовых прав наёмных работников. Накопленный МФТ опыт организационной работы в транснациональных транспортных корпорациях по созданию межсекционных профсоюзных сетей, борьбы с социальным демпингом — только часть тех общественных усилий, которых заслуживает нажитое в противостоянии труда и капитала «злое» явление.

ЛИТЕРАТУРА

1. 43-й Конгресс МФТ, София 2014. [Электронный ресурс]: www.itfcongress2014.org. Доступ 15.05.2017.
2. Исполнительный Комитет МФТ. Лондон, 26–27 апреля 2007 г. Отчёт Секретариата за 2006 г. [Электронный ресурс]: www.Itfglobal.org. Доступ 15.05.2017.
3. Исполнительный Комитет МФТ. Лондон, 23–24 апреля 2009 г. Отчёт Секретариата за 2008 г. [Электронный ресурс]: www.Itfglobal.org. Доступ 15.05.2017.
4. Исполнительный Комитет МФТ. Лондон, 22–23 апреля 2010 г. Отчёт Секретариата за 2009 г. [Электронный ресурс]: www.Itfglobal.org. Доступ 15.05.2017.
5. Отчёт. [Электронный ресурс]: www.itfglobal.org/files/sealsodocs/36752/JohnLoganReport.pdf. Доступ 15.05.2017.
6. Узнать о кампании против DHL Turkey. [Электронный ресурс]: www.itfglobal.org/campaigns/respectatDHLturkey.cfm. Доступ 15.05.2017.
7. Годовой отчёт МФТ 2012. [Электронный ресурс]: www.Itfglobal.org. Доступ 15.05.2017.
8. Исполнительный Комитет МФТ. Лондон, 24–25 апреля 2008 г. Отчёт Секретариата за 2007 г. [Электронный ресурс]: www.Itfglobal.org. Доступ 15.05.2017. ●

Координаты авторов: **Зубков С. А.** – +7(495) 655–5434, **Крайнов Г. Н.** – krainovgn@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.05.2017, принята к публикации 28.07.2017.

STRUGGLE OF TRADE UNIONS AGAINST SOCIAL DUMPING

Zubkov, Sergey A., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

Krainov, Grigory N., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

In the context of modern globalization, transnational corporations (TNC) use social dumping in their practice, which is expressed in the export of low-quality economic resources, political ideas or sociocultural values for their own advantage to underdeveloped

countries. The authors of the article, using examples from the activities of international transport unions, show their struggle against such dumping, in defense of the labor rights of wage workers, as well as attempts to establish mutually beneficial cooperation between trade unions, business and government.

Keywords: globalization, transport trade unions, international transport workers' federation (ITWF), social dumping, transnational corporations, trade union struggle strategy, labor rights of workers.

Background. Dumping is sale of goods and services at artificially low prices. In international vocabulary, the category «dumping» is used as a synonym for unfair competition, which involves affecting the prices of exported goods in order to eliminate competitors, seize foreign markets, and obtain a high profit.

Social dumping is defined as an expression of the freedom of market relations between the participants in the world economic system in the process of exporting low-quality economic resources, political ideas or sociocultural values in order to obtain benefits corresponding to the goals. Social dumping refers to the most complex variety of game on a foreign territory, its consequences are most destructive for states with a relatively weak economy, pronounced social polarization and stratification of the population, a complex demographic situation and a deformed social consciousness. In practice, social dumping as a phenomenon is increasingly penetrating the world labor market and its regional centers.

Objective. The objective of the authors is to consider struggle of trade unions against social dumping.

Methods. The authors use general scientific methods, comparative analysis, evaluation approach, scientific description.

Results.

1.

Globalization has become a self-extracting factor of modern social development. Today, serious changes are taking place in the world, accompanied by the transfer of production from developed countries to regions with a lower social level which is used by transnational corporations (TNC) through the methods of social dumping. Under the pretext of increasing productivity and competitiveness, TNC are exerting a lot of effort to emasculate social legislation aimed at protecting the rights and interests of workers, occupational safety and the environment. These processes lead to the dissociation of workers, a reduction in their ability to protect their rights, hinder the union of hired workers in trade unions and the activities of trade unions themselves.

The transfer of the main part of the production of goods and services by TNC to countries with weak social and labor legislation and trade unions removes them from the sphere of operation of the established national collective agreement systems. The previous order of collective bargaining and collective agreements is being violated. The national (general) agreements lose their former importance and the center of gravity of the collective bargaining struggle moves to the sectoral and even local level of the enterprise (firm), which, naturally, reduces the opportunities for trade unions to achieve some joint results.

Recently, the actions of TNC on application of social dumping methods have been reflected in the forms of borrowed labor, which include outsourcing. This new business technology can reduce social costs and modernize companies. When outsourcing, parent companies deduce part of the jobs for the enterprise staff (including other countries), i.e., they transfer a certain service function to another structure. It can be first protection, then a canteen, maintenance of elevators, etc. Sometimes entire shops are taken out of staff. There is a fragmentation of the work collective and a weakening of integrity of a trade union. As a rule, in connection with outsourcing, a trade union ranks are significantly thinning out.

The application of the noted forms and methods of social dumping by TNC poses a serious challenge to the world trade union movement, including the International Transport Workers' Federation (ITF), which unites 700 national trade unions representing about 4,7 million workers from 150 countries worldwide [1].

Today, the activities of ITF to address social dumping problems are focused on implementation of the strategy «Organizing globally, fighting for workers' rights», approved by the Congress in Durban in 2006. The strategy is aimed at increasing the influence of trade unions, setting goals that would ensure better strategic positions for transport workers in the global economy, including at enterprises of international transport operators, in global or regional transport hubs, sensitive chains of transcontinental supplies.

During the implementation the strategy «Organizing globally» has already brought its results. Among them – creation of inter-sectoral trade union networks of the ITF, which allow its organizations to effectively work to protect the rights of trade unions and combat social dumping.

2.

The program of work with postal and transport corporations of sections of road transport workers and civil aviation of the ITF has led to the emergence of intersectional networks in companies such as DHL, UPS, Fed Ex and TNT. The trade union network at DHL operates as part of a joint program with the Global Postal Workers Federation UNI.

The ITF affiliate, the German trade union Ver.di has taken the lead in creating a network of trade unions in the triangle of transport hubs of DHL Wilmington–Leipzig–Hong Kong. After a meeting of trade union representatives at the European air transport hubs, DHL in London organized a network of union members working in six of eight major DHL hubs in Italy, France, Denmark, Germany and Belgium.

Even at the initial stage of their activities, ITF trade union networks in the field of postal and transport companies showed their potential. In April 2006, TNT Corporation announced the sale of its logistics direction.



The union network immediately took up the action «For Justice in TNT» in order to put pressure on the company and get guarantees for preservation of jobs, working conditions and trade union rights. The action was mainly in the form of electronic conferences. The address website worked. The ITF conducted a dialogue with the headquarters of TNT Corporation in The Hague, in which the unions of the Netherlands, the United Kingdom and the United States participated. In the final analysis, the dialogue concluded with a concrete agreement [2].

In 2008, the organizational development of the ITF inter-sectoral trade union networks in the field of postal and transportation companies continued [3]. At the end of July, a seminar was held in Guatemala, in which several affiliates from both Americas participated, which considered the organizational work at DHL. Delegations of the European aviation transport and logistics hubs of the DHL network gathered in September of the same year for their third meeting at the ITF headquarters in London. Attention was focused on the creation of the European network of transport and logistics hubs by UPS and at the work of DHL Express in India.

The global action on DHL, a part of the German holding Deutsche Post World Net (DPWN), culminated during the DHL Workers' Week, when the international framework agreement was being prepared. In the spring of 2009, the global social dialogue of the ITF-UNI network of trade unions was launched with the top management of DHL [4].

In 2012, the influence of the ITF-UNI trade union network on the globalized labor market continued to increase. The annual meeting of this network of trade unions was held in London in May with the participation of 100 active members of TNC personnel of global delivery.

The trade union network managed to protect the rights of 24 members of the Turkish trade union *Türkiye Motorlu Tasit Is ileri Sendikası* (T MTIS), who were dismissed from DHL Turkey on the basis of charges that the ITF considered fabricated and unfounded. In November, the ITF published the results of an independent investigation into their dismissal, revealing a sophisticated anti-union campaign involving senior executives [5].

An energetic solidarity campaign continued until the end of the year, and on 12 December ITF organizations participated in the International Action Day in support of T MTIS trade union and its struggle to recognize the union and its release from interference and intimidation. At the end of December, the Labor Court found DHL Turkey guilty of dismissing eight employees whose cases had been referred to it. In 2013, the struggle did not weaken [6].

3.

In 2012, there was a positive development – the leaders of the network of unions of the ITF-UNI and ordinary activists created a new All-India Coordinating Council of DHL employees, designed to rally their colleagues throughout the country. The new alliance has brought together over a thousand DHL staff members in India, as well as subcontractors and agencies, giving them the opportunity to offer the company's administration a «one-stop shop» for contacts with the union [7].

Through seminars and meetings, the ITF helped trade unions develop an organizational strategy for DHL India. Its administration agreed to participate in the meeting of the Coordination Council in Mumbai. Important issues were discussed: the need to give unorganized workers the same opportunity to express their opinions and complaints, as well as to members of

the trade union, steadily expand communication in the network and conduct campaigns at the national and international level, and continue research, educational programs and vocational training courses.

In the section of the ITF dockers, an international trade union network has emerged that has taken over operators of global terminal networks. Companies APM and DPW joined the project for the port in Mumbai. In the process of work, a global dialogue with APM Terminals was established, negotiations were held with Dubai Ports World (DPW) and PSA. The unions of APM terminal workers in Port Said and Tangier achieved their first collective agreement. Representatives of the ITF network in Egypt supported the formation of a number of trade unions in that country and conducted seminars in December 2012 on «training of trainers» for civil aviation and road transport personnel [7].

In 2008–2009, the inter-sectoral network of ITF trade unions at Maersk enterprises took part in the campaign of the trade union of transport workers and docks (TDWU) for the recognition of the trade union by a group of GTI companies, contractors of a container terminal in the port of Mumbai owned by Maersk [3, 4].

In April 2008, the ITF sent a delegation to Mumbai to investigate incidents of violence against TDWU members in order to force them to join the local «pocket» union *Navi Mumbai*. The ITF also commissioned a report at the Indian Human Rights Center. And on April 21, 2008, senior executives of the company met with the steering committee of the network of trade unions at the enterprises of Maersk. At the meeting, it was decided to create a joint committee on workers' rights (WRP) to study the situation in GTI companies.

In December, WRP released its report, which indicated that the vast majority of contract drivers in four contract companies are members of the TDWU. As a result, Maersk sent a notice on 2 January 2009 to contractors with information about the results of the investigation and an indication that Maersk expects that these companies will sign collective agreements with this union no later than January 9. None of the companies reacted positively to the letter, and two demanded recognition of the «pocket» trade union *Navi Mumbai*. In response, Maersk unequivocally announced its intention to break contracts with these contractors. The ITF has clearly stated that both workplaces and the representation of working drivers should be protected.

4.

Operating within the framework of the «Organizing Globally» strategy, the section of ITF railway workers paid special attention to the organizational work in transnational transport corporations in creating intersectoral trade union networks. As a facility for strategic work, the section chose Deutsche Bahn. This is one of the largest players in the railway industry, which expands its activities to other countries, regions and sectors of the economy, including with the help of DB Schenker and logistics.

The section held a number of intersectional trade union activities at Deutsche Bahn, in which the unions of road transport workers expressed their willingness to participate. In 2009, the representatives of the trade unions *Transnet* (Germany) and *FNV Bondgenoten* (Netherlands) decided to start the creation of a trade union network. The working group met for the first time in March, and in October in Brussels there was a meeting on organizing in the company *Deutsche Bahn Rail* [4].

The problems solved by the section with the help of the trade union network are multifaceted and complex. *Railion*, the cargo department of Deutsche Bahn Logistics AG, implements its ambitious international plans and

proposes to take on comprehensive supplies and ensure non-stop border crossings, is ready to carry out structural changes and establish a system of train drivers that ignore national borders. Transport unions opposed this.

The cooperation of the ITF's rail and road transport sections within the joint committee led to the establishment of a trade-union information network in transnational public transport companies, including FirstGroup, National Express, Veolia Transdev.

In 2006, the network comprised 180 members from 65 organizations in 35 countries and was used to exchange information on working conditions, company style of work, trade union reviews, etc., and to mobilize international solidarity forces in the event of labor disputes. In July, the ITF network supported Teamsters and SEIU, which lobbied for the annual meeting of FirstGroup shareholders held in Aberdeen. At the congress in Durban, a coalition of trade union groups, which the network united, made a statement regarding FirstGroup, urging the company to build a lasting and productive partnership with the union [2].

In 2007, the network focused on the company FirstGroup in connection with its anti-union activities in the United States. The strategic meeting that took place at the beginning of the year in London was also attended by SEIU, Teamsters (USA), Transport and General Workers' Union, RMT (UK), SIPTU (Ireland), FNV Bondgenoten (Netherlands) and Transnet (Germany). It was decided to create an ITF solidarity network in FirstGroup to further improve the exchange of information. Coordination between the British and American unions in the fight against FirstGroup was successful. American unions were able to attract more than 3000 bus drivers who previously had no voice in their workplaces and, through joint international action, were able to increase pressure on the company, which was forced to significantly change its anti-union behavior [8].

In 2008, more than 190 activists from 85 trade unions from 43 countries were members of the ITF network for transnational corporations of urban transport. Its activities were characterized by the fact that representatives of trade unions from the UK, the Netherlands, Spain and the US first met together to discuss coordination with the National Express Group. Eventually the latter found that the drivers of intercity buses and the Eurolines network mainly work for third companies, and agreed to consider the possibility of involving them in the trade unions and organizing through the ITF [4].

In May 2009, the second strategic meeting on the company National Express took place in Madrid. The actions of the corporation and its subsidiaries in the UK, Spain and the United States, as well as the company Eurolines were discussed and the issue of establishing a trade union network was raised. It was agreed that a dialogue with the company at the highest level would be held through the ITF and that European colleagues should support organizational work in the United States, where an anti-union atmosphere emerged [4].

In 2012, over 230 activists from 106 trade unions in 55 countries became members of the ITF information network for transnational companies of urban transport.

It continued to monitor the activities of TNC of passenger transport and mobilize forces of global solidarity when labor disputes arise in companies [7].

In May 2012, an international trade union delegation consisting of network representatives attended the annual meeting of shareholders of the National Express Group in London. Based on the data of the joint research of the trade unions Teamsters and Unite, the delegation protested against violations of workers' rights in North America. On the same day, in the ETF, the European branch of the ITF, the city public transport committee adopted a declaration in support of the campaign of Teamsters and Unite unions for recognition of the union and respect for all employees of the National Express.

Conclusion.

It is not hard to see from the above facts that the problem of social dumping used by TNC remains one of the most acute in the context of globalization. It is mainly expressed in the refusal of employers and business representatives to fully fulfill their social obligations, which are enshrined in the ILO conventions and national labor legislation, in violation of the labor rights of employees. The ITF's experience of organizing work in transnational transport corporations to create intersectional trade union networks, to combat social dumping is only a part of the social efforts that the «evil» phenomenon, acquired in the confrontation of labor and capital, deserves.

REFERENCES

1. 43rd Congress of the ITF, Sofia 2014 [43-j Kongress MFT, Sofija 2014]. [Electronic resource]: www.itfcongress2014.org. Last accessed 15.05.2017.
2. Executive Committee of the ITF. London, 26–27 April 2007. Secretariat Report 2006 [Ispolnitel'nyj Komitet MFT. London, 26–27 aprilja 2007 g. Otchet Sekretariata za 2006 g.]. [Electronic resource]: www.Itfglobal.org. Last accessed 15.05.2017.
3. The ITF Executive Committee. London, 23–24 April 2009 Secretariat Report 2008 [Ispolnitel'nyj Komitet MFT. London, 23–24 aprilja 2009 g. Otchet Sekretariata za 2008 g.]. [Electronic resource]: www.Itfglobal.org. Last accessed 15.05.2017.
4. The ITF Executive Board. London, 22–23 April 2010. Secretariat Report 2009 [Ispolnitel'nyj Komitet MFT. London, 22–23 aprilja 2010 g. Otchet Sekretariata za 2009 g.]. [Electronic resource]: www.Itfglobal.org. Last accessed 15.05.2017.
5. Report [Otchet]. [Electronic resource]: www.itfglobal.org/files/sealsodocs/36752/JohnLoganReport.pdf. Last accessed 15.05.2017.
6. Learn about the campaign against DHL Turkey [Uznat' o kampanii protiv DHL Turkey]. [Electronic resource]: www.itfglobal.org/campaigns/respectatDHLturkey.cfm. Last accessed 15.05.2017.
7. ITF Annual Report 2012 [Godovoj otchet MFT 2012]. [Electronic resource]: www.Itfglobal.org. Last accessed 15.05.2017.
8. The ITF Executive Board. London, 24–25 April 2008. Secretariat report 2007 [Ispolnitel'nyj Komitet MFT. London, 24–25 aprilja 2008 g. Otchet Sekretariata za 2007 g.]. [Electronic resource]: www.Itfglobal.org. Last accessed 15.05.2017. ●

Information about the authors:

Zubkov, Sergey A. – D.Sc. (Philosophy), professor at the department of Political Science, History and Social Technologies of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, +7(495) 655–5434.

Krainov, Grigory N. – D.Sc. (History), professor at the department of Political Science, History and Social Technologies of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, krainovgn@mail.ru.

Article received 14.05.2017, accepted 28.07.2017.





РУТ – SNCF

Делегация Высшей школы руководителей кадров инфраструктуры (ЕССИ) Национальной компании французских железных дорог (SNCF) во главе с новым директором ЕССИ господином Франсисом Беллингом посетила Российский университет транспорта.

Начиная с 2011 года, РУТ (МИИТ) и ЕССИ проводят международные обмены, в которых принимают участие с российской стороны: преподаватели и сотрудники академий и институтов университета, а также представители ОАО «РЖД»; с французской стороны – работники компании SNCF, слушатели курсов повышения квалификации ЕССИ.

Объединённая делегация университета и ОАО «РЖД» посетила Францию в июне этого года.

Слушатели ЕССИ ознакомились с лабораториями и кафедрами Института управления и информационных технологий, Института транспортной техники и систем управления, Института путей, строительства и сооружений.

Слушатели из Франции в сопровождении преподавателей РУТ посетили ОАО «РЖД», где сотрудники Центральной дирекции по ремонту пути, также принимавшие участие в обмене, организовали технический визит на «окно» – перерыв в движении поездов, в течение которого проводятся ремонтно-строительные и монтажные работы на железной дороге.

Слушатели ЕССИ также посетили экспериментальное кольцо ВНИИЖТ и пост электрической централизации станции Одинцово. Два дня группа слушателей из Франции провела в Санкт-Петербурге. Были организованы технические визиты в Единый дорожный центр управления (ЕДЦУ), осмотр рельсосварочного поезда и вагона-дефектоскопа «Авикон-03».

По окончании стажировки слушатели ЕССИ получили соответствующие сертификаты, было принято решение продолжить организацию стажировок для сотрудников РУТ, ОАО «РЖД» и SNCF.

По материалам РУТ ●

RUT – SNCF

Delegation of the Ecole Supérieure des cadres de l'infrastructure (ЕССИ [High School of Infrastructure Staff]) of the National Company of French Railways (Société Nationale des Chemins de Fer Français) headed by new ЕССИ director Francis Belling visited Russian University of Transport.

Russian University of Transport (MIIT) and ЕССИ have continued exchange visits since 2011, since then professors and staff of academies and institutes of the university, staff of the JSC Russian Railways and SNCF, trainees of the ЕССИ have participated in those visits.

Earlier this year, in June 2017 the delegation of RUT and Russian Railways visited France.

While visiting RUT trainees of ЕССИ got acquainted with laboratories and departments of the Institute of management and information technology, Institute of transport vehicles and control systems, Institute of track, construction and structures.

Trainees from France together with RUT professors visited Russian Railways facilities, where employees of the Central directorate of track maintenance, who were also participants to the exchange program, organized technical visit to see the particularities of organization of work during maintenance work slot.

ЕССИ trainees also visited experimental circle railroad of the Russian railway research institute and electrical centralization control point of Odintsovo station. The trainees' group also spent two days in St. Petersburg where they visited Integrated traffic control centre, got acquainted with rail-welding train and detector-car Avikon-03.

ЕССИ trainees were awarded certificates at the end of the training, it was decided to continue similar trainings of RUT, Russian Railways and SNCF employees.

Russian University of Transport news ●

T

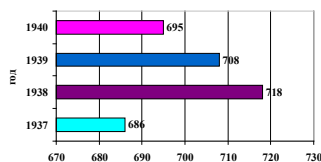
РЕТРОСПЕКТИВА 228

Горы и локомотивы.



ВТОРАЯ МИРОВАЯ 246

Логистика грузового фронта.



ПРЕСС-АРХИВ 258

180 лет российским железным дорогам.

RETROSPECTIVE VIEW 228

Mountains and locomotives.

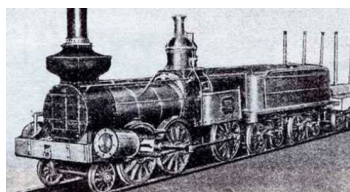
SECOND WORLD WAR 246

Logistics of loading complex.



NEWS FROM THE ARCHIVES 258

180th anniversary of Russian railways.



КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL





Зубчатая железная дорога – путь на вершину



Татьяна ТИХОНОВА

Tatyana Yu. TIKHONOVA

Rack Railway – a Way to the Top

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 239)

Сегодня по всему миру насчитывается больше 160 зубчатых железных дорог. Постоянно (зимой и летом) из них действует порядка 60. Половина всех постоянно действующих дорог приходится на Швейцарию, где, как известно, больше 61 % территории занимают горы. Зубчатая железная дорога – это особый вид дороги с крутым уклоном, она имеет зубчатые зацепления, обычно располагающиеся между путевыми рельсами. Статья довольно подробно рассказывает об истории их создания, строительства и эксплуатации. В настоящее время их используют как способ перемещения по туристическим маршрутам в гористой местности или как городской пассажирский транспорт (например, в Будапеште, Цюрихе, Штутгарте). На территории РФ зубчатые железные дороги отсутствуют, хотя у нас тоже много горных мест (~ 33 %). И как справедливо отмечает автор – зубчатые железные дороги могли бы способствовать их освоению и организации там полезных регионам видов деятельности.

Ключевые слова: горный рельеф, туризм, зубчатая железная дорога, история, зубчатые зацепления, механизм поворота, пружинный амортизатор, системы Бленкинсопа, Абта, Марша, Риггенбаха, Струба, Моргана, Лохера, Ламелла.

Тихонова Татьяна Юрьевна – кандидат философских наук, доцент кафедры сервиса и туризма Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

С самого начала своего становления человек активно осваивал земную поверхность и её недра, использовал различные формы рельефа для обеспечения безопасности и защиты, заселял горы и равнины. Более простыми для освоения были равнинные территории. Но горные формы рельефа предоставляли человеку естественное убежище. На невысоких вершинах гор стали строиться замки и крепости, церкви и монастыри. Такое положение решало стратегическую задачу защиты от нападений врагов, а для монастырей обеспечивало уединённость. В дальнейшем в подобных местах развивались города.

В процессе исторического развития многие государства оказались на территориях, имеющих исключительно горный рельеф. На горных склонах разбивались сельскохозяйственные угодья. С развитием медицины и курортного дела в горных местностях стали располагаться лечебницы и санатории.

Со временем многие объекты утратили своё политическое и военное значение и стали музеями. Кроме того, появление оплачиваемых отпусков, технический и социальный прогресс, увеличивший количе-



ство свободного времени, мода на путешествия, развитие средств транспорта стимулировали массовый туризм. Природные и культурные достопримечательности становились объектами туристского интереса стихийно, либо при грамотной политике местных властей. Многие из этих объектов находились в местах со сложным рельефом, труднодоступным для человека, либо в местах с особой экологией, где требовались особые виды транспорта.

Вопрос доступности таких достопримечательностей решил железнодорожный транспорт, но тоже не обычный, а особенный. Обычные железнодорожные поезда не могут преодолевать крутые подъёмы. Для этого были созданы особые виды железнодорожного транспорта – зубчатые железные дороги и фуникулёры. Они же стали помощниками человека под землёй.

Составы зубчатой железной дороги снабжены специальными зубчатыми колёсами. Такие железные дороги распространены по всему миру и сегодня являются уже не только средством доставки туристов, но и популярной технической достопримечательностью. Есть такие дороги в Австрии, Бразилии, Германии, Греции, Швейцарии и других странах. Локомотив зубчатой железной дороги соединяется своим зубчатым колесом с шестерней третьего рельса и только поэтому не скатывается назад. Фуникулёр работает иначе. Тремя отличительными чертами фуникулёра являются: наличие направляющих (в частности рельсового пути), канатной тяги и обязательно реверсивного циклического движения. То есть фуникулёр – это рельсовая дорога циклического действия с ка-

натной тягой для перемещения пассажиров и грузов по крутому подъёму (спуску). Более подробно роль фуникулёров в туризме уже была исследована автором ранее [1].

Зубчатая железная дорога – это дорога с крутым уклоном, имеющая зубчатые зацепления, обычно располагающиеся между путевыми рельсами. Для передвижения поездов используется одно или несколько зубчатых колёс, больших или малых размеров. Данная система позволяет поездам курсировать на тех железных дорогах, где уклон больше 7–10 %, что является максимумом для поездов, работающих на трении между колёсами и рельсами. Большинство зубчатых железных дорог пролегают в горной местности, хотя существуют несколько транзитных железных дорог и трамвайных линий, спроектированных для преодоления крутого уклона в условиях городской среды. К таким объектам, превращённым в трамвайные линии, относится, к примеру, железная дорога «Пёстлингберг» (Pöstlingberg) в Линце (Австрия).

На протяжении уже сотни лет железная дорога «Пёстлингберг» сочетает в себе средство доставки туристов со всего мира на одноимённую гору и способ осуществления путешествия по живописному пути. Железная дорога была проложена по старому паломническому пути к церкви, которая стоит на самой вершине горы. После проведённой реконструкции она была легко интегрирована в общественную транспортную сеть «Линц АГ Линиен» (Linz AG Linien) и сейчас доходит до Главной площади города. Ширина колеи была сокращена с 1000 до 900 мм. За 20 минут поезд проходит весь маршрут железной





дороги «Пёстлингберг», длина которой составляет 4,14 км, а уровень подъёма — 255 метров. На линии используются новые комфортные низкопольные вагоны, а для любителей аутентичной атмосферы предлагаются экскурсии в реконструированных старых вагонах. Зубчатая железная дорога обеспечивает доступность паломнической церкви Вальфартскирхе (Wallfahrtskirche), смотровой площадки с великолепным видом на Линц, городского зоопарка, а также железной дороги «Гроттенбан» (Grottenbahn) с её сказочным миром и царством гномов.

Существует несколько различных типов зубчатых рельсов. Сегодня на большинстве зубчатых железных дорог используется система Абта. Этому решению предшествовал долгий путь создания и апробации различных конструкций. История строительства и использования зубчатых железных дорог как средства обеспечения доступности мест туристского внимания неотделима от инженерных разработок конструкций для неё. Подобная дорога сама по себе явление, вызывающее туристский интерес. Она совмещает в себе функции средства транспорта и памятника индустриального наследия человечества.

Пионером создания зубчатых железных дорог в Европе был англичанин Джон Бленкинсоп (см. фото на этой полосе). Несмотря на очевидность актуальности зубчатого колеса при подъёме на высоту, первая зубчатая железная дорога появилась

на равнине. Мидлтонская железная дорога, соединяющая пригород Мидлтон с городом Лидс, что находятся на западе Йоркшира (Англия), стала «пионером» этого вида транспорта. Дорога работала на основе системы зубчатых зацеплений и зубчатых колёс, разработанной и запатентованной Джоном Бленкинсопом в 1811 году.

Бленкинсоп полагал, что трения, возникающего при движении стальных колёс по стальным рельсам, будет недостаточно. Поэтому в 1812 году для Мидлтонской железной дороги были построены локомотивы с 20 зубчатыми колёсами (диаметром 914 мм) на левой стороне, которые входили в зацепление с зубчатыми рельсами (два зуба на 304 мм), располагающимися на внешней стороне рельса. Чугунные рельсы без подошвы с их боковыми зубьями соединялись в один кусок длиной 914 мм. Для зубчатой дороги Бленкинсопа был создан паровоз особой системы, который Ангус Синклер включил в список «Чудачества и курьёзы в устройстве локомотивов» [2].

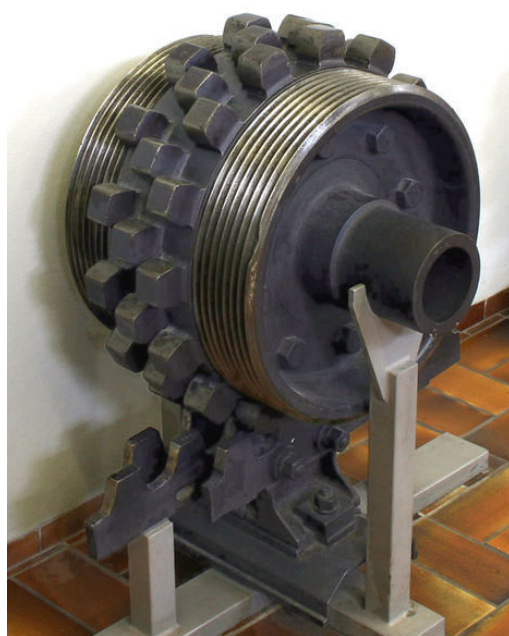
Первым локомотивом, использовавшим запатентованную конструкцию Бленкинсопа и первым коммерчески успешным паровозом, прошедшим по этой дороге, стал паровоз Саламанка, построенный в 1812 году Мэттью Мюрреем из Голбека. Паровоз был назван в честь победы герцога Веллингтона в битве при Саламанке, состоявшейся в том же году. Будучи героем своего времени, он даже запечатлён на акварели Джорджа Уолкера «Шахтёр» (1813). Считается, что это первое изображение паровоза [3]. Всего было построено четыре таких локомотива. Шесть лет спустя после запуска первенец был разрушен из-за взрыва котла. По словам «отца железных дорог» Джорджа Стефенсона, свидетелевавшего в парламентском комитете, авария произошла из-за преступных действий машиниста, вмешавшегося в работу предохранительного клапана котла [4].

Системой Бленкинсопа на Мидлтонской железной дороге пользовались ещё 25 лет, но она не получила широкого распространения, так как более эффективной для равнинных железных дорог стала всё-таки система трения.

Первой в мире зубчатой горной железной дорогой в Новом свете была «Маунт Вашингтон» (Mount Washington), постро-

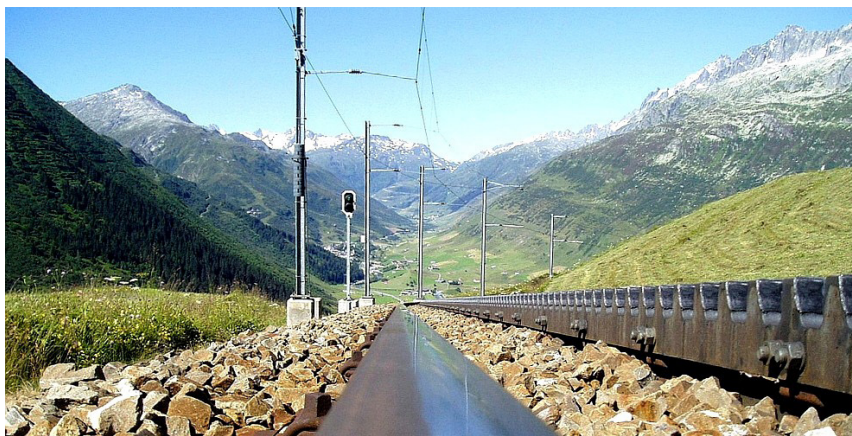
енная Сильвестром Маршем (США). Уроженец Кемптона, Марш сделал своё состояние в Чикаго на упаковке мяса. Однажды Сильвестр поднялся на гору Вашингтон в Нью-Гемпшире, где попал в сильную бурю, которая заставила его провести ночь на склоне горы [4]. Этот почти фатальный опыт побудил его изобрести систему, с помощью которой поезд мог бы безопасно доставлять пассажиров на вершину.

В 1858 году он обратился в Законодательное собрание штата Нью-Гэмпшир за разрешением построить паровую железную дорогу на горе Вашингтон. Ему нужна была государственная лицензия для приобретения трехмильного пути до горы по выдающейся области. План Марша объявили безумным, поскольку он предлагал сделать невозможное. Предание донесло до нас историю о том, что законодательный орган штата проголосовал «за» на основе общего мнения. Поскольку вред, причинённый в результате постройки (в случае неудачи) — не будет проблемой, а в случае успеха — выгоды будут гарантированы. Тем более что Марш собирался использовать личные средства. Первоначально это было 5 000 долларов, но сумма, очевидно, могла увеличиться. Все эти деньги вкладывались в развитие местного сообщества, в том числе и в строительство отеля «Фабьян Хаус» (Fabyan House) на близлежащем вокзале для размещения ожидаемых туристов. Проект Марша назвали в шутку «Железная дорога на Луну», потому что во время прений один законодатель штата заметил, что Маршу следует дать разрешение на строительство не только на



гору Вашингтон, но и на Луну. Марш получил разрешение на строительство дороги 25 июня 1858 года, но из-за гражданской войны работы пришлось отложить до мая 1866 года. Он разработал прототип локомотива и короткую демонстрационную часть трека, нашёл инвесторов и начал строительство. В 1861 году автору проекта был выдан патент Соединённых Штатов Америки на создание зубчатых железных дорог, а в январе 1867 года — на постройку зубчатой дороги на гору Вашингтон [5].

Первое публичное испытание было проведено 29 августа 1866 года, когда проложили лишь 402 метра пути. Зубчатые колёса Марша обладали глубокими зубья-





ми, которые гарантировали, что, по крайней мере, два зуба всегда будут в зацеплении с железной дорогой; такая мера безопасности сокращала вероятность того, что поезд сойдёт с рельсов.

14 августа 1868 года, несмотря на то, что дорога ещё была не достроена, она приняла первых платных пассажиров. Строительство достигло вершины горы только через год, в июле 1869 года. В августе месяце президент США Улисс С. Грант посетил Новую Англию, спасаясь от жары. Во время своего тура он поднялся по железной дороге Марша на вершину горы Вашингтон.

Сегодня зубчатая железная дорога «Маунт Вашингтон» является единственной в своём роде на востоке Скалистых гор и единственным транспортом, позволяющим подняться на вершину горы Вашингтон — самую высокую точку в Новой Англии. Железная дорога составляет приблизительно 4,8 км в длину и поднимается на вершину горы высотой 1917 метров. Для перевозки туристов используются ретропоезда с паровозами или экологически безвредные поезда с локомотивами, которые работают на биодизеле. Поезд поднимается на гору со скоростью 4,5 км/ч и опускается со скоростью 7,4 км/ч. В зависимости от мощности локомотива требуется приблизительно 37–65 минут, чтобы

подняться, и 40 минут, чтобы спуститься к подножию горы [6].

Около часа туристы находятся на вершине высотой 1917 м, откуда открывается захватывающий панорамный вид на горы и долины Нью-Гемпшира, Мэна и Вермонта, простирающиеся на север к Канаде и на восток к Атлантическому океану. Здесь находится демонстрационный центр Шермана Адамса, музей погоды обсерватории горы Вашингтон и отель Тип Топ Хаус (Tip Top House), построенный ещё в 1853 году. В память о посещении можно отправить письмо с местным почтовым штемпелем и сфотографироваться на фоне знака вершины.

На станции Маршфилд туристу предлагают познакомиться с историей и музейным собранием зубчатой железной дороги, одним из главных экспонатов которой является локомотив-первопроходец «Олд Пепперсасс» (Old Peppersass), а также изучить особенности удивительной погоды и экосистемы горы Вашингтон [5].

В Европе первая горная зубчатая дорога под названием «Витцнау-Риги Бан» (Vitznau-Rigi Bahn) была проложена по системе Риггенбаха на горе Риги (высота 1550 м) в Швейцарии в 1871 году. На двух путях, построенных в то время, до сих пор курсируют поезда.

Никлаус Риггенбах, работавший в то же время, что и Марш, тоже занимался разра-

боткой подобной дороги. И ему в 1863 году был выдан французский патент за рабочую модель, которую он использовал, чтобы заинтересовать потенциальных швейцарских инвесторов. Швейцарский консул в Соединённых Штатах Америки посетил зубчатую железную дорогу Марша и восторженно отапортовал о ней своему правительству. Намереваясь придать импульс развитию туризма в Швейцарии, правительство поручило Риггенбаху возвести такую дорогу на горе Риги. В карьере возле Берна были построены прототип поезда и испытательный путь. 21 мая 1870 года, в свой день рождения, Риггенбах лично впервые проехал на локомотиве № 1, названным Штадт Люцерн, до верхнего конечного пункта Риги Штаффельхоэ. Путь от Витцнау до Риги Штаффельхоэ составляет 5 км и поднимается в общей сложности на 1115 м. 22 мая 1871 года, ровно через двенадцать месяцев, дорога была официально открыта [7].

По своей конструкции система Риггенбаха схожа с системой Марша. Она использует ступенчатую зубчатую рейку, сделанную из стальных листов и соединённых круговыми или квадратными брусками, проложенными на одинаковом интервале. Недостатком системы Риггенбаха является сложность и дороговизна создания зубчатой рейки.

Помня об успехе железной дороги «Витцнау-Риги Бан», Риггенбах основал компанию «Машиностроительный завод Международного общества горных железных дорог», которая производила локомотивы зубчатых железных дорог по его чертежам.

Дорога Риггенбаха стала основой для создания целой транспортной системы. Сегодня «Риги Банен» (Rigi Bahnen) – это группа железных дорог на горе Риги, расположенная между двумя рукавами озера Люцерн. Она включает в себя две зубчатые железные дороги «Витцнау-Риги Бан» и «Арт-Риги Бан», а также одну крупную и шесть небольших канатных дорог. «Витцнау-Риги Бан» является самой высокой стандартной железнодорожной колеёй в Европе, она известна как первая горная железная дорога в Европе и вторая в мире, после железной дороги Маунт Вашингтон.

Высочайшей зубчатой железной дорогой Швейцарии стала «Юнгфраубан» (Jungfraubahn). Она была построена на основе зубчатой системы Струба. Существовало много планов по постройке дороги в этой местности, но все они терпели неудачу, пока в 1896 году судьба не свела Эмиля Струба и Адольфа Гайер-Целлера. В 1891 году Струб был назначен инспектором Бернской железной дороги, а в 1894 году предприниматель Адольф Гайер-Целлер





взял в концессию участок для строительства зубчатой железной дороги, который начинался с железнодорожной станции Кляйне-Шайдег в Венгене, с длинным туннелем через Эйгер и Мёнх до вершины Юнгфрау.

В феврале 1896 года Гайер-Целлер выделит научному комитету, назначенному для подготовки проекта, 30 000 франков на премии за лучшие решения ряда вопросов по строительству и эксплуатации дороги «Юнгфраубан». Струб получил первый приз в размере 5000 франков за предложенную им систему, которая оказалась блестящей и вошла в историю как система Струба [8].

Она использует прокатанный с плоским основанием рельс с зубьями железной дороги, вмонтированными в головку рельса на расстоянии друг от друга примерно в 100 мм. Предохранительные скобы, вмонтированные в поезд, взаимодействуют с нижней частью головки, что предотвращает соскальзывание поезда. Американский патент Струба, выданный в 1898 году, также включал в себя детали того, как зубчатый рельс взаимодействует с механизмом поворота.

С 1896 по 1898 год Струб являлся директором железной дороги «Юнгфраубан». Строительство шло, как сказали бы в советское время, ударными темпами. В 1898 году «Юнгфраубан» была открыта до железнодорожной станции «Эйгерглетчер», у подножия Эйгера. К сожалению, строи-

тельство дороги не обошлось без трагедии. Часть железнодорожного пути должна была пролегать в туннелях. В 1899 году начались взрывные работы, и шесть рабочих погибли во время ЧП. Это спровоцировало четырёхмесячную забастовку. 3 апреля в Цюрихе от сердечного приступа умирает Адольф Гайер-Целлер, но, несмотря на это, строительство продолжается, и 2 августа открывается следующий участок дороги от станции «Эйгерглетчер» до станции «Ротшток».

Это было началом славной истории. Железная дорога «Юнгфраубан» подобно своей предшественнице «Витцнау-Риги Бан» стала осевым каркасом, который позволил освоить труднодоступный район. Сегодня «Юнгфраубан Групп» (Jungfraubahn-Gruppe) является крупнейшей горной железнодорожной компанией и ведущей туристической компанией в Швейцарии. Она предлагает своим клиентам удивительное приключение в горах и на поезде. Главное предложение — путешествие к перевалу Юнгфрауйох на высоту 3471 м. «Юнгфраубан Групп» также управляет собственной гидроэлектростанцией и продаёт полные турпакеты на своём веб-сайте в сотрудничестве с компаниями-партнёрами. До конца 2019 года запланирована постепенная интеграция в группу ряда предприятий общественного питания, чтобы полностью обеспечивать клиентов услугами своими силами.

Историю разработки механизмов для зубчатых железных дорог продолжил Е. К. Морган из Чикаго. В 1900 году он получил патент на железнодорожную систему, которая по конструкции напоминала систему Риггенбаха, но зубчатый рельс здесь также использовался для подпитки энергией локомотива с электрической передачей. До этого Е. К. Морган занимался разработкой более тяжёлых локомотивов и вместе с Дж. Х. Морганом разрабатывал механизм поворота. В 1904 году он запатентовал упрощённый, но при этом комплексный зубчатый рельс, на котором зубья колёс поезда входили в зацепление с квадратными отверстиями, проделанными в центральном рельсе, построенном в форме бруска. Дж. Х. Морган предложил несколько альтернативных механизмов поворота для этой системы. Примечательно, что он намеревался сместить зубчатый рельс, чтобы пешеходы и животные могли проходить вдоль путей.

Зубчатая железная дорога Моргана могла быть использована на путях с наклоном до 16 %. Фирма «Гудман Эквипмент Компани» (The Goodman Equipment Company) начала продавать систему Моргана горнодобывающим компаниям, и она пользовалась большим спросом, особенно там, где крутой уклон встречался под землёй. К 1907 году компания «Гудман» основала офисы в Кардиффе (Уэльс), чтобы выйти на британский рынок.

В 1903 году компания «МакКелл Коул энд Коук Компани» (McKell Coal & Coke Company) использовала в своих шахтах в Западной Вирджинии сеть железных дорог системы Моргана длиной в 10700 м. В 1905 году для компании «Маммот Вейн Коул Компани» (Mammoth Vein Coal Company) проложили 2500 м железнодорожного пути по системе Моргана в две шахты в Еверисте (штат Айова), где максимальный наклон достигал 16 %. Компания «Донохой Коук Компани» (Donohoe Coke Co) в Гринвальде, штат Пенсильвания, в 1906 году имела сеть железных дорог длиной 3050 м. Система Моргана ограниченно эксплуатировалась на железной дороге «Чикаго Таннек Компани» (Chicago Tunnek Company), кото-



рая имела один крутой участок до распределительной станции, находившийся в прибрежной полосе озера Чикаго.

Дороги по системе Моргана (в отличие от своих предшественников) в основном были проложены под землёй. Они нашли своё применение в угледобывающей промышленности и грузоперевозках.

Ещё одна система была разработана Романом Абтом, швейцарским инженером-паровозостроителем. Когда-то Абт работал на Никлауса Риггенбаха, но в 1885 году он решил основать свою строительную компанию. В это же время, так получилось, он продолжил заниматься улучшением системы зубчатой железной дороги, которая могла исправить недостатки системы Риггенбаха.

Строительство и обслуживание зубчатой железной дороги Риггенбаха обходилось слишком дорого и там была слишком сложная система стрелочных переводов. В 1882 году Абт разработал новую зубчатую железную дорогу, использующую массивные рейки с встроенными в них вертикальными зубьями. Две или три рейки устанавливались посередине между рельсами с расположенными под углом зубьями. Применение нескольких одинаковых реек





со встроенными зубьями под углом гарантивало, что зубья колёс поезда постоянно находятся в зацеплении с рельсами. Строительство железной дороги по системе Абта обошлось дешевле, так как на заданном пути ставились зубчатые рельсы меньшего веса. Но сопротивляемость износу у системы Риггенбаха была гораздо выше, чем у системы Абта.

Роман Абт создал ещё и систему плавного перехода с трения на сцепление, используя секцию зубчатого рельса с пружинным амортизатором для того, чтобы зубья колёс постепенно входили в зацепление с рельсом.

Первый раз система Абта была применена на железной дороге «Харцбан» (Harzbahn) в Германии, которую открыли в 1885 году.

Одной из особенностей системы Абта стало то, что зубчатые колёса можно устанавливать, как на той же оси, что и рельсовые колёса, так и отдельно. Паровозы Тасманской горнодобывающей компании «Маунт Лайел Майнинг энд Рейлвей» (Mount Lyell Mining and Railway Company) имели отдельно расположенные цилиндры, которые приводили в движение зубчатые колёса. Такое же расположение имели и локомотивы X класса «Горной железной дороги Нилгири» (Nilgiri Mountain Railway) в Индии, являющейся сегодня в комплексе с «Дарджилингской гималайской железной дорогой» (Darjeeling Himalayan Railway) памятником всемирно-

го наследия человечества (входит в список ЮНЕСКО).

Среди самых известных и популярных сегодня железных дорог, использующих систему Абта, числится «Кремалльера де Монсеррат» (Cremallera de Montserrat), горная железнодорожная линия на севере Барселоны (Каталония, Испания). Эта линия проходит от муниципалитета Монистроль-де-Монсеррат до монастыря Монсеррат, который находится на одноимённой горе.

Длина железной дороги составляет 5 км, а ширина колеи 1000 мм. На первом километре пути, между Монистроль и единственной промежуточной станцией «Монистроль Вила», используется обычная система адгезии. Оставшаяся часть маршрута представляет собой зубчатую железную дорогу системы Абта, которая позволяет преодолеть данный путь, высота которого достигает 550 м с максимальным уклоном на 15,6 %. Электроснабжение линии осуществляется посредством контактной сети 1500 вольт постоянного тока. Эта дорога обслуживается железнодорожным оператором «Феррокаррилс де ла Женералитат де Каталунья» (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya FGC).

Маршрут железной дороги открылся в 1892 году. И только в 1930-м была проложена подвесная канатная дорога. Помимо этого, до монастыря желающие могли добраться и по старинке — по узкой пешей дороге. Железная дорога к тому времени стала отличаться низкими финансовыми показателями и большим количеством происшествий. Поэтому после долгих обсуждений 12 мая 1957 года принято решение о её закрытии.

Тем не менее через некоторое время оказалось, что подвесная и пешая дороги не могут обслужить весь поток желающих попасть в монастырь. И опять после многих лет обсуждения и планирования в 2001 году была разработана программа перестройки зубчатой железной дороги, а уже 6 июня 2003 года она предстала перед пассажирами в современном виде. За первые 12 месяцев «Монсеррат» обслужила 462964 человека.

Пик посещаемости пришёлся на август 2003-го, когда дорогой воспользовались

63692 пассажира, наименьшую загрузку показал февраль 2004-го, на который пришлось 22996 пассажиров.

Самой значительной работой на всём пути было строительство моста «Понт дель Центенари» (Pont del Centenari) через реку Льобрегат. Длина его составляет 480 м, а ширина 5 м. Мост делится на девять участков, длина которых варьируется от 35 до 55 м. Всё построено из решёток стальных труб, чтобы придать светлый вид конструкции и минимизировать зрительное воздействие на ландшафт. Мост поддерживается восемью опорными столбами, максимальная высота которых 37 м.

На железной дороге «Монсеррат» курсируют пять низкопольных электрических моторных вагонов типа «Штадлер ГТВ» (Stadler GTW), построенных компанией «Штадлер Рейл» (Stadler Rail) в Швейцарии. Они пронумерованы как AM1-AM5 и названы в честь местных вершин. Эти вагоны могут одновременно двигаться за счёт трения рельс и колёс, а также за счёт вхождения в зацепления с зубчатой частью железной дороги. Каждый вмещает 200 пассажиров. В вагонах есть кондиционеры, а панорамные окна открывают чудесный вид на окружающую природу. Поезда движутся со скоростью 30 км/ч на зубчатом участке дороги и со скоростью 45 км/ч на стандартной части пути. Помимо прочего на железной дороге используется электровоз E4 1930 года выпуска, перевезённый с зубчатой железной дороги «Валл де Нурия» (Vall de Nuriá) для строительно-монтажных работ.

«Кремалльера де Монсеррат» соединена с железнодорожной линией «Льобрегат-Анойа» (Liobregat-Anoia), которая начинается от станции «Площадь Испании» (Barcelona Pla a d'España) и доходит до муниципалитета Манреса. Для удобства от «Монистроль-де-Монсеррат» проложена специальная ветка, которая позволяет вагонам зубчатой железной дороги курсировать из депо, находящегося рядом с муниципалитетом Марторелл, к станции и возвращаться обратно. На промежуточной станции «Монистроль Вила» находится парковка для посадки тех, кто приехал на машине.

Также курсируют два фуникулёра железнодорожного оператора FGC. Фунику-



лёр «Сан Хуан» (De Sant Joan) поднимает пассажиров на вершину горы, а «Ди Санта Кова» (De Santa Cova) спускает их с вершины вниз к монастырю [9].

В 1880-е годы, поистине «осевую эпоху»¹ для зубчатых железнодорожных систем, швейцарский инженер Эдуард Лохер изобрёл свою систему, в которой зубья находились на сторонах рельса, а не на его вершине, и приводились в движение зацеплением двумя зубчатыми колёсами поезда. В отличие от других систем, где зубья могут выскочить из зубчатого рельса, эта позволяла прокладывать дороги в местностях с особо крутым уклоном.

Э. Лохер работал над созданием системы, которую можно было бы использовать в местности, где уклон достигает 50 %. Система Абта (наиболее часто используемая в Швейцарии) может работать с уклонами до 25 %. Лохер показал, что на территории с очень крутым уклоном система Абта предрасположена к перекашиванию зубчатых колёс, что может привести к схождению с рельсов поезда, как и предсказывал сам Р. Абт. Чтобы решить эту проблему и проложить дорогу в крутых окрестностях Пилатуса (Швейцария), Э. Лохер разработал зубчатую железную дорогу, где зубчатая рейка — это плоский металлический стержень с симметричными горизонтальными зубьями. Горизонтальные зубчатые колёса входили в зацепление с металлическим стержнем, находящимся посередине, что приводило в движение поезд и не давало ему отклониться от центра дороги [10].

¹ Термин, введённый К. Ясперсом.



Эта система обеспечивает сверхстабильную привязку поезда к железной дороге, кроме того защищает вагон от опрокидывания при сильных поперечных ветрах. Применённые приспособления делают вагон устойчивым, поэтому даже реборды на колёсах необязательны. Самый большой недостаток системы — ей не подходят стандартные железнодорожные стрелки и нужно использовать приспособления для перемещения в поперечном направлении или другие сложные приборы там, где нужно перейти на другую ветвь пути. После завершения испытаний в 1889 году по проекту Лохера была построена самая крутая зубчатая железная дорога «Пилатус Бан» (Pilatus-Bahn). Ни одна другая железная дорога общего пользования не взяла на вооружение систему Лохера, хотя некоторые европейские угольные шахты используют похожую систему на путях с крутым уклоном под землёй [11].

Система Ламелла (также известная как система Фон Ролл) была разработана компанией «Фон Ролл» (Von Roll) после того, как цельнокатаные стальные рельсы, используемые в системе Струба, стали недоступны. Она состоит из одной металлической полоски, порезанной, как в системе Абта. Но полоска здесь обычно шире, чем рейка Абта. По зубчатой железной дороге системы Ламелла могут передвигаться поезда, разработанные под системы Риггенбаха и Струба, так как предохранительные скобы, которые были элементом изначальной системы Струба, не используются. Некоторые железные дороги берут рейки разных систем, например, «Аппенцеллер Банен» (Appenzeller Bahnen) в Швейцарии имеет секции реек Риггенбаха, Струба и Ламелла. Это связано с тем, что в процессе развития дорога постепенно присоединила к себе несколько небольших железных дорог, построенных недалеко друг от друга, в том числе четыре зубчатых [12]. Большинство зубчатых железных дорог поздних годов XX века построены именно по системе Ламелла.

Зубчатые речечно-колёсные системы — уникальное достижение инженерной мысли человека. Благодаря этому изобретению были освоены труднодоступные районы на земле и под землёй. Высокие вершины смогли покорять не только люди со специальными навыками, но и обычные путешественники. Страны, где горы занимают большую территорию, например Швейцария (площадь гор составляет более 61 %), смогли сделать их доступными и развить хозяйственное использование. В России также много горных территорий ($\approx 33\%$), и зубчатые железные дороги могли бы способствовать их освоению и организации там видов деятельности, помогающих развитию местного сообщества и страны в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортное обеспечение в туризме: Монография / Под общ. ред. С. И. Гайкалова, Т. Ю. Тихоновой. — М.: МИИТ, 2012. — 211 с.
2. Singlar Angus. Development of the locomotive engine. New York: Angus Sinclar Publishing Company, 1907, pp. 482—483. [Электронный ресурс]: <http://www.archive.org/stream/cu31924003627167#page/n491/mode/2up>. Доступ 19.11.2017.
2. McCann Mick. How Leeds Changed the World: Encyclopaedia Leeds. Leeds: Armeyp Press, 2010, 227 p.
3. Nabarro Gerald. Steam Nostalgia: Locomotive and Railway Preservation in Great Britain. London: Routledge and Kegan Paul, 1972, 139 p.
4. The Heart of New England online magazine. [Электронный ресурс]: <http://www.theheartofnewengland.com/travel-History-of-Cog-Railway.html>. Доступ 19.11.2017.
5. AMC guide to Mount Washington and the presidential range / 5th ed. Appalachian Mountain Club Books. Boston, Massachusetts, 1992, pp. 181—183.
6. Mount Washington Cog Railway. [Электронный ресурс]: <http://www.thecog.com/>. Доступ 19.11.2017.
7. Cole Beverly. Trains. Potsdam, Germany: H. F. Ullmann, 2011, p. 11.
8. Mathys E. Männer der Schiene. Verlag: K mmerly & Frey, Bern, 1955.
9. Cremallera de Monserrat. [Электронный ресурс]: <http://www.cremallerademontserrat.cat/>. Доступ 19.11.2017.
10. Pilatus Luzern. [Электронный ресурс]: https://www.pilatus.ch/fileadmin/files/entdecken/bergbahnen/Zahnradbahn/1.3.1.2_Storys_Eduard-Locher-Geschichte.pdf. Доступ 19.11.2017.
11. Pilatus Luzern. [Электронный ресурс]: https://www.pilatus.ch/fileadmin/files/entdecken/bergbahnen/Zahnradbahn/1.3.1.2_Storys_01-Festschrift_Auszug_Zahnradbahn-Idee.pdf. Доступ 19.11.2017.
12. Appenzeller Bahnen. [Электронный ресурс]: http://www.appenzellerbahnen.ch/Erlebnisse/Erlebnisse_mittenAppenzellerBahnen.aspx. Доступ 19.11.2017. ●

Координаты автора: **Тихонова Т. Ю.** — umago@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.07.2017, принята к публикации 24.08.2017.

RACK RAILWAY – A WAY TO THE TOP

Tikhonova, Tatyana Yu., Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

Today there are more than 160 rack railways around the world. Constantly (in winter and summer) about 60 of them operate. Half of all permanent roads are in Switzerland, where, as is known, more than 61 % of the territory is occupied by mountains. A rack railway is a special type of railway with a steep incline, which has toothed wheel gearings, usually located between track rails. The author tells in some detail about the history of their creation, construction and operation. Currently, they are used as a means of

moving along tourist routes in mountainous terrain or as urban passenger transport (for example, in Budapest, Zurich or Stuttgart). At the same time, the Swiss rack railways are profitable. In the territory of Russia, there are no rack railways. This despite the fact that in Russia there are also many mountain territories ($\approx 33\%$). And, as the author rightly points out, rack railways could promote their development and organization of activities that contribute to the development of the local community and the country as a whole.

Keywords: mountain relief, tourism, rack railway, history, gear wheel, toothed wheel gearing, turn mechanism, spring shock absorber, Blenkinsop system, Abt system, Marsh system, Riggerbach system, Strub system, Morgan system, Locher system, Lamell system.

Background. From the very beginning, a man explored actively the surface of the earth and its resources, used various forms of relief for safety and protection, inhabited mountains and plains. Plains were easier to be developed. But mountain relief forms provided a natural shelter for a man. On the low peaks of the mountains castles and fortresses, churches and monasteries began to be built. Such a situation solved strategic problems of protection from attacks of enemies, and for monasteries also provided privacy. Later, in these places, cities developed.

In the course of historical development, many states found themselves in territories that have exceptionally mountainous terrain. Agricultural lands were created on mountain slopes. With the development of medicine and resort business in mountainous areas, hospitals and sanatoriums began to be located.

Over time, many objects lost their political and military importance and became museums. In addition, the emergence of paid vacations, technical and social progress, increased amount of free time, fashion for travel, the development of means of transport stimulated mass tourism. Natural and cultural attractions became objects of tourist interest spontaneously, or with the competent policy of local authorities. Many of these facilities were located in places with a difficult terrain, difficult to access for people, or in places with a special ecology, where special modes of transport were required.

The issue of the availability of special attractions was solved by railway transport, but also not ordinary, but special. Ordinary railway trains cannot overcome steep climbs. For this purpose, special types of railway transport have been created – rack railways and funiculars. They became also human helpers underground.

Objective. The objective of the author is to consider history of development and construction of rack railways in different countries, using different systems.

Methods. The author uses general scientific method, historical-retrospective method, comparative analysis, evaluation approach.

Results. Trains of rack railway have special gear wheels. Rack railways are spread all over the world and today are not only means of delivery of tourists, but also a popular technical attraction. There are such railways in Austria, Brazil, Germany, Greece, Switzerland and other countries. The locomotive of rack railway is connected by its gear wheel to the gear



of the third rail and only therefore does not roll back. Funicular works differently. Three distinctive features of the funicular are: presence of guides (in particular the track), cable traction and necessarily reversible cyclic movement. That is, the funicular is a railway of cyclic action with cable traction for moving passengers and cargoes along a steep rise (descent)¹. The role of funiculars in tourism has been studied in more detail by the author earlier [1].

Rack railway is a railway with a steep gradient, with toothed wheel gearings, usually located between track rails. For the movement of trains, one or more gear wheels, large or small, that engage in a rack railway, are used. This system allows trains to run on those railways, where the slope reaches an average of more than 7–10 %, which is the maximum for trains working on friction between wheels and rails. Most rack railways run in mountainous terrain, although there are several transit railways and tram lines designed to overcome steep gradients in an urban environment. Such roads turned into tram lines include the Pöstlingberg railway in Linz (Austria).

¹ Tarkhov, S. A., Myasnikov, A. G. Our funiculars. Moscow, Zheleznodorozhnoe delo publ., 2008, p. 11.





For hundreds of years, the Pöstlingberg railway has been combining means of delivering tourists from all over the world to the Pöstlingberg mountain and a way to travel along the scenic path. The railway was laid along the old pilgrim route to the church, which stands on top of the mountain Pöstlingberg. After the reconstruction, the railway was easily integrated into the public transport network «Linz AG Linien» and now reaches the Main Square. The width of the track was reduced from 1000 to 900 mm. Within 20 minutes the train passes the whole route of the Pöstlingberg railway, which is 4, 14 km long, and the level of ascent is 255 meters. The line uses new comfortable low-floor cars, and for fans of an authentic atmosphere, excursions are offered in the reconstructed old cars. The rack railway provides accessibility to the Wallfahrtskirche (Pilgrim Church), a viewing platform with a magnificent view of Linz, the city zoo, and the Grottenbahn railway with its fairy world and the realm of gnomes.

There are several different types of rack rails. Today the Abt system is used on most rack railways. This decision was preceded by a long way of creating and testing various designs. The history of construction and use of rack railway as a means of ensuring the availability of places of tourist interest is not separable from engineering developments of rack railway structures. Rack railway is in itself a phenomenon that provokes tourist interest. It combines the functions of a vehicle and a monument to the industrial heritage of mankind.

The pioneer of creation of rack railway in Europe was the Englishman John Blenkinsop. Despite the obviousness of today's relevance of the gear wheel when climbing to the heights, the first rack railway was created on the plain. The Middleton Railway, connecting the Middleton suburb with the city of Leeds in the west of Yorkshire (England), was the first rack railway. This railway operated on a system of toothed wheel gearings and gear wheels, developed and patented by John Blenkinsop in 1811.

J. Blenkinsop believed that the friction that occurs when steel wheels move along steel rails will not be

enough. Therefore, in 1812, locomotives with twenty gear wheels (diameter 914 mm) on the left side were built for the Middleton Railway, on the left side, which engaged in rack rails (two teeth per 304 mm) located on the outside of the rail, cast-iron edge rails with their lateral teeth connected into one piece with a length of 914 mm. For the Bleckinsop rack railway, a locomotive of a special system was created, which A. Sinclair included in his list of Freaks and Curiosities in Locomotive Designs [2].

The first locomotive that used the patented design of J. Blenkinsop and the first commercially successful locomotive that passed along this railway was the Salamanca locomotive built in 1812 by Matthew Murray from Golbeck. The locomotive was named in honor of the victory of the Duke of Wellington at the Battle of Salamanca, held the same year. The steam locomotive of Salamanca appears in the watercolor of George Walker (1781–1856) «Miner» (1813). It is believed that this is the first image of a locomotive [3]. Four such locomotives were built for the railway. Six years after the launch, Salamanca was destroyed due to a boiler explosion. According to the famous George Stephenson, one of the «fathers of railways» testified in the parliamentary committee, the accident occurred because of the actions of the train driver, who intervened in the operation of the safety valve of the boiler [4].

The Blenkinsop system was used by the Middleton Railway for another 25 years, but it was almost never used, because the friction system was still considered more effective for railways running on level ground.

The world's first rack mountain railway in the New World was Mount Washington, built by Sylvester Marsh (USA). A native of Kempton, Marsh made his fortune in Chicago on a meat package. In 1857, Sylvester Marsh ascended to Mount Washington in New Hampshire, where he fell into a violent storm, which forced him to spend the night on the mountainside [4]. This almost fatal experience prompted him to invent a system by which the train could safely carry passengers to the top. The following year, he appealed to the Legislative Assembly of New

Hampshire for permission to build a steam railway on Mount Washington. He needed a state license to purchase a three-mile road to the mountain in an outstanding area. The plan of Marsh was considered insane, since he proposed to do the impossible. Tradition told us the story that the state legislature voted for permission on the basis of a common opinion that the damage caused by the construction, in case of failure will not be a problem, but in case of success the benefits will be guaranteed. Especially since Marsh invested his money, initially it was 5000 dollars, but the amount could have increased. And all this was invested in the development of the local community, including the construction of the Fabyan House hotel at the nearby Fabyan station to accommodate the expected tourists. The project of Marsh was jokingly called the «Railway to the Moon» because one state legislator noticed during the trial that the Marsh should be given permission to build not only on Mount Washington, but also on the Moon. Marsh received permission to build the road on June 25, 1858, but because of the civil war, work had to be postponed until May 1866. He developed a prototype of the locomotive and a short demonstration part of the track, then he found investors and began construction. In 1861, S. Marsh was granted a patent of the United States of America on the creation of the idea of a rack railway, and in January 1867, the construction of a rack railway to Mount Washington [5].

The first public test of the Marsh's rack railway was conducted on August 29, 1866, when only 402 meters of track were laid. The gear wheels on the trains had deep teeth, which ensured that at least two teeth were always engaged with the railway; this safety measure helped to reduce the likelihood that the gear wheels will derail.

Despite the fact that the road had not yet been completed, the first paid customers began travelling on August 14, 1868. The construction reached the summit of the mountain in July 1869. In August 1869, President Ulysses S. Grant personally visited New England to escape the heat of Washington. During his tour, he climbed by the Marsh railway to the top of Mount Washington.

Today, the Mount Washington rack railway is the only rack railway of the east of the Rocky Mountains and the only transport that allows to climb to the top of Mount Washington – the highest point in New England. The railway is approximately 4,8 km in

length and rises to the top of a mountain with a height of 1917 m. To transport tourists to the top of the mountain, retro-trains with locomotives or environmentally friendly trains with locomotives with biodiesel are used. The train rises to the mountain at a speed of 4,5 km/h and descends at a speed of 7,4 km/h. Depending on the power of the locomotive, it takes approximately 37–65 minutes to climb, and 40 minutes to descend [6].

For about an hour the tourists are at the top with a height of 1917 m, from where they have a breathtaking panoramic view of the mountains and valleys of New Hampshire, Maine and Vermont, extending to the north to Canada and to the east to the Atlantic Ocean. Here is the Sherman Adams Demonstration Center, the Mount Washington Observatory Weather Museum and the Tip Top House Hotel, built in 1853. In memory of the visit, you can send postage stamps from the top of Mount Washington and be photographed against the backdrop of the sign of the summit.

At the Marshfield station it is possible to get to know the history and the museum collection of the rack railway, one of the exhibits of which is the Old Peppersass locomotive, and it is possible also to study the peculiarities of the amazing weather and the ecosystem of the summit of Mount Washington [5].

In Europe, the first mountain rack railway called «Vitznau-Rigi Bahn» was laid on the mountain Rigi in Switzerland in 1871 on the basis of the Riggenbach system. On two tracks, laid at that time, trains still run.

The system of the Riggenbach rack railway was created by Niklaus Riggenbach, who worked at the same time as Marsh. Riggenbach was granted a French patent in 1863 for a working model, which he used to interest potential Swiss investors. During this time, the Swiss consul in the United States of America visited the rack railway of Marsh and enthusiastically reported about it to the Swiss government. Intending to give impetus to the development of tourism in Switzerland, the government commissioned Riggenbach to build a rack railway on the mountain Rigi. In the quarry near Bern the prototype of the train and the test track were built. On May 21, 1870, on Riggenbach's birthday, locomotive No. 1, named Stadt Lucerne, passed the first test launch. Riggenbach personally took the first train to Rigi's upper end in Staffelhohe. The line from Vitznau to Rigi Staffelhohe was 5 km in length and climbed a

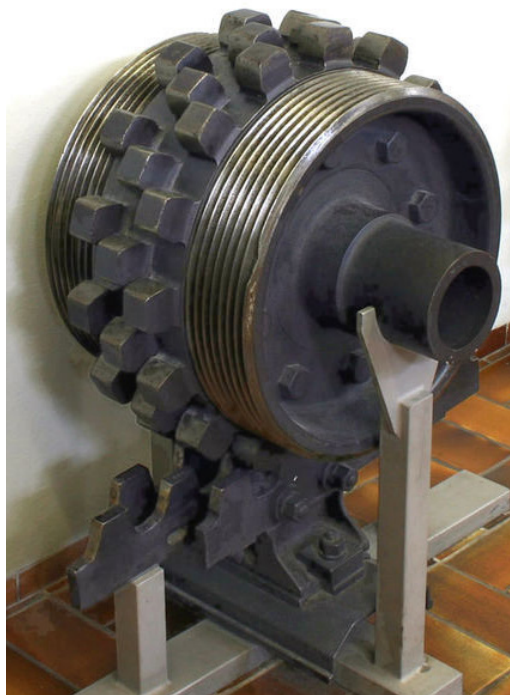




total of 1115 m to reach the top of 1550 m. Exactly one year later on May 22, 1871 the road was officially opened [7].

By its design, the Rigggenbach system is similar to the Marsh system. It uses a step tooth rack made of steel sheets and connected by circular or square bars laid on the same interval. The disadvantage of the Rigggenbach system is complexity and high cost of making its tooth gear in comparison with other systems.

Keeping in mind the success of Vitznau-Rigi Bahn railway, Rigggenbach founded Maschinenfabrik der Internationalen Gesellschaft für Bergbahnen (IGB), which produced the locomotives of the rack railway according to its drawings.



The Rigggenbach road became the basis for the creation of a whole transport system, which formed the basis for the social and economic development of the region. Today Rigi Bahnen is a group of railways on the mountain of Rigi, located between the two channels of Lake Lucerne. It includes two rack railways Vitznau-Rigi Bahn and Arth-Rigi Bahn, as well as one large and six small cable railways. The Vitznau-Rigi Bahn is the highest standard gauge track in Europe, also known as the first mountain railway in Europe and the second in the world, after the Mount Washington railway.

The highest Swiss rack railway became Jungfraubahn. It was built on the basis of the cog system of Strub. There were many plans to build this road, but all of them failed, until in 1896 fate brought Emil Strub and Adolf Guyer-Zeller. In 1891, E. Strub was appointed inspector of the Bern railway. In 1894 the entrepreneur Adolf Gaier-Zeller took a concession for the construction of a rack railway, which began from the Klein-Scheidegg station in Wengernalp, with a long tunnel across the Eiger and Mönch to the Jungfrau summit.

In February 1896 Adolf Gaier-Zeller, through a scientific committee appointed to prepare the Jungfraubahn railway project, allocated 30 000 francs for awards for the best solutions to a number of issues on the construction and operation of this railway. Strub won the first prize of 5 000 francs for his proposed system, which turned out to be brilliant and went down in history as the Strub system [8].

It uses a rolled flat-bottom rail with teeth of the railway mounted in the railhead at a distance of about 100 mm from each other. Safety braces mounted on the train interact with the bottom of the head to prevent the train from slipping off the track and also serve as a brake. The American patent of Strub, granted in 1898, also included details of how the rack rail interacts with the turn mechanism.

From 1896 to 1898, E. Strub was the director of the railway Jungfraubahn. Construction began in 1896 and went, as they would say in Soviet times, at a rapid pace. In 1898 Jungfraubahn was opened to the railway station Eigerglecher, at the foot of the Eiger. Unfortunately, the construction of the road was not

without tragedy. Part of the railway line was to be in the tunnel. In 1899, explosive work began and six workers were killed during these works. This provoked a four-month strike. On April 3 in Zurich from a heart attack Adolf Gayer-Zeller dies. But his business continues and on August 2, a section of the road opens from the station Eigergletscher to the station Rotstock.

This was the beginning of a glorious history. The Jungfrau railway, like its predecessor, the Vitznau-Rigi Bahn, has become an axial frame that has made it possible to develop a hard-to-reach area. Today Jungfrau-Gruppe is the largest mining railway company and the leading travel company in Switzerland. It offers its customers an amazing adventure in the mountains and on the train. The main offer is a trip to Jungfraujoch to an altitude of 3471 m. The Jungfrau railway group also operates its own hydroelectric power station and sells complete travel packages on its website in cooperation with partner companies. Until the end of 2019, it is also planned to gradually integrate a number of catering enterprises into the group in order to fully provide customers with services at their own enterprises.

E. K. Morgan from Chicago continued the development of mechanisms for rack railways. In 1900, he received a patent for a railway system that resembled the Riggerbach system, but the rake was also used to power the locomotive with electric transmission. E. K. Morgan was working on the development of heavier locomotives and, together with J. H. Morgan, developed a turning mechanism. In 1904 he patented a simplified, but complex, rack rail on which the teeth of the wheels of the train came into contact with square holes made in a central rail constructed in the form of a bar. J. H. Morgan proposed several alternative rotation mechanisms for this system. It is noteworthy that J. H. Morgan proposed to displace the rack rail so that pedestrians and animals could pass along the tracks. Several photographs of the early stage of the construction of the Morgan road prove it. The rack railway could be used on tracks with a slope of up to 16 degrees.

The Goodman Equipment Company began selling the Morgan system to mining companies, and it was in high demand, especially where the steep incline was found underground. By 1907 Goodman established offices in Cardiff (Wales) to enter the UK market. McKell Coal & Coke Company (from 1903 to 1909) in Rayleigh County, West Virginia used in its mines a network of railways of the Morgan system with a length of 10700 m. Between 1905 and 1906, for the company Mammoth Vein Coal Company, 2500 m of the railway track of the Morgan system were laid in two mines in Everest, Iowa, where the maximum slope reached 16 %. Donohoe Coke Co. in Greenwald, Pennsylvania, in 1906 had a 3050 meter rail network. The Morgan system was operated on a single common railway carrier in the United States, Chichago Tunnek Company, a narrow-gauge freight carrier that had one steep section to a distribution station that was the coastal strip of Lake Chicago.

The roads of the Morgan system, unlike their predecessors, were mostly laid underground. They have found their application in the coal mining industry and cargo transportation.

The Abt system was developed by Roman Abt, a Swiss steam locomotive engineer. At one time Mr. Abt worked for Riggerbach in Olten and then at his company «IGB», which produced the locomotives of rack railways. In 1885, he decided to establish his construction company.

At the same time, Roman Abt worked on the development of an improved system of rack railway, which could correct the shortcomings of the Riggerbach system. The construction and maintenance of the Riggerbach rack railway was too expensive. Still there was a complex system of switch turnouts. In 1882, R. Abt developed a new rack railway using massive slats with vertical teeth embedded in them. Two or three slats were installed in the middle between the rails with angled teeth. The use of several identical slats with built-in teeth at an angle ensured that the teeth of the wheels of the train were constantly engaged with the rails. The construction of the railway of the Abt system was cheaper, since it required less





weight of the rails on the given track. Nevertheless, the wear resistance of the Rigenbach system was much higher than that of the Abt system.

R. Abt developed also a system of smooth transition from friction to adhesion, using a section of a rack rail with a spring shock absorber so that the teeth of the wheels gradually engage with the rail.

The first time the Abt system was used on the Harzbahn railway in Germany, which was opened in 1885.

One of the features of the Abt system is that the gear wheels can be mounted on the same axis as the rail wheels or installed separately. The locomotives of the Tasmanian mining company Mount Lyell Mining and Railway Company had separate cylinders that propelled the gears, as did the locomotives of 10th class of Nilgiri Mountain Railway in India, which is now in conjunction with the Darjeeling Himalayan Railway a World Heritage Site (UNESCO list)).

One of the most famous and popular railways today using the Abt system is Cremallera de Montserrat, a mountain railway line in the north of Barcelona in Catalonia (Spain). This line runs from the municipality of Monistrol de Montserrat to the monastery of Montserrat, which is on the same mountain.

The length of the railway is 5 km, and the track width is 1000 mm. On the first kilometer of the road, between Monistrol and the only intermediate station Monistrol Vila, the usual system of adhesion is used. The remaining part of the route is a rack railway of the Abt system, which allows to overcome this path, whose height reaches 550 m with a maximum gradient of 15,6 degrees. Electricity supply of the railway passes through a contact network 1500 volts direct current. This road is served by the railway operator FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya).

The route of the railway opened in 1892. In 1930, a cable car was built. In addition, it was possible to get to the monastery in the old way – along a narrow pedestrian road. The railway by that time was distinguished by low financial indicators and a large number of incidents. Therefore, on May 12, 1957, it was decided to close it.

Nevertheless, after a while it turned out that the cable railway and pedestrian route could not serve the whole stream of those wishing to enter the monastery. After many years of discussion and planning in 2001, the program for rebuilding the rack railway was developed, and already on June 6, 2003 the railway was presented to the passengers in a modern way. For the first 12 months, Montserrat has served 462964 passengers.

The peak occurred in August 2003, when 63692 passengers took advantage of this route, the lowest load was shown in February 2004, which had 22996 passengers.

The most significant work along the way was the construction of the Pont del Centenari bridge across the Llobregat River. The bridge is 480 m in length and 5 m in width. The bridge is divided into nine sections, the length of which varies from 35 to 55 m. Everything is constructed of steel pipe grids to give a light design and minimize visual impact on the landscape. The bridge is supported by eight pillars, the maximum height of which is 37 m.

On the Montserrat railway, five low-floor electric motor cars of the Stadler GTW type, built by Stadler Rail in Switzerland, run. The cars are numbered, like AM1-AM5 and named after local peaks. These cars can move at the same time due to the friction of rails and wheels, as well as by engaging in the gear part of the railway. Each car accommodates 200 passengers. There are air-conditioners in the cars, and panoramic windows open a wonderful view of the environment. Trains move at a speed of 30 km/h on the toothed section of the road and at a speed of 45 km/h on the standard part of the road. In addition, this railway uses an E4 electric locomotive of 1930, transported from the Vall de Nuria rack railway for construction and installation works.

The rack railway is connected to the Liobregat-Anoia railway, which starts from Barcelona Pla a d'Espanya station and reaches the municipality of Manresa. The rack railway connects Monistrol de Montserrat, also known as Monistrol Central. Connecting the track to Monistrol allows the rack railway cars to run from the depot near the Martorell municipality and return there overnight.

Every hour, trains run between Monistrol-Enlla and the top of the mountain, connecting the FGC trains, which run from Barcelona to the municipality of Manresa and back. Additional trains run between Monistrol Vila, where there is a parking for cars, designed for 1000 seats, and the top of the mountain.

There are also two funiculars of the railway operator FGC. The funicular De Sant Joan raises the passengers to the top of the mountain, and De Santa Cova descends them from the top down to the monastery [9].

In the 1880s, a truly «axial epoch»² for rack railway systems, the Swiss engineer Eduard Locher invented his system, in which the teeth were on the sides of the rail, and not on its top and were driven by gearing with two cogwheels of the train. Unlike other systems,

² Term introduced by the philosopher K. Jaspers.

where the teeth can jump out of the rack rail, this system allows to lay roads in areas with a steep slope.

E. Locher worked on the creation of a rack railway system, which could be used in a locality where the slope reaches 50 %. The Abt system is the most commonly used system in Switzerland, it can work with slopes up to 25 %. E. Locher showed that in the territory with a steep slope the Abt system is predisposed to twisting the cogwheels, which can lead to the derailment of the train, as R. Abt himself predicted. To solve this problem and to lay the road in the steep neighborhoods of Pilatus (Switzerland), E. Locher developed a rack railway where the tooth rack is a flat metal rod with symmetrical horizontal teeth. The horizontal gear wheels engaged in the metal rod in the middle, which set the train in motion and prevented it from deviating from the center of the road [10].

This system provides an extra-stable binding of the train to the railway, besides it protects the car from overturning due to strong transverse winds. Such devices also make it possible to drive a car, so even flanges on wheels are not necessary. The biggest drawback of this system is that standard railway switches do not fit it and transverse devices or other complex devices need to be used where it is necessary to go to another branch of the track. After the completion of the tests in 1889, according to the Locher system, the steepest rack railway Pilatus Railway was built. No other public railway uses Locher's system, although some European coal mines use a similar system on routes with a steep incline under the ground [11].

The Lamell system (also known as the Von Roll system) was developed by Von Roll company after the all-rolled steel rails used in the Strub system became inaccessible. It consists of one metal strip cut in a similar way, as in the Abt system, but, as a rule, it is wider than Abt's rack. Trains designed for the Riggerbach or Strub systems can be traversed by the Lamell rack railway system because the safety braces, which were part of the original Strub system, are not used. Some railways use racks of different systems, for example, the St. Gallen Gais Appenzell Railway in Switzerland has sections of Riggerbach, Strub and Lamell racks. This is due to the fact that in the course of the historical development of the economy, this road has gradually integrated several small railways built not far from each other, including four rack railways [12]. Most of the rack railways of the late 20th century are built according to the Lamell system.

Conclusions. Cog rack-wheel systems are a unique achievement of the human engineering idea. Thanks to this invention, hard-to-reach areas on the ground and underground were developed. High peaks were able to be conquered not only by people with special skills, but also by ordinary travelers. Countries where the mountains occupy a large territory, such as Switzerland (the area of mountains is more than 61 %), could make them accessible and develop economic use. In Russia, there are also many mountainous areas ($\approx 33\%$) and rack railways could promote their development and organization of activities that contribute to the development of the local community and the country as a whole.



REFERENCES

1. Transport provision in tourism: Monograph [Transportnoe obespechenie v turizme. Monografiya]. Ed. by S. I. Gaikalov, T. Yu. Tikhonova. Moscow, MIIT publ., 2012, 211 p.
2. Singlar, Angus. Development of the locomotive engine. New York: Angus Sinclar Publishing Company, 1907, pp. 482–483. [Electronic resource]. <http://www.archive.org/stream/cu31924003627167#page/n491/mode/2up>. Last accessed 19.11.2017.
2. McCann, Mick. How Leeds Changed the World: Encyclopaedia Leeds. Leeds, Armev Press, 2010, 227 p.
3. Nabarro, Gerald. Steam Nostalgia: Locomotive and Railway Preservation in Great Britain. London, Routledge and Kegan Paul, 1972, 139 p.
4. The Heart of New England online magazine. [Electronic resource]: <http://www.theheartofnewengland.com/travel-History-of-Cog-Railway.html>. Last accessed 19.11.2017.
5. AMC guide to Mount Washington and the presidential range / 5th edition. Appalachian Mountain Club Books. Boston, Massachusetts, 1992, pp. 181–183.
6. Mount Washington Cog Railway. [Electronic resource]: <http://www.thecog.com/>. Last accessed 19.11.2017.
7. Cole, Beverly. Trains. Potsdam, Germany: H. F. Ullmann, 2011, p. 11.
8. Mathys, E. Männer der Schiene. Verlag: Kümmerly & Frey, Bern, 1955.
9. Cremallera de Monserrat. [Electronic resource]: <http://www.cremallerademontserrat.cat/>. Last accessed 19.11.2017.
10. Pilatus Luzern. [Electronic resource]: https://www.pilatus.ch/fileadmin/files/entdecken/bergbahnen/Zahnradbahn/1.3.1.2_Storys_Eduard-Locher-Geschichte.pdf. Last accessed 19.11.2017.
11. Pilatus Luzern. [Electronic resource]: https://www.pilatus.ch/fileadmin/files/entdecken/bergbahnen/Zahnradbahn/1.3.1.2_Storys_01-Festschrift_Auszug_Zahnradbahn-Idee.pdf. Last accessed 19.11.2017.
12. Alpengelder Bahnen. [Electronic resource]: <http://www.appenzellerbahnen.ch/Erlebnisse/ErlebnissemitdenAppenzellerBahnen.aspx>. Last accessed 19.11.2017. ●

Information about the author:

Tikhonova, Tatyana Yu. – Ph.D. (Philosophy), associate professor of the department of Service and Tourism of Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, umago@mail.ru.

Article received 20.07.2017, accepted 24.10.2017.





Морская и наземная логистика грузового фронта



Владимир ПРОХОРОВ
Vladimir M. PROKHOROV

Владимир ЧИРУХИН
Vladimir A. CHIRUKHIN



Прохоров Владимир Михайлович – кандидат физико-математических наук, доцент департамента логистики и управления цепями поставок Санкт-Петербургского филиала НИУ ВШЭ, Санкт-Петербург, Россия.

Чирухин Владимир Александрович – кандидат технических наук, доцент департамента логистики и управления цепями поставок Санкт-Петербургского филиала НИУ ВШЭ, Санкт-Петербург, Россия.

Sea and Land Logistics of Cargo Front

(текст статьи на англ. яз. –
English text of the article – p. 253)

Авторы анализируют организационные проблемы предвоенного и военного времени и логистические методы управления перевозками железнодорожным и морским транспортом СССР в период с 1938 по 1945 год. Приводятся статистика, факты, делается исторический экскурс, призванный оценить истинный масштаб «грузового фронта» и его роль в защите страны, народа и общей победе над врагом во время Второй мировой войны.

Ключевые слова: война, эвакуация, логистика, управление перевозками, железные дороги, морской транспорт, ленд-лиз.

Логистические задачи, решённые в СССР в период 1938–1945 годов, не имеют аналогов в мировой практике и вполне заслуживают описания и детального анализа.

Термин «логистика» не использовался в отечественной теории и практике до конца 80-х годов XX века, вместо него применялся термин «материально-техническое снабжение». Однако, говоря современным языком, можно утверждать, что принципы и методы логистического управления транспортировкой и снабжением усилиями учёных получили своё развитие в годы первых советских пятилеток. Прежде всего это выразилось в позиционировании предприятий и организации их кооперации уже на стадии проектирования. Строящиеся промышленные центры были привязаны к крупным железнодорожным узлам, что обеспечивало с самого начала удобное снабжение строительными материалами, а в дальнейшем – снабжение производств всем необходимым для успешной деятельности. Иными словами, в эти годы реализуется системный подход к строительству промышленных объектов, планируются затраты на строительство и эксплуатацию будущих предприятий.

Таблица 1

Классификация железнодорожных линий нормальной колеи для паровой тяги

Наименование разряда линии	Магистрали усиленного типа (сверхмагистрали)	Магистрали нормального типа	Магистрали облегченного типа	Подъездные пути и ветви
	1	2	3	4
Характеристика				
Наименьший грузооборот в грузовом направлении	Для однопутной сверхмагистрали не менее 8000000 т • км/км Для двухпутной не менее 12000000 т • км/км	Не менее 80000 т • км/км	Не менее 80000 т • км/км	1. При длине до 100 км независимо от грузооборота. 2. При длине от 100 до 200 км включительно – грузооборот менее 300000 т • км/км. 3. При длине от 200 до 250 км включительно – грузооборот менее 150000 т • км/км.
Число путей	Несколько или один путь	Один или два пути	Один путь	Один или два пути
Число пар коммерческих поездов расчетного максимального параллельного графика	В зависимости от условий эксплуатации	При одном пути – 21 пара, при двух путях – не менее 40 пар	14 пар	В зависимости от условий эксплуатации

С точки зрения логистики, а именно оптимального размещения предприятий относительно источников сырья и путей его доставки, следует отметить, к примеру, строительство Магнитогорского металлургического комбината. Во второй половине 20-х годов Наркомат путей сообщения получил задачу по форсированию прокладки железнодорожной линии к будущему заводу, возведение которого началось в 1929 году, и такая комбинация совмещенных сроков и согласованных действий во многом предопределяла ожидаемый результат.

Аналогичным образом формировались металлургические и машиностроительные комплексы рядом с месторождениями металлов и каменного угля, который служил источником энергии и для тепловых электростанций. В третьей пятилетке основное внимание было уделено развитию оборонной промышленности. Кроме того, строительство новых промышленных предприятий было перенесено на восток – на Урал и в Сибирь. К началу войны почти половину продукции уральской промышленности составляли машины и металлоизделия. В металлургии ведущие позиции стали занимать Урал и Кузбасс.

1. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ ДО 1941 ГОДА

Основным видом транспорта СССР в 1940 году были железные дороги. В общем

грузообороте их доля составляла 85,1 %, в пассажирообороте – 92,4 % [6].

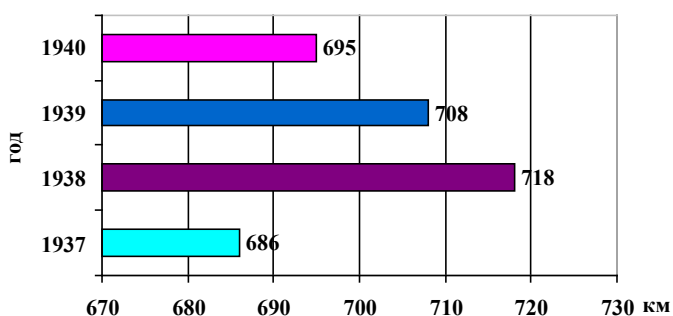
Важнейшими характеристиками любого вида транспорта, в том числе железнодорожного, являются пропускная и провозная способности. Представление о потенциале на 1930 год, с которого стартовало предвоенное развитие страны, дают цифры в таблице 1 [7]. В 30-е годы прошлого века уделялось пристальное внимание, с одной стороны, увеличению пропускной способности железнодорожного транспорта и рационализации процессов перевозки – с другой стороны. Так, в [8] предлагается метод увеличения пропускной способности лимитирующего участка дороги, позволяющего нарастить объемы грузов на 5–11 %.

Под рационализацией перевозок подразумевается устранение встречных грузопотоков, полная загрузка вагонов и т.п. В 1939 году были разработаны грузопотоки леса по десяти главным сортаментам, нефтепродуктов – по восьми главным видам. В 1940 году рационализация продолжилась по торфу, коксу, цементу, кирпичу, бутовому и булыжному камням, формовочному песку, балласту, свёкле, фуражу, чёрным металлам, оконному стеклу и т.д. [9].

Кроме того, поскольку многие предприятия, производившие продукцию, важную для жизнеобеспечения населения, были размещены в исторически сложившихся регионах, их товар приходилось



Рис. 1. Средняя дальность перевозки грузов.



перевозить по железной дороге в другие дальние районы. Наилучшим решением в этом случае было строительство соответствующих предприятий вблизи от потребителей.

Анализом и рациональным распределением грузопотоков занимался Народный комиссариат путей сообщений (НКПС). «В 1940 году Грузовое управление НКПС ежемесячно исключало из планов перевозок около 9 тыс. вагонов грузов, перевозка которых была бы нерациональной, требуя от клиентов их замены» [9]. Такая работа позволила сократить средние дальности перевозок основных продуктов и тем самым повысить оборачиваемость вагонов. На рис. 1 представлена средняя дальность маршрутов железнодорожных грузов с 1937 по 1940 год.

Средняя дальность перевозки грузов достигла своего максимума в 1938 году, что соответствует масштабам и срокам строительства новых промышленных комплексов в восточных регионах страны, и сократилась к 1940 году почти до уровня 1937 года.

Уделялось внимание техническому переоснащению железнодорожного транспорта: внедрению новых стрелок, УКВ радиосвязи, что позволяло, например, ускорить разборку поезда в 2–3 раза [10]. В это же время были опробованы первые в нашей стране контейнерные перевозки. Однако в силу нехватки производственных мощностей и материальных ресурсов модернизационные работы были приостановлены и продолжены уже только в послевоенное время.

В результате реконструкции железнодорожного транспорта в 1930-е годы в основном были созданы возможности для обеспечения потребностей в перевозках, необходимых для развития экономики

и укрепления обороноспособности страны. С ростом экономики росли и объемы перевозок грузов. За 1940 год железнодорожные перевозки выросли с 392 млрд тонно-километров в 1939 году до 409 млрд, речные перевозки увеличились до 36 млрд тонно-километров против 33 млрд [11].

Увеличение пропускной способности дорог требовало увеличения веса поездов, а значит и создания более мощных локомотивов и вагонов с повышенной подъемной силой, как тогда формулировалась задача. И надо заметить, созданные отечественными учеными и специалистами технические средства не уступали лучшим мировым образцам.

В 1931 году Луганский завод начал выпуск паровозов серии ФД с расчетной силой тяги 3,3 тыс. л.с. Паровозный парк в 1940 году на 2/3 состоял из мощных грузовых локомотивов серий ФД, СО, Э, пассажирских серий ИС, С^у. Паровозы ФД осваивали почти 40 % всего грузооборота железных дорог [7]. Только за первое полугодие передовые машинисты провели 131 тыс. тяжеловесных поездов и дополнительно перевезли 38 млн тонн грузов.

В 1923 году было налажено производство двухосных крытых вагонов грузоподъемностью 20 т. В 1925 году на Сорновском, Коломенском, Брянском, Мытищинском и других заводах стали выпускать четырехосные вагоны грузоподъемностью 50 т. В 1928 году отечественные заводы начали строить по новому типовому проекту четырехосные пассажирские вагоны дальнего следования. К 1941 году большегрузы составляли 40,7 % грузового парка.

Таким образом, можно утверждать, что для увеличения объемов перевозок и повышения их эффективности использовались те же приемы, которые и сейчас прак-

тикует современная логистика. А именно, совокупность технических, организационных мер по увеличению пропускной способности дорог, связанной с пропускной способностью перегонов, станций, устройств водоснабжения, тяговых устройств для поворота локомотивов, подачи топлива, а также с темпами ремонта локомотивов и вагонов и др.

По уровню использования ряда технических средств железные дороги СССР превосходили железные дороги развитых зарубежных стран. Была создана высокоэффективная система организации и технологии перевозочного процесса (единые для всей сети планы перевозок, график движения, технический план, система регулирования вагонных парков). Новые предприятия позиционировались таким образом, чтобы при включении их в технологическую цепочку минимизировать транспортную работу.

По объёму перевозок железные дороги СССР в 1937 году вышли на второе место в мире (после США). Общая длина железнодорожной сети к 1941 году составила 106,1 тыс. км.

Летом 1938–1940 годов во время вооружённого конфликта у озера Хасан, в районе реки Халхин-Гол, куда вторглись японские войска, железнодорожный транспорт обеспечил военно-оперативные перевозки на Дальнем Востоке и внёс свой вклад в успешное завершение военных операций.

2. УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗКАМИ В ПЕРИОД ЭВАКУАЦИИ

Великая Отечественная война изменила условия и характер функций, обязанностей транспорта. Одновременно решались трудные задачи: воинские перевозки для фронта, эвакуация воинских складов и перебазирование материальных ценностей и людей из западных районов страны в восточные, перевозки в интересах военной экономики. Изменились и направления грузопотоков.

Основная тяжесть перевозок при эвакуации легла на железнодорожный транспорт. В Наркомате путей сообщения организационными вопросами эвакуации населения и материальных грузов занимались грузовое управление и управление движением.

С целью упорядочения процесса перемещения Советом по эвакуации был выработан твёрдый порядок планирования и организации перевозок. На его плечи легла координация работы со всеми заинтересованными наркоматами, в первую очередь с НКПС, и он же определял сроки эвакуации, пункты размещения и количество требуемых для этого железнодорожных вагонов.

Дополнительная сложность состояла в том, что на запад непрерывно шли военные грузы. Государственный комитет обороны предписывал эшелонам двигаться со скоростью 500–600 км в сутки, а это было невыполнимо. СССР в те годы – страна преимущественно однопутных железных дорог [12].

При острой нехватке вагонов требовался тщательный учёт имеющегося вагонного парка, его потерь в прифронтовой зоне, нужны были жёсткие графики предоставления освободившихся от перевозки воинских грузов вагонов для эвакуантов. С этой же целью в прифронтовые области перебрасывалась часть порожних вагонов и платформ.

Принцип очередности и поэтапности эвакуации зависел прежде всего от складывавшейся обстановки, а также типа и значения предприятий. К новым местам их размещения сразу же направлялись потоки сырья и комплектующих. В приказе Наркомата боеприпасов № 567 сказано, когда, что и куда надо перевозить и даже в каком порядке что грузить [12].

Почти 70 % перемещённых промышленных объектов размещалось на Урале, в Западной Сибири, Средней Азии и Казахстане. Вместе с перебазированными фабриками и заводами на Восток прибыло до 30–40 % рабочих, инженеров и техников. Всего же по железным и шоссейным дорогам, а также водным и воздушным путям с начала войны до конца 1941 года было переправлено в тыловые районы более 18 млн человек.

Уже в марте 1942 года промышленность восточных районов с учётом восстановленных здесь эвакуированных предприятий произвела военной продукции столько, сколько в начале войны выпускалось на всей территории СССР.

В первый период войны (1941–1942 гг.) в условиях большой подвижности фронта,



громадных материальных потерь и разрушений железнодорожный транспорт своевременно обеспечивал мобилизационные перевозки, стратегическое развёртывание сил Красной Армии и переброску военной техники. Одновременно осуществлялась массовая эвакуация населения и предприятий.

Только в июле—ноябре 1941 года на восток эвакуировано более 2,5 тыс. предприятий, в их числе 1523 крупных завода, 18 млн рабочих, служащих и членов их семей. Для перевозки всего этого по железным дорогам потребовалось 1,5 млн вагонов или 30 тыс. поездов.

Во вторую волну эвакуации, летом 1942 года, по Донецкой, Юго-Восточной, Сталинградской, Северо-Кавказской и Орджоникидзевской железным дорогам перевезли оборудование 150 крупных предприятий и около 8 млн человек.

Транспортное обеспечение советских войск сыграло решающую роль в Сталинградской и Курской битвах, в операциях на полях Украины, Белоруссии и Прибалтики, в битве за Берлин.

Железные дороги осуществляли основной объём перевозок красноармейцев и командиров, боевой техники, вооружения и боеприпасов. Всего за годы Великой Отечественной войны железнодорожники транспортировали более 19 млн вагонов с грузом и людьми. На их долю пришлось около 80 % военных перевозок.

При этом пришлось решать ряд логистических задач, включая оптимальное использование парка локомотивов и вагонов, выбор маршрутов движения составов с грузами, военнотружущих и гражданско-го населения, мест вынужденной остановки на станциях и разъездах по причине большой доли одноколейных путей, а также части разрушенных железных дорог и мостов при боевых операциях. Кроме того, нужна была помощь в выборе расположения перемещаемых предприятий, чтобы организовать их кооперацию, снабжение всем необходимым для производства, отправку готовой продукции, создать условия для жизни эвакуируемых работников.

Несмотря на перечисленные трудности, было обеспечено наличие соответствующего перевозимым объёмам вагонного

парка двухосных и четырёхосных вагонов. На конец 1941 года большегрузные вагоны грузоподъёмностью 50 т составляли 40,7 % грузового парка, вагоны грузоподъёмностью 20 т — 59,3 %.

На основании полученных данных определим объём перевезённых грузов в июле—ноябре 1941 года V_1 , а также за весь период Великой Отечественной войны V_0 .

$$V_1 = 1500000 \cdot (0,407 \cdot 50 + 0,593 \cdot 20) = 48315 \text{ тыс. т (верхняя оценка).}$$

$$V_0 = 19000000 \cdot 32,21 = 611990 \text{ тыс. т (верхняя оценка).}$$

3. ЛОГИСТИКА ПРИ ПОСТАВКАХ ПО ЛЕНД-ЛИЗУ

Практика применения методов транспортной логистики получила наибольшее развитие при поставках по ленд-лизу в СССР в годы Второй мировой войны.

В 1941 году по ленд-лизу было получено товаров менее 1 % от общего объёма планировавшихся поставок. В 1942 году этот процент составил 27,6. Таким образом, более 70 % поставок по ленд-лизу пришлось на 1943—1945 годы [13].

Военные грузы поступали в СССР разными маршрутами, но основными были три — тихоокеанский, трансиранский и арктические конвои. В сумме они обеспечили 93,5 % общих поставок.

Самым быстрым, но и самым опасным маршрутом являлись арктические конвои. Морская часть пути от восточного побережья США до Мурманска занимала около двух недель. 40 % поставок шло именно этим маршрутом. Однако около 15 % грузов, отправленных этим путём, были потеряны.

Ленд-лизовские грузы по трансиранскому пути поступали в порты северной оконечности Персидского залива: Басра, Хорремшехр, Абадан и Бандар-Шахпур. В них были устроены авиа- и автосборочные заводы. Такое решение позволило увеличить грузоподъёмность морского транспорта.

Из портов в СССР грузы шли двумя путями: сухопутным через Кавказ и водным — через Каспийское море. Однако у трансиранского маршрута, как и арктических конвоев, виделись свои недостатки: во-первых, он был слишком продолжительным (путь конвоя от Нью-Йорка до

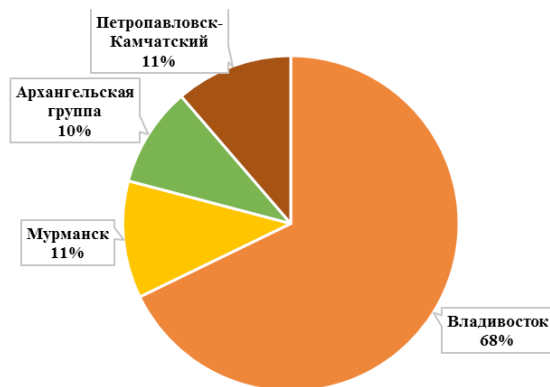


Рис. 2. Распределение объёмов грузов, переработанных портами СССР при поставках по ленд-лизу.

■ Владивосток ■ Мурманск ■ Архангельская группа ■ Петропавловск-Камчатский

берегов Ирана занимал примерно 75 дней, а затем время тратилось ещё и на доставку груза по Ирану и Кавказу или Каспию), во-вторых, опасным из-за постоянных авианалётов немецких самолётов. В 1945 году вместо иранского стали использовать черноморский маршрут [14].

С мая 1942 года поставки составляли в среднем 80–90 тыс. тонн в месяц, а во второй половине 1943 года – до 200 тыс. тонн. Специально для нужд ленд-лиза в Иране построили несколько автомобильных заводов [14]. За годы войны с иранских предприятий в СССР отправлено более 184 тыс. автомобилей. Машины перегонялись по маршрутам Тегеран–Ашхабад, Тегеран–Астара–Баку, Джульфа–Орджоникидзе.

Тихоокеанский маршрут, обеспечивший около половины поставок по ленд-лизу, был относительно безопасным. С началом войны между США и Японией с 7 декабря 1941 года все перевозки на Тихом океане производили «исключительно советские пароходы», как сказано в отчёте Наркомата внешней торговли. Морская часть пути от западного побережья США до дальневосточных портов занимала 18–20 суток. Основным приёмщиком здесь стал Владивосток, в котором одновременно могли разгружаться 15 океанских судов.

Главным недостатком дальневосточного пути являлась его удалённость от фронта. Грузы, сравнительно быстро доставленные в СССР, на две-три недели задерживались на Транссибе из-за ограниченной пропускной способности магистрали.

О том, что этому маршруту придавалось особое значение, говорит тот факт, что

практически все суда советского транспортно-флота в начале 1943 года были приданы Дальневосточному государственному морскому пароходству (ДВГМП). С 1942 года стали поступать по ленд-лизу американские транспорты, сначала старые, отремонтированные по спецпрограмме, а с января 1943 года – и новые сварные: сухогрузы типа «либерти» и танкеры.

В июне 1941 года флот ДВГМП насчитывал 85 судов. В 1941–1945 годах в состав Дальневосточного пароходства вошли 39 судов, принятых от других пароходств. В разных американских портах были приняты: в 1942-м – 27, 1943-м – 46, 1944-м – 20, 1945-м – 35 судов. Всего поступило 167 транспортов, из них по ленд-лизу – 128, они в большинстве оказались крупнотоннажными. В перевозках через Тихий океан участвовали также четыре крупнотоннажных быстроходных судна Дальстроя НКВД [15].

С 1941 по 1945 год Дальневосточным морским пароходством перевезено более 12 млн тонн грузов, в том числе 7,95 млн импортных, Приморской железной дорогой – 46,3 млн тонн [15].

В годы Великой Отечественной войны Владивосток загрузил и отправил на запад почти 400 тыс. вагонов и платформ, более 10 млн тонн грузов, обработал 32 тыс. транспортных судов [15].

Порт Мурманска за это же время переработал чуть больше 2 млн тонн импорта, а архангельская группа портов (Архангельск, Бакарица, Экономия, Молотовск (ныне Северодвинск)), исходя из американских данных, – примерно 1,7 млн тонн. Получается, что Владивосток переработал



импортных грузов почти в 4 раза больше Мурманска и почти в 5 раз больше Архангельска (имеется в виду вся группа беломорских портов).

На основе документов госархива Камчатской области о работе порта Петропавловска-Камчатского в военные годы сделан расчёт, давший цифру, превышающую 2 млн тонн.

Распределение объёмов грузов, переработанных портами СССР при поставках по ленд-лизу, представлено на рис. 2.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В статье делается попытка объективно-го анализа вклада отечественных транспортников в развитие логистических методов и транспортной логистики по итогам Второй мировой войны, с акцентом на практику решения логистических задач в период с 1938 по 1945 год.

Бесспорно, способы логистического управления широко применялись в нашей стране при решении различных задач снабжения и транспортировки материальных ресурсов ещё в Первой, а не только Второй мировых войнах, хотя термин «логистика» в отечественной науке и практике не применялся до конца 80-х годов XX века.

Характерно, что в 1925 году народный комиссар по военным и морским делам М. В. Фрунзе констатировал: «...без самой тщательной, основанной на точных математических расчётах организации тыла, без налаживания правильного питания фронта, без всего того, что ему необходимо для ведения операций, без самого тщательного учёта перевозок, обеспечивающих тыловое снабжение, без организации эвакуационного дела немислимо никакое сколько-нибудь правильное, разумное ведение больших военных операций...» [5].

Исследования учёных о периоде Великой Отечественной войны в области снабжения войск и организации транспортного обеспечения тылового снабжения, а также организации эвакуационного дела, несомненно, подтвердили правильность логистических принципов при проведении мас-

штабной логистической операции по массовому перемещению населения и материальных ресурсов на Восток нашей страны, а всего за время войны объём грузоперевозок лишь железнодорожным транспортом составил по всем направлениям более 600 млн тонн. Добавим сюда морской, речной, автомобильный, воздушный виды транспорта, и станет понятно, какой в действительности была грандиозной и многомерной та логистическая схема грузового фронта (параллельного боевым фронтам), которую сегодня ассоциируют с непривычным тогда понятием «логистика».

ЛИТЕРАТУРА

1. Куманев Г. А. Война и эвакуация в СССР. 1941–1942 годы // Новая и новейшая история. – 2006. – № 6. – С. 7–27.
2. Васильев Н. Транспорт России в войне 1914–1918 гг. – М.: Гос. воен. изд-во НКО, 1939. – 250 с.
3. Караваев Г. Транспортные средства в войне 1914–1918 гг. // Военно-исторический журнал. – 1941. – № 1. – С. 48–74.
4. Губин В. В. Продовольственные лишения были весьма ощутительны // Военно-исторический журнал. – 2014. – № 12. – С. 9–12.
5. Куценко А. Я., Котвицкий С. А. и др. Организация материально-технического обеспечения войск: Курс лекций. – СПб.: Копи Р-Групп, 2011. – 154 с.
6. Топчий Ю. А., Гордеева Л. П., Колесник Д. В. История железнодорожного транспорта: Учеб. пособие. – М.: МИИТ, 2013. – 244 с.
7. Каргин Д. И., Кетрич В. К., Чегодаев Н. Н. и др. Железные дороги, их значение и организация. – Л.: Прибой, 1930. – 119 с.
8. Кашников В. Увеличение пропускной способности однопутной линии // Железнодорожный транспорт. – 1941. – № 7–8. – С. 39–52.
9. Корнеев А. Рационализация перевозок – важнейшая задача транспорта // Железнодорожный транспорт. – 1941. – № 1. – С. 9–14.
10. Смольянинов А. Быстрее внедрять новую технику // Железнодорожный транспорт. – 1941. – № 3–4. – С. 72–74.
11. Хозяйственные итоги 1940 года и план развития народного хозяйства СССР на 1941 год // Железнодорожный транспорт. – 1941. – № 2. – С. 10–12.
12. Александр Трушин. Эвакуация как индустриализация. [Электронный ресурс]: Коммерсант.ру. <http://www.kommersant.ru/doc/2692858>. Доступ 01.06.2017.
13. Павел Сутулин. Ленд-лиз. Мифы и реальность. [Электронный ресурс]: <http://gezesh.livejournal.com/9526.html>. Доступ 01.06.2017.
14. Михаил Барятинский. Ленд-лиз: маршруты, объёмы и долг. [Электронный ресурс]: <http://vpk-news.ru/articles/7193>. Доступ 01.06.2017.
15. Владивосток в годы Великой Отечественной войны. [Электронный ресурс]: Союз городов воинской славы. <http://srgvs.ru/vladivostok-v-gody-velikoy-otechestvennoy-voyny>. Доступ 01.06.2017. ●

Координаты авторов: Прохоров В. М. – vprohorov@hse.ru, Чирухин В. А. – vtchiruhin@hse.ru.

Статья поступила в редакцию 01.06.2017, принята к публикации 18.07.2017.

SEA AND LAND LOGISTICS OF CARGO FRONT

Prokhorov, Vladimir M., St. Petersburg Branch of National Research University Higher School of Economics (HSE), St. Petersburg, Russia.

Chirukhin, Vladimir A., St. Petersburg Branch of National Research University Higher School of Economics (HSE), St. Petersburg, Russia.

ABSTRACT

The authors analyze the organizational problems of the pre-war and wartime and the logistics methods of managing rail and sea transportation of the USSR in the period from 1938 to 1945. The

article presents statistics, facts, a historical digression designed to assess the true scale of the «cargo front» and its role in protecting the country, people and overall victory over the enemy in the during the Second World War.

Keywords: war, evacuation, logistics, transportation management, railways, sea transport, lend-lease.

Background. *Logistical problems solved in the USSR in the period 1938–1945, have no analogues in world practice and deserve to be described and analyzed in detail.*

The term «logistics» was not used in domestic theory and practice until the end of the 1980s, instead of it the term «material and technical supply» was used. However, speaking in modern language, it can be argued that the principles and methods of logistics management of transportation and supply by scientists have developed in the years of the first Soviet five-year plans. First of all, this was reflected in positioning of enterprises and organization of their cooperation already at the design stage. The industrial centers under construction were tied to large railway junctions, which provided a convenient supply of building materials from the very beginning, and in the future – supplying production facilities with everything necessary for successful operation. In other words, in these years a systematic approach

to construction of industrial facilities is being implemented, and the costs for construction and operation of future enterprises are planned.

From the point of view of logistics, namely, optimal location of enterprises relative to sources of raw materials and their delivery routes, it should be noted, for example, construction of the Magnitogorsk Metallurgical Combine. In the second half of the 1920s, the People's Commissariat of Railways received a task of forcing the laying of a railway line to a future plant, the construction of which began in 1929, and this combination of combined terms and coordinated actions largely predetermined the expected result.

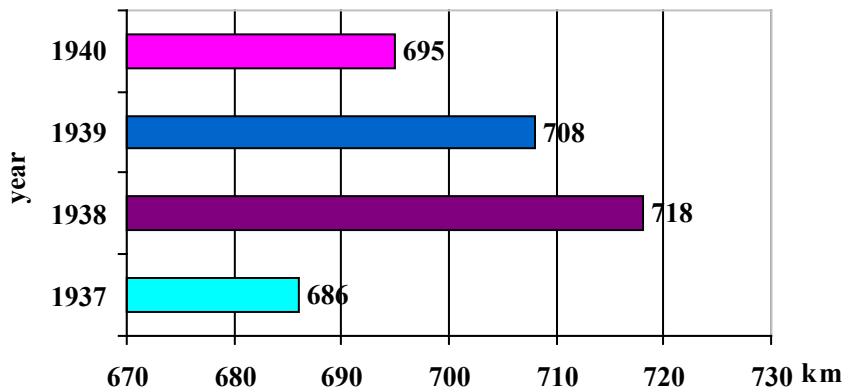
Similarly, metallurgical and machine-building complexes were formed near the deposits of metals and coal, which served as a source of energy for thermal power plants. The third five-year plan focused on development of the defense industry. In addition, construction of new industrial enterprises was moved to the east – the Urals and Siberia. By the beginning

Table 1

Classification of normal-gauge railway lines for steam traction

Name of a class of a line	Main lines of a reinforced type (super main lines)	Main lines of a normal type	Main lines of a lightweight type	Access roads and branches
Characteristics	1	2	3	4
The lowest cargo turnover in the cargo direction	For one-track super main line not less than 8000000 t • km/km. For a two-track main line not less than 12000000 t • km/km	not less than 80000 t • km/km	not less than 80000 t • km/km	1. With the length less than 100 km regardless of cargo turnover. 2. With the length from 100 to 200 km inclusive – cargo turnover not less than 300000 t • km/km. 3. With the length from 200 to 250 km inclusive – cargo turnover not less than 150000 t • km/km
Number of tracks	Several or one track	One or two tracks	One track	One or two tracks
Number of pairs of commercial trains of calculated maximum parallel schedule	Depending on the operating conditions	In case of one track – 21 pairs, in case of two tracks not less than 40 pairs	14 pairs	Depending on the operating conditions





Pic. 1. The average range of cargo transportation.

of the war, almost half of the production of the Urals industry consisted of machinery and metal products. In the metallurgy, the leading positions were taken by the Urals and Kuzbass.

Objective. The objective of the authors is to consider sea and land logistics of cargo front during the war and the postwar periods in the USSR.

Methods. The authors use general scientific methods, historical-retrospective method, comparative analysis.

Results.

1. Rail transportation until 1941

The main mode of transport in the USSR in 1940 was railways. In the general cargo turnover, their share was 85,1 %, in passenger turnover – 92,4 % [6].

The most important characteristics of any type of transport, including railway, are throughput and carrying capacity. The idea of the potential for 1930, from which the pre-war development of the country started, is given in Table 1 [7]. In the 30s of the last century, close attention was paid, on the one hand, to increasing the capacity of the railway transport and rationalizing the transportation processes, on the other hand. Thus, in [8], a method is suggested for increasing the capacity of the limiting section of the road, which allows to increase the volume of cargo by 5–11 %.

The rationalization of transportation means elimination of counterpropagating cargo flows, the full loading of cars, and the like. In 1939, cargo flows were developed for ten major assortments, and petroleum products – in eight main types. In 1940, rationalization continued along peat, coke, cement, brick, rubble and cobblestone, molding sand, ballast, beet, forage, ferrous metals, window glass, etc. [9].

In addition, since many enterprises producing products important for livelihood of population were located in historically developed regions, their goods had to be transported by rail to other far regions. The best solution in this case was construction of appropriate enterprises near consumers.

The People's Commissariat of Transportation (NKPS) was engaged in analysis and rational distribution of cargo flows. «In 1940, the Cargo Administration of NKPS on a monthly basis excluded from transportation plans about 9 000 cars of cargoes, carriage of which would be irrational, requiring customers to replace them» [9]. Such work has allowed to reduce average range of transportations of the basic products and by that to

raise turnover of cars. Pic. 1 shows the average range of rail cargo routes from 1937 to 1940.

The average range of cargo transportation reached its maximum in 1938, which corresponds to the scale and timing of construction of new industrial complexes in the eastern regions of the country, and decreased by 1940 to almost the level of 1937.

Attention was paid to the technical re-equipment of the railway transport: introduction of new switches, VHF radio communications, which, for example, made it possible to accelerate disassembly of the train by 2–3 times [10]. At the same time, the first container shipments in our country were tested. However, due to shortage of production capacities and material resources, modernization works were suspended and continued only in the postwar period.

As a result of reconstruction of the railway transport in the 1930s, the main opportunities were created to meet transportation needs necessary for development of the economy and strengthening of the country's defense capability. As the economy grew, so did the volume of cargo transportation. In 1940, rail transportation grew from 392 billion ton-kilometers in 1939 to 409 billion, river transportation increased to 36 billion ton-kilometers, compared with 33 billion [11].

The increase in carrying capacity of roads required an increase in the weight of trains, and hence creation of more powerful locomotives and cars with increased lift, as the task was formulated. And it should be noted that the technical means created by domestic scientists and specialists were not inferior to the best world models.

In 1931, the Lugansk plant began to produce steam locomotives of the FD series with an estimated traction force of 3 300 hp. The locomotive fleet in 1940 was 2/3 consisting of powerful freight locomotives of the series FD, SO, E, passenger series of IS, S^u. The FD steam locomotives mastered almost 40 % of the total cargo turnover of railways [7]. Only for the first half-year the advanced machinists drove 131 thousand heavy trains and additionally carried 38 million tons of cargo.

In 1923, production of 2-axle covered cars with the carrying capacity of 20 tons was organized. Since 1925, 4-axle cars with the carrying capacity of 50 tons began to be manufactured at Sormovo, Kolomna, Bryansk, Mytischinsky and other plants. In 1928, domestic plants began to build on a new model project 4-axle long-distance passenger cars. By 1941, heavy trains accounted for 40,7 % of the cargo fleet.

Thus, it can be argued that in order to increase the volume of transportation and increase their efficiency, the same methods used by modern logistics today are used. Namely, a set of technical and organizational measures to increase the capacity of roads associated with the capacity of hauls, stations, water supply devices, traction devices for turning locomotives, supplying fuel, repairing locomotives and cars, etc.

In terms of the level of use of a number of technical means, the USSR railways surpassed the railways of developed foreign countries. A highly effective system of organization and technology of the transportation process was created (unified for the whole network of transportation plans, a traffic schedule, a technical plan, a system for regulating car fleets). New enterprises were positioned in such a way that when they are included in the technological chain in order to minimize transport work.

In terms of the volume of transportation, the USSR railways in 1937 came to the second place in the world (after the USA). The total length of the railway network by 1941 was 106,1 thousand km.

In the summer of 1938–1940, during an armed conflict near Lake Khasan, in the vicinity of the Khalkhin-Gol river, where Japanese troops invaded, railway transport provided military operational transport in the Far East and contributed to successful completion of military operations.

2. Transportation management during the evacuation period

The Great Patriotic War changed the conditions and nature of the functions, the duties of transport. At the same time, difficult tasks were solved: military transport for the front, evacuation of military stores and relocation of material values and people from the western regions of the country to the eastern, transport in the interests of the military economy. The direction of cargo flows has also changed.

The main burden of transportation during evacuation lay on the railway transport. In the People's Commissariat of Railways, organizational management of evacuation of population and material cargoes involved cargo management and traffic management.

With a view to streamlining the movement process by the Evacuation Council, a solid order was established for planning and organization of transportation. On its shoulders lay coordination of work with all interested people's commissariats, primarily with NKPS, and it also determined the terms of evacuation, the points of deployment and the number of railway cars required for this.

An additional difficulty was that military cargoes were steadily moving westward. The State Defense Committee ordered the echelons to move at a speed of 500–600 km per day, and this was impracticable. The USSR in those years was a country of predominantly single-track railways [12].

In case of an acute shortage of cars, careful consideration of the existing car fleet and its losses in the front zone was required, rigid schedules of provision of military cargoes for cars for evacuations, which had freed themselves from transportation, were needed. For the same purpose, part of empty cars and platforms were transferred to the frontline areas.

The principle of priority and stage-by-stage evacuation depended primarily on the prevailing situation, as well as the type and significance of enterprises. Streams of raw materials and

components were immediately sent to new places of their location. The order of the People's Commissariat of Ammunition No. 567 says when, what and where to transport, and even in what order what to load [12].

Almost 70 % of the displaced industrial facilities were located in the Urals, in Western Siberia, Central Asia and Kazakhstan. Along with relocated factories and plants, up to 30–40 % of workers, engineers and technicians arrived to the East. In total, over 12 million people were transported to the rear areas by railways and highways, as well as by water and air routes from the beginning of the war to the end of 1941.

Already in March 1942, the industry of the eastern regions, taking into account the evacuated enterprises restored here, produced as much war production as at the beginning of the war it was produced throughout the USSR.

In the first period of the war (1941–1942), in conditions of great mobility of the front, enormous material losses and destruction, rail transport provided timely mobilization transportation, strategic deployment of the Red Army forces and the transfer of military equipment. At the same time, mass evacuation of population and enterprises was carried out.

In July–November 1941, to the east, more than 2500 enterprises were evacuated, including 1523 large plants, 18 million workers, employees and members of their families. To transport all this by rail, it took 1,5 million cars or 30 thousand trains.

In the second wave of evacuation, in the summer of 1942, equipment from 150 large enterprises and about 8 million people was transported along the Donetsk, Southeast, Stalingrad, North-Caucasian and Ordzhonikidze railways.

The transport support of Soviet troops played a decisive role in the Stalingrad and Kursk battles, in operations in the fields of Ukraine, Byelorussia and the Baltics, in the battle for Berlin.

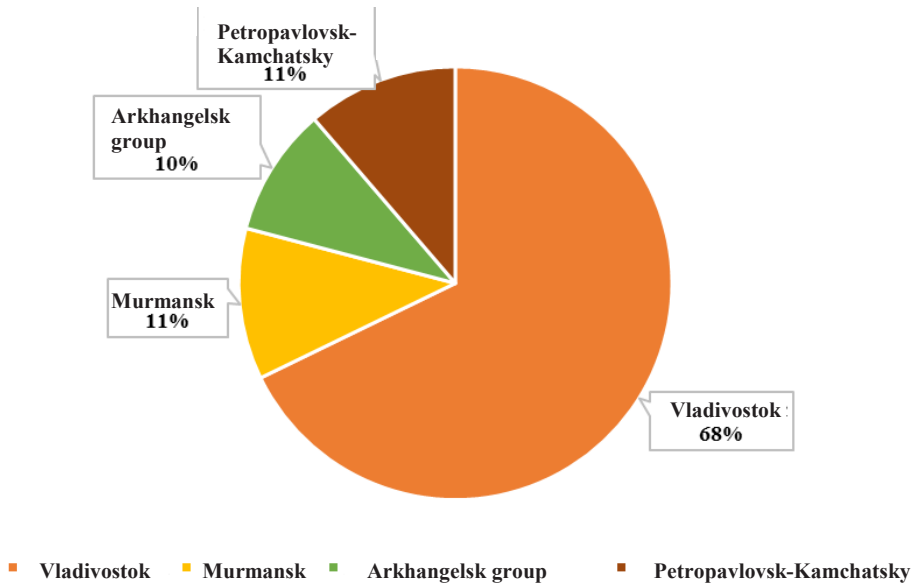
The railways carried out the bulk of transportation of Red Army men and commanders, military equipment, weapons and ammunition. In total for the years of the Great Patriotic War, railway men transported more than 19 million cars with cargo and people. They accounted for about 80 % of military transportation.

At the same time, it was necessary to solve a number of logistical tasks, including the optimal use of the fleet of locomotives and cars, the choice of routes for movement of cargoes, servicemen and civilian population, places of forced stop at stations and crossings due to the large share of single-track railways, as well as part of the destroyed railways and bridges during combat operations. In addition, help was needed in choosing the location of relocated enterprises in order to organize their cooperation, supply all necessary for production, send finished products, create conditions for the life of evacuated workers.

Despite the above difficulties, the presence of biaxial and four-axle cars corresponding to the volumes of the car fleet was provided. At the end of 1941, heavy cars with carrying capacity of 50 tons accounted for 40,7 % of the freight fleet, cars with carrying capacity of 20 tons – 59,3 %.

Based on the received data, we will determine the volume of cargo transported in July–November 1941 V₁, as well as for the entire period of the Great Patriotic War V₂.





Pic. 2. Distribution of cargo volumes, processed by the USSR ports in lend-lease shipments.

$V_1 = 1500000 \cdot (0,407 \cdot 50 + 0,593 \cdot 20) = 48315$ thous. tons (the upper estimate).

$V_0 = 19000000 \cdot 32,21 = 611990$ thous. tons (the upper estimate)

3. Logistics for lend-lease shipments

The practice of applying methods of transport logistics has received the greatest development in the supply of lend-lease in the USSR during the Second World War.

In 1941, less than 1 % of the total volume of planned supplies was received by lend-lease. In 1942, this percentage was 27,6. Thus, more than 70 % of lend-lease shipments fell on 1943–1945 [13].

Military cargoes arrived in the USSR in different routes, but the main ones were three – Pacific, Trans-Syrian and Arctic convoys. In total, they provided 93,5 % of total supplies.

The fastest, but also the most dangerous route was the Arctic convoys. The sea part of the route from the eastern coast of the United States to Murmansk took about two weeks. 40 % of deliveries went exactly this route. However, about 15 % of the goods sent this way were lost.

Lend-lease cargoes along the Trans-Iranian route came to the ports of the northern extremity of the Persian Gulf: Basra, Khorramshahr, Abadan and Bandar Shahpur. Aviation and car assembly plants were built in them. This solution allowed to increase the cargo capacity of sea transport.

From the ports in the USSR, the cargoes went in two ways: overland through the Caucasus and waterways – across the Caspian Sea. However, the trans-Iranian route, as well as the Arctic convoys, saw their shortcomings: first, it was too long (the convoy route from New York to the Iranian coast took about 75 days, and then time was spent on delivering cargo to Iran and the Caucasus or the Caspian Sea), and secondly, dangerous because of the constant air raids of German aircraft. In 1945, instead of Iranian, the Black Sea route was used [14].

Since May 1942, deliveries averaged 80–90 thousand tons per month, and in the second half of 1943 – up to 200000 tons. Specially for the needs of

lend-lease in Iran, several automobile plants were built [14]. Over the years of the war more than 184 thousand cars were sent from the Iranian enterprises to the USSR. The cars were driven along the routes Tehran–Ashgabat, Teheran–Astara–Baku, Djulfa–Ordzhonikidze.

The Pacific route, which provided about half of the lend-lease supplies, was relatively safe. Since the beginning of the war between the United States and Japan since December 7, 1941, all transportation in the Pacific Ocean was carried out «exclusively Soviet steamships», as stated in the report of the People's Commissariat of Foreign Trade. The sea part of the route from the western coast of the USA to the Far Eastern ports took 18–20 days. The main receiver was Vladivostok, where 15 ocean vessels could be unloaded at the same time.

The main drawback of the Far Eastern route was its remoteness from the front. Cargoes, relatively quickly delivered to the USSR, were delayed for two or three weeks on the Trans-Siberian Railway because of the limited capacity of the main line.

The fact that this route was given special significance is evidenced by the fact that practically all the vessels of the Soviet transport fleet were given to the Far Eastern State Shipping Company (DVGMP) in early 1943. Since 1942, American transports began to arrive via lend-lease, first old ones repaired under a special program, and since January 1943 – and new ones: dry cargo ships of the Liberty type and tankers.

In June 1941, the fleet of DVGMP was 85 ships. In 1941–1945, the Far Eastern Shipping Company included 39 vessels, taken from other shipping companies. In different American ports were accepted: in 1942 – 27, 1943 – 46, 1944 – 20, 1945 – 35 vessels. A total of 167 transports were received, of which lend-lease – 128, they were mostly large-tonnage. Four large-capacity high-speed vessels of Dalstroï of the NKVD also participated in transportation through the Pacific Ocean [15].

From 1941 to 1945, the Far Eastern Shipping Company transported more than 12 million tons of cargo, including 7,95 million imports, the Primorsky Railway – 46,3 million tons [15].

During the Great Patriotic War Vladivostok loaded and sent to the west almost 400000 cars and platforms, more than 10 million tons of cargo, processed 32000 transport vessels [15].

The port of Murmansk over the same period processed slightly more than 2 million tons of imports, and the Arkhangelsk Group of ports (Arkhangelsk, Bakaritsa, Ekonomiya, Molotovsk, now Severodvinsk), based on US data, approximately 1,7 million tons. It turns out that Vladivostok has processed imported cargo almost 4 times more than Murmansk and almost 5 times more than Arkhangelsk (meaning the whole group of the White Sea ports).

Based on the documents of the state archive of the Kamchatka region on the work of the port of Petropavlovsk-Kamchatsky in the war years, a calculation was made, yielding a figure exceeding 2 million tons.

The distribution of cargo volumes processed by the USSR ports for lend-lease shipments is shown in Pic. 2.

Instead of conclusion. The article makes an attempt to provide an objective analysis of the contribution of domestic transport workers to development of logistics methods and transport logistics following the Second World War, with an emphasis on the practice of solving logistics tasks in the period from 1938 to 1945.

Undoubtedly, the methods of logistic management were widely used in our country in solving various problems of supply and transportation of material resources in the First and not only World War II, although the term «logistics» in Russian science and practice was not applied until the end of the 1980s of 20th century.

It is characteristic that in 1925 the People's Commissar for Military and Naval Affairs, M. V. Frunze stated: «Without the most thorough organization of the rear, based on accurate mathematical calculations, without establishing proper nutrition of the front, without all that is necessary for conducting operations, without the most careful consideration of transport providing logistic support, without organization of an evacuation business, it is inconceivable any reasonable, reasonable conduct of large military operations ...» [5].

The researches of scientists about the period of the Great Patriotic War in the field of supplying troops and organization of transport logistics support, as well as organization of evacuation business, undoubtedly confirmed the correctness of logistic principles when carrying out a large-scale logistic operation for the mass migration of population and material resources to the East of our country, the time of war, the volume of cargo transportation by rail only amounted to more than 600 million tons in all directions. We will add sea, river, automobile, air transport, and it becomes clear what really was the grandiose and multidimensional logistic scheme of the cargo front (parallel to the battle fronts), which today is associated with the unusual concept of «logistics».

REFERENCES

1. Kumaniev, G. A. War and evacuation in the USSR 1941–1942 [*Vojna i evakuacija v SSSR 1941–1942 gody*]. *Novaja i novejšaja istorija*, 2006, Iss. 6, pp. 7–27.
2. Vasiliev, N. Transport of Russia in the war of 1914–1918 [*Transport Rossii v vojne 1914–1918 gg.*]. Moscow, M.: Gos. voen. izd-vo NKO, 1939, 250 p.
3. Karavaev, G. Vehicles in the war of 1914–1918 [*Transportnye sredstva v vojne 1914–1918 gg.*]. *Voenno-istoricheskij zhurnal*, 1941, Iss. 1, pp. 48–74.
4. Gubin, V. V. Food deprivation was very palpable [*Prodoval'stvennye lisheniya byli ves'ma oshhutitel'ny*]. *Voenno-istoricheskij zhurnal*, 2014, Iss. 12, pp. 9–12.
5. Kutsenko, A. Ya., Kotvitsky, S.A. [et al]. The organization of material and technical support of troops: The course of lectures [*Organizacija material'no-tehnicheskogo obespechenija vojsk: Kurs lekcij*]. St. Petersburg, Kopi R-Grupp publ., 2011, 154 p.
6. Topchij, Yu. A., Gordeeva, L. P., Kolesnik, D. V. History of Railway Transport: educational guide [*Istorija zheleznodorozhnogo transporta: Ucheb. posobie*]. Moscow, MIIT publ., 2013, 244 p.
7. Kargin, D. I., Ketrits, V. K., Chegodaev, N. N. [et al]. Railways, their significance and organization [*Zheleznye dorogi, ih znachenie i organizacija*]. Leningrd, Priboi publ., 1930, 119 p.
8. Kashnikov, V. Increasing the capacity of a single-track line [*Uvelichenie propusknoj sposobnosti odnopusnoj linii*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 1941, Iss. 7–8, pp. 39–52.
9. Korneev, A. The rationalization of transportation – the most important task of transport [*Racionalizacija perevozok – vazhneshaja zadacha transporta*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 1941, Iss. 1, pp. 9–14.
10. Smolyaninov, A. Quickly introduce new technology [*Bystree vnedrjat' novuju tehniku*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 1941, Iss. 3–4, pp. 72–74.
11. Economic results of 1940 and the plan for development of the national economy of the USSR for 1941 [*Hozhajstvennye itogi 1940 goda i plan razvitiya narodnogo hozhajstva SSSR na 1941 god*]. *Zheleznodorozhnyj transport*, 1941, Iss. 2, pp. 10–12.
12. Alexander Trushin. Evacuation as industrialization [*Evakuacija kak industrializacija*]. [Electronic resource]: Kommersant.ru. <http://www.kommersant.ru/doc/2692858>. Last accessed 01.06.2017.
13. Pavel Sutulin. Lend-Lease. Myths and reality [*Lend-liz. Mify i real'nost'*]. [Electronic resource]: <http://gezesh.livejournal.com/9526.html>. Last accessed 01.06.2017.
14. Mikhail Bariatinsky. Lend-Lease: routes, volumes and debt [*Lend-liz: marshruty, ob'emy i dolg*]. [Electronic resource]: <http://vpk-news.ru/articles/7193>. Last accessed 01.06.2017.
15. Vladivostok during the Great Patriotic War [*Vladivostok v gody Velikoj Otechestvennoj vojny*]. [Electronic resource]: Union of cities of military glory. <http://srgvs.ru/vladivostok-v-gody-velikoy-otechestvennoj-voyny>. Last accessed 01.06.2017. ●

Information about the authors:

Prokhorov, Vladimir M. – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor at the department of logistics and supply chain management of St. Petersburg Branch of National Research University Higher School of Economics (HSE), St. Petersburg, Russia, vprohorov@hse.ru.

Chirukhin, Vladimir A. – Ph.D. (Eng), associate professor at the department of logistics and supply chain management of St. Petersburg Branch of National Research University Higher School of Economics (HSE), St. Petersburg, Russia, vtchiruhin@hse.ru.

Article received 01.06.2017, accepted 18.07.2017.





БУДУЩНОСТЬ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

К 180-летию российских железных дорог редакция публикует статью – ровесницу их создания.

Только на железных дорогах можно получить полное и точное понятие о том, что такое паровая машина. Везде в другом месте – на судах, в рудопониях, на заводах машина скрыта и, кроме стукотни и дыма, она не показывает ни малейшего признака жизни. Она похожа тогда на старых слепых лошадей, которые вертят колесо в тёмном углу какой-нибудь бедной мельницы. Но на железной дороге паровая машина свободна; она дышит, движется, живёт под открытым небом; она бежит, летит, останавливается, снова идёт, задыхаясь от нетерпения, наконец добегают до цели, вся в пыли, вся в пене! Здесь шестеро сильных человек бросаются на неё, хватают под уздцы, стирают с неё пыль и вот, снова оживляют её, опять готовят в путь. Вот зрелище, какое паровая машина представляет на железной дороге, и в ней едва ли не более поэзии, нежели во всяком другом; но пройдут века, прежде чем поэты сознаются в этом. Они привыкли к коням *бор-р-р-рым* и *р-р-ретивым*, к колесницам *быстр-р-ролетящим* и сокрушающимся на ристалищах олимпийских, к браздам неразрываемым; все их сравнения взяты из того порядка идеи: *Fertur equis auriga, neque audit curtus habenas.*

Но, мы предсказываем, поэзия, наконец, вынуждена будет переменить свои замашки и перебраться на железную дорогу. Я, с моей стороны, не знаю ничего, что могло бы так сильно поражать воображение, как бег, должно бы сказать, полёт по полю этой могучей машины, которая клопочет кипятком, полна раскалёнными углями; это единорог буйный, но покорный; это ревущий вулкан; он несётся быстрее вихря, но рука ребёнка может остановить его! Смотрите на паровую машину откуда угодно, везде она представляет вид очаровательный, — издали, между тем как она скользит между деревьев, которые насажены по бокам

дороги, между цветами и жнивами; ничто не может сравниться с её красотой, быстротой, увертливостью, ловкостью; вблизи, между тем как весь механизм ревет, огонь трещит и сверкает, меха дуют, печь дышит, колёса грызут железо; между тем как закопченный циклоп, который взобрался на хребет чудовища, умеряет или ускоряет по своей воле быстроту его, всё это даёт идею о величественном могуществе во всей его самоуверенности и силе. Пусть же кто-нибудь после этого осмелится заговорить о приятностях шоссе, о поэзии дилижансов; пусть лошадей, воспитанных на лугах, вскормленных сеном и соломой, осмелится сравнить с моим единорогом, который родился в огне и питается огнём. Пусть восхваляют искусство и ловкость кучеров; для меня на свете нет ничего более величавого, как хладнокровие моего циклопа!

Отстояв машину, я должен сказать несколько слов о дороге. Говорят, будто нет ничего однообразнее, как вид железной дороги; она идёт по прямой линии, избегает обитаемых мест, уничтожает все случайности, все приключения дорожные, всё уравнивает на пути своём, разгоняет и птиц и животных, мелькает перед прохожим, оглушает путешественника; наконец будто бы предоставляет больше опасностей, чем шоссе, содержимое в исправности.

Посмотрим. Во-первых, почему же железная дорога однообразнее обыкновенной большой дороги? Она бежит через поля, скачет через рвы и реки, проникает всюду: и в леса, и в долины, лезет на скаты гор, ложится мостом над безднами, пробирается и в темноте подземелий! Правда, что железные дороги обходят деревни, не идут и через города; но не угодно ли будет городам и деревням подойти поближе к железным дорогам: их выгода в том. Да и положитесь на могущество железных дорог; твёрдо верьте их будущности. Недолго будут они пролегать по пустыням. Где бы ни шла железная дорога, хотя она удаляется от домов, но дома подойдут к ней; везде, где учреждают станцию, она полагает основание селениям — что я говорю? — основывает города.

Но несчастные случаи? Скажем и о них. Говорят, «вы замёрзнете, от скорости замрёт дыхание ваше, вас оглушит стук, вы задохнетесь от дыма, переломаете себе руки и ноги». К счастью, ничего этого не бывает на железных дорогах. Были пробы всякого рода: охотники занимали и первые и последние места; ездили под открытым небом, не будучи ни чем защищены от ветра; садились и возле самой машины и очень далеко от неё, взлезали на вагоны, спали в дилижансе, то оборачивались лицом в ту сторону, куда ехали, то спиной, и что ж? Во всех этих положениях никто не терпел ни от дороги, ни от машины ни малейшего беспокойства. Движение экипажей мерно и спокойно; быстрота, как бы была ни велика, заметна только для глаз; стук исчезает в пространстве, быстрое течение воздуха уносит и развеивает дым. Что касается до важных несчастий, то их может быть только три следующих: или машина выскочит из рельсов и увлечёт за собою конвой¹, или изломаются её колёса, или лопнет котёл. В первом случае достаточно нескольких секунд, чтобы остановить машину; во втором, который чрезвычайно редок, тоже средство имеет тоже следствие; в третьем, который, при нынешнем устройстве машин почти решительно невозможен, горе, точно, горе неблагоприятному кондуктору, который пренебрежёт спасительными предосторожностями! Но прочие большей части будут спасены. С 7 мая 1836 года по Брюссельской железной дороге проехало более шестисот тысяч человек, и в течение этого времени не случилось ни одного несчастия. После того погибли два человека: один от собственной неосторожности, хотевши перепрыгнуть из вагона в вагон; другой был пьян, хотел устоять на цепи, которой конвой прицеплен к машине, свалился и попал под колёса. Еще случилось раз, что в то время как машина подъезжала, через дорогу проходила корова; испуганная стуком, она не успела уйти, была смята и раздроблена машиной, которая вдруг как бы отшатнулась; вагоны запрыгали, столкнулись между собою; пассажиры испугались, но никто не был оцарапан. Только на другой день хозяин коровы потребовал вознаграждения, но ему ничего не дали, потому что на вопрос, дано ли корове право прогуливаться по железной дороге, он не мог отвечать утвердительно.

¹ Поезд, везомый паровозом. *Ред. Железнодорожного дела.*



РИСУНКИ ЖЕТОНА,
в память пятидесятилетия
Высочайшего указа о первой
в России железной
дороге.



**Рисунки жетона в память пятидесятилетия
Высочайшего указа о первой в России железной
дороге.**

И так вообще несчастные случаи на железных дорогах гораздо реже, чем на обыкновенных: нет лошадей, которые бы понесли вас, нет оси, которая могла бы изломаться, нет опасности свалиться на бок, нет кучеров пьяных или сонных, которые опрокидывают вас в овраг, а иногда и в пропасть. Но если железные дороги не причиняют ни одного из таких ощущений, о которых, вероятно, жалеют их противники, зато сколько выгод представляют они! Сколько доброго производят! Какое изменение произведут они во взаимных отношениях и сношениях просвещённых народов!

Не говорю уже о быстроте перевоза и торговых последствиях, какие железные дороги неминуемо и в самом скором времени повлекут за собою. Справьтесь с торговыми книгами манчестерских купцов прежде и после учреждения железных дорог, и судите! Но в этих выгодах никто не сомневается. Многие даже пугаются ужасным размножением мануфактурных произведений, которым грозит чрезмерная быстрота сообщений; но они не думают о том, что железные дороги в то же время превосходные помощники потреблению. Как бы то ни было, но все согласны в огромных выгодах, проистекающих от удобства ехать так быстро, чтобы в час делать по 50 и более вёрст, или с такой же скоростью получать всякого рода товары и житейские потребности; а потому об этом не распространяюсь более: дело ясное.

Но вот каким образом железные дороги избавят человечество от многих болезней, против которых теперь бессильны пособия медицины. Ведь бывают же очень многие и важные болезни, от которых медики только и находят лекарства, что свежий воздух да движение. И скольких несчастий избегли бы многие тысячи семейств, скольких утрат не потерпело бы человечество, если бы в этом отношении всегда и всем можно



было следовать предписаниям медицины! Но теперь путешествовать, ехать в места, где благорастворённый климат, нужный для больного, могут одни богачи, и те, если не обязаны службой или не вынуждены оставаться дома какими-нибудь другими делами, по причине которых отлучиться на несколько продолжительное время никак нельзя. Множество людей, я уверен, чахнут и умирают в больших городах единственно от того, что не могут хоть раз в год сделать быстрого путешествия, подышать другим воздухом, посмотреть новые для них страны. Теперь, благодаря железным дорогам, путешествия, самые отдалённые, сделаются доступными каждому: и бедному и богатому, и больному и здоровому. Теперь, когда доктор скажет вам, путешествуйте! — он почти всегда только хочет отделаться от вас: и таких отсылных каждый год умирает очень много; но с железными дорогами от больного не так легко отделаешься. Он по ней съездит, и воротясь без пользы, станет обвинять медика, станет громко требовать, чтобы он его вылечил, потому что все больные непременно хотят вылечиться. И так железные дороги будут причиной, что доктора перестанут подшучивать над больными, и будут, наконец, вынуждены найти серьёзные средства против неизлечимых болезней.

Говорю, ни сколько не шутя, я уверен, что путешествие землёй на паровых машинах неминуемо сделается со временем одним из самых деятельных и сильных пособий медицины. Теперь всякое движение, какое вы доставите себе, всякое влияние воздуха, какому можете подвергнуться, вчетверо легче того, что представляют вам железные дороги. Вообразите, какое сильное действие должен иметь на скважинную поверхность человеческого тела столб воздуха, против которого вы мчитесь со скоростью пятидесяти вёрст в час. Откуда бы ни дул ветер на железную дорогу, если вы сядете на открытом месте, ветер всегда будет вам в лицо, а если он противный, то действует с чрезвычайной силой. Вас обдаёт точно волной в морских ваннах во время бури, вас качивает воздухом и это действие имеет силу одинаковую с качиванием водой. Вы недолго можете выносить такое влияние воздуха; но польза, им приносимая, не подвержена сомнению. По истечении часа,

проведённого в таком положении, вы почувствуете в себе необыкновенное возбуждение всех жизненных сил; лицо ваше проясняется, вы перестанете чувствовать тошноту, отрыжку, сделаетесь бодры, веселы, ипохондрия совсем исчезает. Это я говорю о больных; но и здоровым также полезно, потому что чрезвычайно возбуждает аппетит, и я знал в Брюсселе одного француза, который обедал дважды: в три часа и в шесть всякий раз, как дела принуждали его ехать по железной дороге в Антверпен. Два раза обедать! Вот одно из следствий новой системы сообщения, которое передаю на суд политико-экономистов; оно не принадлежит к самым маловажным.

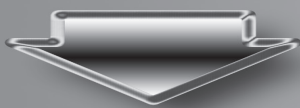
Как бы то ни было, я убеждён, что настанет время, когда путешествия на паровых машинах будут в известных болезнях предписываться медиками и, может быть, с большей пользой, чем теперь путешествия к водам. Станут говорить: сделайте десять, двенадцать, пятнадцать поездок на паровой машине, как теперь говорят: возьмите десять морских ванн, выпейте пятьдесят стаканов минеральной воды. Устроят для больных госпитали на вагонах под открытым небом, ресторации для здоровых; будут при железных дорогах особые доктора, как есть доктора при водах минеральных. И, как знать, может быть, мода более поможет успеху их, чем самое корыстолюбие. Мода и пары — вот два могущественнейшие деятели нашего времени.

Нечего, кажется, и говорить, почему на железных дорогах нельзя быть разбоям! Ясно, что разбойничье ремесло уже не воскреснет. Что может сделать разбойничья шайка против целой армии путешественников, которых машина мчит так быстро? Разбойникам остается только кидать голыши в рельсы. Но какое жалкое, бессильное мщение! Разбой погибнут везде, где устроятся железные дороги; но только и погибнет, что одна эта промышленность!

(Неизвестный автор. Из «Московского Наблюдателя», 1837 г., кн. II, стр. 475).

(Железнодорожное дело. — 1886. — № 15. — С. 136–137) ●

Редакция выражает благодарность персоналу библиотеки РУТ (МИИТ) за помощь в подготовке данного материала.



RAILWAYS: THE PROMISE FOR THE FUTURE

To commemorate the 180th anniversary of the Russian Railways, the editors rerun this article, an agemate.

It is only on a railway that one can fully and accurately grasp what a steam engine is. Anywhere else – on ships, in mines, in factories – the engine is hidden and, apart from the distant knocking, rattling and smoke, it shows not even the tiniest signs of life. In those other places, it reminds one of an old blind horse turning the wheel in a dark corner of some poor flour mill. But on a railway, the steam engine runs free; it breathes, runs, lives in the open; it gallops, flies, stops, trots again, breathless with impatience, and finally reaches the run's destination, all dusty and foamy with sweat! Here, six wiry men throw themselves at it, grab it by the bridle, wipe the dust and sweat off it, bringing it back to life and readying it for the road. This is what a steam engine looks like on the railway, and there is likely more poetry in it than in anything else; but centuries will pass before poets admit it. They are used to horses, darr-rr-ring and stubbb-bb-born; to chariots that fly-oh-so-fffasst and colliding on Olympic stadiums; to unbreakable reins; all their analogies come from ideas of the same order: Fertur equis auriga, neque audit currus habenas.

But, we prophesy, poetry will eventually be forced to change its ways and get on the railway. I, on my part, know of nothing that can impress one's imagination quite so strongly as the race, or, more properly, flight of this powerful machine through the fields; it gargles with boiling water, it is full of hottest burning coals; it is a violent but obedient Unicorn; it is a roaring volcano; it flies faster than wind, but a child's hand can stop it! Look at the steam engine from whatever side you please – it is a charming sight from any perspective – from a distance, when it is gliding among the trees planted on the sides of the railway, among flowers and fields of wheat; nothing compares with its beauty, speed, agility, and grace; close by, when the whole mechanism is roaring, fire cracking and flaring, the bellows blowing, the furnace breathing, the wheels grinding steel; when a smoked Cyclops, climbing on the monster's back, is taming down or rushing up its speed at will, – all of this embodies the idea of majestic power in its full self-confidence and strength. With all of these, let anyone dare speak of the pleasures of a high road, of the poetry of the stage coach; let them dare compare meadow-grown, hay-fed horses with my Unicorn, who was born in fire and feeds on fire. Let them praise the artfulness and agility of the coachman; to me, there is nothing more stately than the dignity of my Cyclops!

Having admired the machine, I must say a few words of the road. They say there is nothing more monotonous than the sight of a railway; it runs in a straight line, avoids populated areas, eliminates all happenstance, all travel adventures, levels out everything on its way, disperses both birds and

animals, flickers before a passer-by, deafens the traveler; and finally, it is alleged to hide more dangers than a well-kept high road.

Let us see. Firstly, how come a railway is more dull than a regular big road? It runs through the fields, jumps over ditches and rivers, it penetrates everything: both woods and valleys, it climbs hillsides, it launches bridges over chasms, it even crawls through the darkness of the subterranean! Indeed, railways go around villages, nor do they go through cities; but would cities and villages be so kind as to come closer to railways: they will benefit from it. Yes, be assured to rely on the power of railways; believe firmly in their future. It will not be for long that they run through deserts. Wherever the railway goes, it does try to keep farther away from houses, but houses chase it; everywhere where a station is set up, a town springs into being – but what am I saying? – whole cities are founded.

But accidents? Let us talk about them, too. They say, «You will freeze, your breath will stop because of the speed, you'll be deaf from the rattle, you'll suffocate with the smoke, your arms and legs will be broken.» Fortunately, nothing of the kind ever occurs on railways. There have been all sorts of trials: curious experimenters would take the first seats, and then the last ones; they would travel under the open sky with no protection against the wind; they would sit right next to the engine and as far away from it as they could; they would climb on the cars, sleep in the coach, they would travel face forward and back forward, and so? In all these positions no one suffered even the slightest inconvenience either from the road or the machine. The movement of trains is even and undisturbed; the speed, no matter how great, is only noticeable to the eye; the rattle fades away into space, the fast current of air takes away and disperses the smoke. As to important accidents, there can occur only the following three: either the machine jumps off the rails and pulls the convoy¹ after it, or its wheels fracture, or the boiler bursts. In the first case, a few seconds is enough to stop the machine; in the second, which is rare indeed, the same is true; in the third, which with the modern design of machines is almost decidedly impossible, woe, woe indeed is to the unreasonable conductor who disregards life-saving precautions! But most of the others will be salvaged. Since 7 May 1836, more than six hundred thousand people have traveled on the Brussels railway, and over this period, not a single accident occurred. Later on, two people lost their lives: one of his own recklessness, wanting to jump from one car to another; the other was drunk and wanted to stand on the link that connects the convoy to the machine, he fell and got under the wheels. It also happened once that when the machine was approaching, a cow was crossing the railway; scared by the rattling, it was too slow to escape and was hit and broken by the machine, which felt as if

¹ The train pulled by the steam engine. *Editor of Zheleznodorozhnoye Delo [Railway Business].*





Drawings of a token issued to commemorate the 50th anniversary of the Imperial Edict on Russia's first railway.

there was a sudden recoil; the cars shook and banged against one another; the passengers were frightened but no one was even scratched. It was only on the next day that the cow's owner demanded a compensation, but he was given nothing, because he could not answer in the positive to the question of whether the cow had been granted the right to walk around on the railway.

So in general, accidents on railways are far rarer than accidents on regular roads: no horses that can spur out of control, no axle that can break, no danger of falling on the side, no drunk or sleepy coachmen that could capsize into a ditch or, in some cases, a chasm. So railways cause not a single one of such unpleasant experiences, probably much to their critics' chagrin, but instead, how many benefits they provide! How much good do they bring about! How profound a change they will make in the mutual relations and dealings between enlightened nations!

I shall not talk much about the speed of transportation and consequential benefits to trade that railways will inevitably and very soon bring about. Look into the ledgers of Manchester merchants before and after the introduction of railways, and judge for yourselves! However, no one doubts these benefits. Many are even scared with the terribly large number of manufacturing facilities that are threatened by the excessive speed of transportation; but they fail to consider that at the same time railways are excellent helpers of consumption. Anyway, everybody agrees on the great benefits coming from the convenience of traveling so fast as to cover 50 and more versts in an hour, or get all sorts of goods or necessities; so I shall not dwell on it: the case is clear.

But this is how railways will deliver the humanity of many maladies against which medicine is helpless now. Indeed, there are numerous and important illnesses the only cures for which that doctors can find are fresh air and motion. How many woes would thousands of families have escaped, how many losses would humankind not have suffered if we could follow doctors' orders in each and every case! But now only the rich can afford travel, can go to places blessed with a health-giving climate that the ill person needs, and even they can do so if they are not held at home by some other business that cannot wait for however little extended time. A lot of people, I am sure, are fading and dying in large cities only because they cannot go on a quick trip at least once a year, to breathe a different air, to see countries that are new to them. Now, thanks to railways, travel to even the most locations will become affordable to everyone, be they poor or rich, sick or healthy. Now when the doctor tells you, «Travel!» he almost in all cases only wishes to get rid of you; and a lot of such go-away patients die each year; but with railways, it will not be so easy to get rid of the patient. He will take the railway

to travel and, returning without a benefit to his health, he will blame the doctor, he will make loud demands to be cured, because all patients want to get cured by all means. Thus, railways will cause the doctors to stop playing jokes on their patients, and will at last be forced to find serious medicines against incurable diseases.

I am saying it without a shade of joke, I am sure that travel by land on steam-driven machines will inevitably become, over time, one of the most actively used and strongest aids of medicine. Today, any motion that you can give yourself, any influence of the air that you can subject yourself to is just one-fourth of what railways can provide. Imagine how powerful an impact on the porous surface of the human body must a stream of air have if you dash through it at a speed of fifty versts an hour. No matter which way the wind is blowing, if you take an open-air seat, the wind will always be in your face, and if it's a headwind, then the impact will be extraordinary. It would feel like a wave in sea bathing during a storm, the air will pour on you with a force equal to the force of pouring water. You will not be able to bear with such a strong impact of air; but the benefit that it affords is beyond doubt. After an hour spent in such a position, you will feel an unusual excitement of all your life forces; your face will clear up, you will stop feeling nausea or having belches, you will become springy, joyous, and your hypochondria will go away completely. I have been speaking of the sick; but the healthy will also benefit, because their appetite will be greatly excited, and I knew a Frenchman in Brussels who ate two dinners: one at three and the other at six o'clock every time he had to travel to Antwerp on business by rail. To have two dinners! This is one of the consequences of the new system of transportation that I present to the judgment of political economists; and it is not an unimportant one.

Anyway, I am convinced that the time will come when travel on steam-driven machines will be prescribed by doctors for some known maladies, and maybe with greater benefits to the patients than today's travels to the waters. It will be phrased like this: make ten, or twelve, or fifteen trips on a steam engine, just as today they say: take ten sea baths, drink fifty glasses of mineral water. They will build hospitals on open-air railcars, and restaurants for the healthy; railways will have special doctors, just as there are special doctors at sources of mineral water. And, who knows, maybe fashion will be of greater help to them than greed itself. Fashion and steam – here are the most powerful agents of our times.

It seems that I do not even need to discuss why robbery is impossible on railways! It is clear that the trade of a robber will never be revived. What can a gang of robbers do against a whole army of travelers that are propelled at such a great speed by the machine? Robbers are left with only tossing pebbles at the track. But how pathetic, how impotent this revenge is! Robbery will die out everywhere where railways are built; but it will be only that one industry that will die!

(Author unknown. From «Moscow Observer», 1837, vol. 2, page 475.

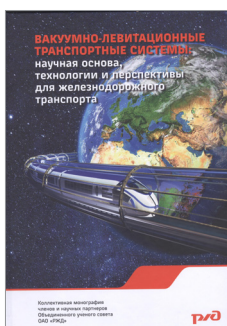
(Zheleznodorozhnoye Delo [Railway Business], 1886, No. 15, pp. 136–137) ●

The editors express their gratitude to the MIIT library personnel for their invaluable help in preparing this material.

T

ДОГОНЯЯ БУДУЩЕЕ 264

*Вчерашние фантазии
становятся реальностью.*



АВТОРЕФЕРАТЫ 269

- Экономическая эффективность технических средств холдинга.
- Управление инфраструктурными проектами.
- Пенобетон с повышенными свойствами.
- Композитные стройматериалы.
- Моделирование эпоксидных композитов.
- Конкурентоспособность инфраструктурной компании.

НОВЫЕ КНИГИ 271

Научная и учебно-методическая литература о транспорте.

CATCHING UP WITH THE FUTURE 264

*Yesterday's dreams
are becoming reality.*

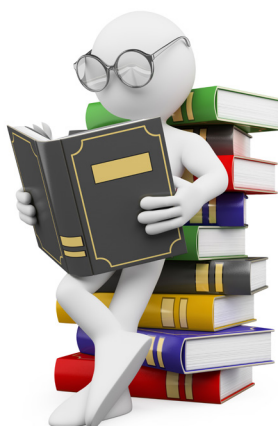
SELECTED ABSTRACTS OF PH. D. THESES 269

- *Management of infrastructural projects.*
- *Foam concrete with advanced features.*
- *Composite construction materials.*
- *Modelling of epoxy composites.*
- *Competitiveness of infrastructure company.*
- *Economic efficiency of technical facilities of holding company.*

NEW BOOKS 271

Scientific, research and didactic literature on transport.

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS





«Окна возможностей» для Транс-Евразийских Поясов



*English text
of the review
of the book
at p. 267*

Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта: коллективная монография / Под ред. Б. М. Лапидуса и С. Б. Нестерова. – М.: РАС, 2017. – 192 с.

Коллективная монография членов и научных партнёров Объединённого учёного совета ОАО «РЖД» посвящена вопросам фундаментальных научных исследований в области магнитолевитационных и вакуумно-левитационных технологий. Издание книги – весьма своевременный и значимый шаг на пути создания национального инновационно-технологического консорциума университетов, академических и отраслевых НИИ, проектных организаций, инновационных и венчурных компаний, которые готовы содействовать формированию государственной, промышленной, научно-технической и образовательной политики, рассчитанной на создание принципиально новых магнитолевитационных и вакуумно-левитационных транспортных систем.

Ключевые слова: транспорт, магнитолевитационные проекты, вакуумно-левитационные технологии, трансконтинентальные системы, будущее железных дорог.

Разработка теоретических основ и проектно-конструкторских решений для создания сверхскоростных транспортных систем XXI века – это не только движение в тренде общемировых тенденций, но и прорывное инновационное направление, отвечающее задачам стратегии развития транспорта России и переходу железнодорожного транспорта на принципиально новый технологический уровень.

В начале 2017 года Центр стратегических разработок, председателем совета которого является Алексей Кудрин, объявил о запуске совместно с Минэкономразвития РФ нового проекта «Россия будущего: 2017 → 2035». В рамках проекта граждане страны и экспертное сообщество ищут ответы на актуальные вопросы и, несмотря на многообразие мнений и прогнозов, в большинстве своём сходятся на том, что успех нашего социально-экономического развития будет базироваться на глобальных конкурентных преимуществах ведущих отраслей, включая сферу транспорта. Транспорт в данном случае выступает не только важнейшей составной частью

денежной базы экономики страны, двигателем инноваций и научно-технологического прогресса, но и условием связности огромной территории России, обеспечивающей устойчивое развитие её регионов и национальную безопасность.

В этом контексте особое место занимает национальный мегапроект «Интегральная евразийская транспортная система» (ИЕТС), подготовленный группой ученых под руководством директора Института социально-политических исследований, академика РАН Г. В. Осипова. Проектом предлагается объединение в единую сеть евразийских транспортных путей и современных средств связи на основе скоростной комплексной магистрали, соединяющей порты Приморья с западной границей Беларуси. В дальней перспективе — продление трассы через Чукотку, тоннель под Беринговым проливом в Северную Америку. Магистраль должна включать в себя не только железнодорожный комплекс, но и современную автотрассу, линию оптоволоконной связи.

Идея строительства высокоскоростного транспортного коридора от Тихого океана до Атлантики легла в основу концепции солидарного развития Евразии в другом инфраструктурном мегапроекте «Транс-Евразийский пояс «Развитие» (ТЕПР)».

Упомянутые концепции создания глобальной транспортной системы России полностью корреспондируют с проектом обсуждаемого прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Прогнозом предусматривается, в частности, «развитие международных транспортных коридоров и реализация транзитного потенциала страны для обеспечения товарообмена между странами, снижения себестоимости грузовых перевозок и повышения политического веса государства на международной арене». В долгосрочном периоде окном возможности станет «совершенствование технических параметров транспортных средств для расширения условий их эксплуатации (одновременно на воде, суше, в воздухе и др.); развитие национальной сети высокоскоростных железнодорожных магистралей (500 км/ч и выше) и расшире-

ние железнодорожной сети в целях разделения грузового и пассажирского движения». Для достижения этих стратегических целей должны быть разработаны и внедрены инновационные «системы скоростного и высокоскоростного (свыше 500 км/ч) железнодорожного движения; вакуумные поезда со скоростью движения до 4000 км/ч».

Почти 40 лет назад (с 30-летним перерывом на перестройку, кризисы и формирование рыночных отношений) в рамках кооперации большого количества различных организаций, вузов, проектных институтов отечественные учёные, инженеры и конструкторы начинали работу над транспортными системами с магнитным подвесом и линейным тяговым электроприводом. В последние годы возродился интерес к транспорту на новых технологических принципах. Этому способствовало появление высоковольтных и сильноточных силовых полупроводников (IGBT-транзисторов), новых магнитных материалов (Nd-Fe-B), металлокерамических высокотемпературных сверхпроводников (Y-Ba-Cu-O).

На наш взгляд, фундаментальные научные темы рецензируемой монографии, касающиеся проблем создания, поддержания вакуума, отвода тепла при перемещении в безвоздушном или глубоко разреженном пространстве, конструкции тягово-подъёмного модуля, бесконтактного перемещения и обеспечения разгона и торможения подвижных модулей внутри вакуумного пространства, элементов инфраструктуры вакуумно-трубопроводной транспортной системы, позволяют уже сегодня приступить к проектированию и испытанию прототипа нового вида транспорта, призванного обеспечивать не только рекордно высокие скорости перевозки грузов и пассажиров, но и добиваться минимальных энергетических затрат на перевозку, её безопасность и экологичность.

Авторы монографии не только знакомят нас со своими научными результатами и фактами, но и высказывают немало оригинальных идей и аргументов по обоснованию оптимального и инвестиционно-привлекательного метода реализации упомянутых мегапроектов.





Будущие интегральные транзитные высокоскоростные и сверхскоростные транспортные системы будут строиться на принципах разумной интермодальности, объединяя при необходимости все имеющиеся сейчас виды транспорта, включая и только-только развиваемые: «атмосферный» маглев, новые безаэродромные амфибийные, аэростатные и т.д. При этом становится очевидным – и это убедительно подтверждают результаты исследований учёных – вакуумно-трубопроводная транспортная технология на основе магнитной левитации по уровню энергетической и транспортной эффективности, экологичности и погоднезависимости пока не имеет себе равных, а в стратегической перспективе может стать ядром трансконтинентальной транспортной системы.

Необходимо упомянуть в связи с этим о ещё одном важном аспекте темы. В Интернете, некоторых докладах на научных конференциях и в публикациях технологию создания вакуумно-левитационных транспортных систем ассоциируют с так называемой «технологией ET3 – Evacuated Tube Transportation Технологии (E + 3 T)» и американским проектом Hyperloop.

На базе технологии ET3 образован консорциум «ET3 – Global Alliance» – американский открытый консорциум лицензиатов, организованный Дэрилом Остером в 1997 году с целью создания глобальной транспортной системы, использующей пассажирские капсулы на магнитном подвесе с размерами автомобиля, движущиеся в вакуумированных трубах диаметром 1,5 м (5 футов). В 2014 году ET3 представила серию новых патентов, относящихся к области магнитной левитации на основе высокотемпературной сверхпроводимости. На официальном сайте сообщается, что по состоянию на 2016 год более 380 лицензий были проданы в 22 страны, включая Китай.

На самом деле впервые основные принципы концепции транспорта на

магнитном подвесе в искусственно созданной разреженной вакуумной среде внутри герметичного трубопровода были сформулированы, разработаны и проверены нашим известным отечественным учёным-геофизиком, профессором Томского технологического института Борисом Петровичем Вейнбергом ещё в 1914 году, в прошлом веке, более 100 лет тому назад.

Одна из причин подобного рода явлений скрывается не в менталитете российских учёных или недостаточной их предприимчивости, но в патентном законодательстве Российской Федерации, в котором официально закреплена невозможность продвижения концептуальной идеи, лежащей в основе изобретения, и получения соответствующего официального патента. В России невозможно запатентовать концепцию, необходимо представить опытный образец. В Гражданском кодексе РФ от 18 декабря 2006 года № 230-ФЗ полностью сохранились статьи ранее действовавшего Патентного закона Российской Федерации. В статье 1350 п. 5 говорится: «Не являются изобретениями, в частности: 1) открытия; 2) научные теории и математические методы...» (в ред. Федерального закона от 12.03.2014 № 35-ФЗ).

Хочется надеяться, что коллективная монография российских учёных заинтересует не только самих исследователей и изобретателей, но и станет серьёзной заявкой на формирование актуальных планов научных исследований Российской академии наук, Минтранса России, ОАО «РЖД», других ведущих компаний, университетских центров. А может, даже станет и поводом, чтобы скорректировать «несправедливые» патентные законы.

Алексей ДАВЫДОВ,
кандидат технических наук,
доцент кафедры физики
Российского университета
транспорта (МИИТ),
Москва, Россия ●

Координаты автора: **Давыдов А. М.** – ikrmiit@mail.ru

Рецензия поступила в редакцию 20.09.2017, принята к публикации 12.10.2017.

WINDOWS OF OPPORTUNITIES FOR TRANS-EURASIAN BELTS

Vacuum and levitation transport systems: scientific foundation, technology and outlook for railways: Collective monograph. Edited by B. M. Lapidus, S. B. Nesterov. Moscow, RAS publ., 2017, 192 p.



ABSTRACT

Collective monograph of the members and scientific partners of the Joint scientific council of the JSC Russian Railways is devoted to the issues of fundamental research in the field of magnetic levitation and vacuum levitation technology. The publication of the book is a timely and important step towards creation of national innovation and engineering consortium of universities, academic and corporate research institutes, design organizations, innovation and venture companies, who will be capable to promote public industrial, scientific, research and educational policy, aimed at creating new magnetic levitation and vacuum levitation transport systems.

Keywords: transport, magnetic levitation, projects, vacuum levitation engineering, transcontinental transport system, future railways.

Development of fundamentals and design decisions for the creation of super speed transport systems of the 21st century does not mean movement within the global trend only, but follows the advanced innovative streamline, that responds to the objectives of the transport strategy of Russia and to the transition of railways to a radically new technological level.

At the beginning of 2017 the Centre of strategic development, chaired by Alexey Kudrin, together with the Russian Ministry of economic development announced the start of a new project, called «Russia of the Future: 2017 → 2035». Citizens and expert community are looking within the framework of the project for the answers to topical questions and, regardless of multitude of opinions and forecasts, most participants agree that the success of national social and economic development should be determined by global competitive advantages of leading economic sectors, comprising transportation field. Transport in that case is not only a part of monetary base of the country, a driver of innovation and scientific and technological progress, but also a condition of connectivity of the huge territory of Russia, that guarantees sustainable development of its regions and national security.

Seen in that context national megaproject «Integral Eurasian transport system» (IETS), developed by the group of scientists under the leadership of the director of the Institute of social and political studies, member of the Russian academy of sciences G. V. Osipov, is undoubtedly of importance. The project suggests to integrate into the single network Eurasian transport routes and modern communications on the basis of speed complex multimode highway linking sea ports of Primorye [Ed. note: the name of Russian

Far-Eastern region on the coast of Pacific, literally translated from Russian as seaside or coastland] and the western border of Belorussia. Long perspective can be seen as extension of the route via Chukotka, tunnel under Bering strait to Northern America. The route should include not only railway segment, but modern motorway and a fiber-optic communication line.

The idea of the construction of high-speed transport corridor from Pacific to Atlantic has provided the basis of the concept of solidary development of Eurasia within another infrastructure megaproject «Trans-Eurasian Belt Development» (TEPR).

The above mentioned concepts of creation of globally integrated transport systems of Russia correspond fully with the project of now discussed forecast of scientific and technological development of Russia till 2030. The forecast supposes development of transport corridors and implementation of transit capacity of the country to ensure intercountry exchanges of goods, to reduce costs of freight transportation, and to raise the political weight of the country on international scene. In long term window of opportunity will be opened for enhancement of technical parameters of transport vehicles to extend the conditions of their operation (simultaneously in air, on land, in water etc.); for development of national network of high-speed railways (500 km / h and faster) and for enlargement of rail network to separate freight and passenger traffic. To achieve those strategic goals it would be necessary to develop and implement innovative systems of speed and high speed (faster than 500 km / h) railway systems, vacuum trains with speeds up to 4000 km / h.

Almost 40 years ago (that is to say that we had a 30-years long break caused by perestroika,



crisis, development of market relations) Russian scientists, researchers, engineers, designers started, within cooperation of a large number of different organizations, universities, design institutes, to work at transport vehicles with magnetic levitation and linear electrical traction. The interest to the transport designed new technological principles has recently renewed. The emergence of high-voltage and high-current power semiconductors (IGBT-transistors), new magnetic materials (Nd-Fe-B), metal-ceramic high-temperature superconductors (Y-Ba-Cu-O) has contributed to the raise of the interest.

In our opinion fundamental scientific topics of the reviewed monograph (related to the problems of creation and maintaining of vacuum, heat evacuation during movement in air-free or evacuated environment, design of traction and elevation module, contactless movement, provisions for acceleration and braking of movable modules in vacuum environment, structure elements of vacuum tube transport system) allow today to start just now designing and testing of prototypes of new mode of transportation, destined to provide records of high speed transportation of freight and passengers, to achieve also minimum power consumption of transportation, its safety and environmental friendliness.

The authors of the monograph present the results of their researches and scientific data, put forward original ideas and arguments to substantiate optimum and investment-attractive method of implementation of the mentioned megaprojects.

Future integral transit, high-speed and super-speed transport systems will be built on the principles of reasonable intermodality, unifying if necessary all the existing mode of transportation, comprising also those which are now being developed, like «atmospheric» magnetic levitation, new amphibious (not requiring aerodromes), balloons, lighter-than-air airships, and other modes. And it becomes evident (the results of the researches of scientists prove it) that vacuum tube transportation technology based on magnetic levitation is unmatched in its power and transport effectiveness, environmental friendly features, weather «independence», and regarding long-term outlook could become core for transcontinental transport system.

It is necessary to mention another important aspect of the topic. Internet sources,

some reports at scientific conferences, publications associate technology of vacuum and levitation transport systems with so called «ET3 technology» (Evacuated Tube Transportation Technologies (E + 3 T)) and with Hyperloop project.

Basing on ET3 technology Daryl Oster founded in 1997 in the United States an open consortium of licensees called «ET3 – Global Alliance». Alliance was organized to create global transport system using passenger capsules magnetically elevated, sized like a passenger car, and moving in vacuum tubes of 1,5 m (5 ft) diameter. In 2014 ET3 presented a set of new patents in the field of magnetic levitation based on high-temperature superconductivity. The official Web-site announced that by 2016 more than 380 licenses have been sold to 22 countries, comprising China.

As a matter of fact, main principles of the concept of the transport using magnetic levitation in artificially created evacuated vacuum environment within sealed tube or pipeline were formulated, developed and verified for the first time by Boris P. Veinberg, well known Russian geo-scientist, Professor of Tomsk institute of technology in 1914, in last century, more than 100 years ago.

Main causes of such phenomenon are not linked to the mentality of Russian scientists or to the lack of business spirit but rather to the Russian patent laws that stipulate that it is impossible to patent conceptual idea, e.g. basis of invention. So it is impossible to patent a concept in Russia, it is necessary to produce type model. Civil code of Russia (Federal Law No. 230, dated December 18, 2006, revised in 2014) maintained all the articles of previously acted Russian Patent law. The article 1350, p. 5 tells us that 1) discoveries, 2) scientific theory or mathematical methods... are not inventions.

I would like to hope that the collective monograph of Russian scientists will be of interest not only for researchers and inventors themselves but will contribute to development of renewed plans of researches in the Russian Academy of Sciences, Ministry of Transport, JSC Russian Railways, other leading companies, and universities, and probably will be an occasion to modify «unfair» patent laws.

Alexey M. DAVYDOV ●

Information about the author of the review:

Davydov, Alexey M., Ph.D. (Eng), associate professor at the department of physics of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ikrmiit@mail.ru.

Review received 20.09.2017, accepted 12.10.2017.

АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

*Selected abstracts of Ph.D. theses
submitted at Russian University
of Transport
(англ. текст – English text – p. 270)*

Завьялова Н. Ф. Экономическая оценка эффективности использования технических средств структурных подразделений транспортного холдинга / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2017. – 24 с.

В ходе исследования определены параметры производственных процессов для расчёта составляющих фондоотдачи, доказана зависимость обновления и использования технических средств, способствующих объективности и полноте экономических обоснований инвестиционных и инновационных проектов компаний. Разработана методика оценки проектных решений, учитывающая показатели фондоотдачи и использования технического потенциала транспортного холдинга, в том числе по видам бизнес-направлений.

Калачев М. А. Экономическое обоснование системы управления инфраструктурными проектами на железнодорожном транспорте / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2017. – 24 с.

Диссертантом систематизированы элементы организационно-экономического механизма реализации проектов высокоскоростного железнодорожного сообщения, участники которых имеют общие коммерческие и общенациональные интересы при ключевой роли в этом сотрудничестве государства. Обосновано применение интегрального иерархического критерия, учитывающего факторы риска в процессах инновационного развития. Предложен методический подход, основанный на ранжировании показателей системы управления на начальном этапе жизненного цикла проекта.

Касумов А. Ш. Пенобетон с повышенными эксплуатационными свойствами / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М., 2017. – 24 с.

Разработан рациональный дисперсный состав неавтоклавного модифицированного пенобетона. Повышенные эксплуатационные свойства достигаются за счёт многоуровневой оптимальной упаковки частиц твёрдых компонентов с минимальной толщиной прослойки цементного камня, обеспечивающего предельно стеснённые условия при формировании структуры плотных межячеистых перегородок с высокой концентрацией твёрдой фазы в единице объёма. Получены математические модели, позволяю-

щие корректировать состав пенобетона в зависимости от количества тонкодисперсного шлака и данных комплексного модификатора.

Меркулов Д. А. Композиционные строительные материалы на основе полиэфирной смолы ПН-609–21М / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Саранск, 2017. – 26 с.

Установлены зависимости изменения свойств полиэфирных композитов с присутствием смолы ПН-609–21М при выдерживании в биологически агрессивных средах, разработаны виды, обладающие улучшенными характеристиками стойкости в условиях агрессивного воздействия микроорганизмов и продуктов их метаболизма. Разработаны рациональные составы и выявлены основные физико-технические свойства лакокрасочных, мастичных и каркасных композитов, созданных при наличии полиэфирных связующих.

Смирнов И. В. Моделирование физико-механических свойств и климатической стойкости эпоксидных композитов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Саранск, 2017. – 24 с.

Выявлен уровень деструкции цементного камня в бетонных и железобетонных конструкциях и полимерных покрытий по ним в зависимости от ориентации и расположения элементов и характера агрессивного воздействия на материалы по высоте сооружения. С помощью разработанной модели предложены расчётные формулы, пригодные для формирования композитов с минимальными структурными напряжениями. В ходе динамических испытаний доказано, что каркасные полимербетоны обладают высокой ударной прочностью и могут, выполняя роль защитных покрытий, одновременно подвергаться воздействию и динамических нагрузок, и агрессивных сред.

Шептухина Ю. А. Методы управления конкурентоспособностью инфраструктурной компании железнодорожного транспорта / Автореф. дис... канд. экон. наук. – М., 2017. – 24 с.

В диссертации определены группы факторов, влияющих на конкурентоспособность компании, для выбора приоритетных направлений инвестирования в инфраструктурные программы, выделены способы управления критическими для конкурентоспособности факторами. Разработана методика оценки риска потери конкурентной силы при недостаточном объёме финансовых вложений в развитие подразделений дирекции тяги инфраструктурной компании. Предложена модель распределения ограниченного объёма инвестиций с учётом целевого управления критическими для конкурентоспособности рисками. ●



ABSTRACTS OF PH.D. THESES

*Selected abstracts of Ph.D. theses
submitted at Russian University
of Transport*

Kalachev, M. A. Economic substantiation of the system of railway infrastructure project management Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.

The study systemized elements of organization and economic mechanism of implementation of the high-speed rail projects that involve participants with common commercial and national interests, emphasized the key role of public authorities in that cooperation. The author substantiated the use of integral hierarchic criterion, that considers risk factors influencing innovation development, suggested a methodological approach based on ranking of the indices of the management system at the first stage of the life cycle of a project.

Kasumov, A. Sh. Foam concrete with enhanced operation features. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Moscow, 2017, 24 p.

The study describes the development of rationally dispersed composition of not steam-and-pressure cured modified foam concrete. Enhanced operation features of the concrete were achieved thanks to multilayer optimal reinforcement with particles of solid components with minimum width of an interlayer of cement rock, thus allowing mostly constrained conditions during formation of the structure of stiff intercell partition walls with high concentration of the solid phase in a volume unit. The author obtained mathematical models permitting to correct and revise composition of foam concrete depending on the quantity of finely dispersed slag and on the features of a given complex modifier.

Merkulov, D. A. Composite building materials based on polyester resin PN-609–21M. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Saransk, 2017, 26 p.

The study determined the dependencies in changes of the features of polyester composite materials with resin PN-609–21M after keeping it in biologically aggressive media, developed types of those composite materials that have enhanced resistance features to microbial and microbial metabolites attacks. The author developed rational compositions and revealed physical and engineering properties of paint-and-

varnish, mastic and carcass composite materials with polyester binding agents.

Sheptukhina, Yu. A. Methods of management of competitiveness of railway infrastructure company. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.

The thesis identified groups of factors influencing the competitiveness of a company, singularized methods of managing factors which are critically important for competitiveness of a company while choosing investment priorities regarding infrastructure projects. The author developed methods of assessment of risks of losing of competitiveness if volume of funding of development of traction units of an infrastructure company is insufficient. The thesis suggested a model of assignment of a limited volume of investment funds considering targeted management of risks which are critically important for competitiveness.

Smirnov, I. V. Modelling of mechanical-and-physical properties and climatic resistance of composite epoxy materials Abstract of Ph.D. (Eng) thesis. Saransk, 2017, 24 p.

The study revealed the level of destruction of cement rock in concrete and reinforced concrete structures and of destruction of their polymer coatings depending on orientation and location of the elements and on the origin of aggressive impact on the materials along the height of the structure. The developed model serves a basis to suggest calculation formulas suitable for developing of composite materials with minimum structural tensions. The dynamics tests proved that carcass polymer concrete possesses high impact strength and is able, while being used as protective coating, to resist both dynamic loading and aggressive environment.

Zavialova, N. F. Economic assessment of effectiveness of the operation of technical facilities of the entities of transport holding company. Abstract of Ph.D. (Economics) thesis. Moscow, 2017, 24 p.

The study identified the parameters of industrial processes for calculation of the components of output per unit of capital funds, proved the dependence of the operation of technical facilities on their renewal, facilitating objectivity and completeness of economic substantiation of feasibility of corporate investment and innovation projects. A set of methods was suggested allowing to assess project decisions, taking into account the indices of capital efficiency and of the operation of technical capacity of a transport holding company, particularly regarding different business activities. ●

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

English text is at p. 272

Амин Эш, Трифт Найджел. Города: переосмысляя городское. — Нижний Новгород: Красная ласточка, 2017. — 218 с.

Архипов А. П., Базанов А. Н., Белозеров С. А. и др. Страхование и управление рисками. Проблемы и перспективы / Под ред. С. А. Белозерова, Н. П. Кузнецовой. — М.: Проспект, 2017. — 527 с.

Брославский Л. И. Техническое регулирование и стандартизация качества продукции и безопасности окружающей среды: законы и реалии России, США и Евросоюза. — М.: Проспект, 2017. — 191 с.

Бурханов С. Б., Вальков В. Е., Кучеренко Л. В. Коммерческая работа флота. Практикум. Ч. 1: Учеб. пособие. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. — 303 с.

Бычков В. П., Гончаров В. Н., Морковина С. С. и др. Экономика и организация предпринимательской деятельности в сфере автомобильных перевозок: Учеб. пособие. — Воронеж: ВГЛТУ, 2017. — 235 с.

Гладун И. В., Волосникова Г. А. Экологические проблемы реконструкции морских портов российского Дальнего Востока. — Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2017. — 147 с.

Ибляминова М. Р. Английский язык в сфере управления водными и мультимодальными перевозками: Учеб. пособие. — Астрахань: Изд-во АГТУ, 2017. — 111 с.

Козлов Д. М., Комарова В. А. Проектирование узлов авиационных конструкций: Учеб. пособие. — Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2017. — 96 с.

Коткин П. Н. Техногенная безопасность как объект правового и криминалистического исследования: Монография. Ч. 1: Теоретические и прикладные основы правового исследования техногенной безопасности. — М.: Проспект, 2017. — 126 с.

Кудин А. П. Частные предприятия в Китае: политика и экономика: ретроспективный анализ развития в 1980–2010-е годы. — М.: Дашков и К°, 2017. — 493 с.

Кузнецова Н. П., Фатхуллина Л. З. Инструментарий управления инновационной активностью социально-экономической системы на основе использования логистического потенциала: Монография. — Уфа: РИК УГАТУ, 2017. — 101 с.

Лебедев Д. С. Внешнеэкономическая деятельность предприятий в схемах и таблицах: Учеб. пособие. — М.: Проспект, 2017. — 400 с.

Львова Н. А. Проактивный кризис-менеджмент: диагностика и реструктуризация: Учеб. пособие / Под ред. Н. А. Львовой, Н. В. Покровской. — М.: Проспект, 2017. — 237 с.

Мамина Е. А. Управленческий анализ в отраслях: Учеб. пособие. — 2-е издание, стереотипное. — М.: Флинта, 2017. — 159 с.

Международная интеграция и интеграционное право: Учебник / под общ. ред. В. А. Шамахова, В. П. Кириленко, С. Ю. Кашкина. Санкт-Петербург: ИПЦ СЗИУ — фил. РАН-ХиГС, 2017. — 880 с. Плетнёв К. И. Основные компоненты инноватики как науки об инновациях: Монография. — М.: Проспект, 2017. — 157 с.

Прикладные научные исследования: экономика и инновационные технологии управления. Кн. 2: Монография/колл. авторов; под общ. ред. В. И. Бережного. — М.: Русайнс, 2017. — 222 с.

Рейнор Майкл, Ахмед Мумтаз. Как думают великие компании: три правила: Пер. с англ. А. Сатунина. — М.: Азбука-Бизнес, 2017. — 350 с.

Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Инфраструктуры информационной среды: Монография. — М.: Макс Пресс, 2017. — 74 с.

Рыбников Р. А., Рыбников А. М. Морские порты и портовые сооружения: Учеб. пособие. — Новороссийск: ГМУ им. адмирала Ф. Ф. Ушакова, 2017. — 194 с.

Самуйлов В. М., Левченко М. А. Логистика складирования. — Екатеринбург: УрГУПС, 2017. — 205 с.

Самуйлов В. М., Кошкаров Е. В., Кошкаров В. Е., Левченко М. А. Развитие теории и практики инновационной деятельности на транспорте и в дорожном хозяйстве: Монография. — Екатеринбург: УрГУПС, 2017. — 205 с.

Фаттахова А. Ф. Организация грузовых перевозок: Учеб. пособие. — Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2017. — 100 с.

Худяков Ю. Г., Николайкин Н. И., Андрусов В. Э. Управление опасностями производственной среды: Монография. — М.: Проспект, 2017. — 128 с.

Шеваль В. В., Огольцов И. И., Терсков В. Г. Динамика пространственной системы автоматического сопровождения авиационного базирования: Учеб. пособие. — М.: Библио-Глобус, 2017. — 198 с.

Шишмарёв В. Ю. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник. — М.: КноРус, 2017. — 300 с.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК ●





NEWLY PUBLISHED BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

Amin Ash, Thrift Nigel. Cities: Reimagining the Urban (Translated from English. Russian title: *Goroda: pereosmyslyaya gorodskoe*). Nizhny Novgorod, Krasnaya Lstochka publ., 2017, 218 p.

Arkhipov, A. P., Bazanov, A. N., Belozero, S. A. [et al]. Insurance and risk management. Problems and perspectives [*Strakhovanie i upravlenie riskami. Problemy i perspektivy*]. Ed. by Belozero, S. A., Kuznetsova, N. P. Moscow, Prospekt publ., 2017, 527 p.

Berezhnoy, V. I. [et al]. Applied researches: economics and innovative management techniques. Vol. 2: Monograph [*Prikladnye nauchnye issledovaniya: ekonomika i innovatsionnye tekhnologii upravleniya*]. Ed. by Berezhnoy, V. I. Moscow, Rusains publ., 2017, 222 p.

Broslavsky, L. I. Regulation and standardization of product and environmental quality and safety: laws and real situation in Russia, United States and European Union [*Tekhnicheskoe regulirovanie i standartizatsiya kachestva produktov i bezopasnosti okruzhayushchey sredy: zakony i realii Rossii, SSHA i Evrosoyuz*]. Moscow, Prospekt, 2017, 191 p.

Burkhanov, S. B., Valkov, V. E., Kucherenko, L. V. Merchant fleet operations. Practical exercises. Part 1: Tutorial [*Kommercheskaya rabota flota. Praktikum. Chast 1: Uchebnoe posobie*]. Vladivostok, Dalrybvtuz [Far Eastern State Technical Fishery University] publ., 2017, 303 p.

Bychkov, V. P., Goncharov, V. N., Morkovina, S.S. [et al]. Economics and business organization in the field of road transportation: Tutorial [*Ekonomika i organizatsiya predprinimatel'skoj deyatel'nosti v sfere avtomobil'nykh perevozok*]. Voronezh, VGLTU [Voronezh State University of Forestry and Technologies] publ., 2017, 235 p.

Fattakhova, A. F. Organisation of freight transportation: Tutorial [*Organizatsiya gruzovykh perevozok*]. Orenburg, Orenburg State University, 2017, 100 p.

Gladun, I. V., Volosnikova, G. A. Ecological problems of reconstruction of sea ports of Russian Far East [*Ekologicheskie problemy rekonstruktsii morskikh portov rossijskogo Dal'nego Vostoka*]. Khabarovsk, TOGU [Pacific National University] publ., 2017, 147 p.

Iblyaminova, M. R. English language in the field of management of water and multimode transportation: Tutorial [*Anglijskiy yazyk v sfere upravleniya vodnymi i mul'timodal'nymi perevozkami*]. Astrakhan, AGTU [Astrakhan State Technical University] publ., 2017, 111 p.

International integration and integration law: Textbook [*Mezhdunarodnaya integratsiya i integratsionnoe pravo*]. Ed. by Shamakhov, V. A., Kirilenko, V. P., Kashkin, S. Yu. St. Petersburg, IPTS SZIU [North Western Management Institute – a branch of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration] publ., 2017, 880 p.

Khudyakov, Yu. G., Nikolaykin, N. I., Andrusov, V. E. Management of dangers of industrial environment: Monograph [*Upravlenie opasnostyami proizvodstvennoy sredy*]. Moscow, Porspekt publ., 2017, 128 p.

Kotkin, P. N. Anthropogenic safety as an object of legal and criminalistics study: Monograph [*Tekhnogennaya bezopasnost' kak ob'ekt pravovogo*

ikriminalisticheskogo issledovaniya]. Part 1: Theoretical and applied fundamentals of legal study of anthropogenic safety [*Teoreticheskie i prikladnye osnovy pravovogo issledovaniya tekhnogennoj bezopasnosti*]. Moscow, Prospekt publ., 2017, 126 p.

Kozlov, D. M., Komarova, V. A. Designing of units of aircrafts: Tutorial [*Proektirovanie uzlov aviatsionnykh konstruksij*]. Samara, Samara University publ., 2017, 96 p.

Kudin, A. P. Private enterprises in China: politics and economics: retrospective analysis of development in 1980–2010s [*Chastnye predpriyatiya v Kitae: politika i ehkonomika: retrospektivnyy analiz razvitiya v 1980–2010-e gody*]. Moscow, Dashkov and Co., 2017, 493 p.

Kuznetsova, N. P., Fathullina, L. Z. Tools for management of innovation activities of social and economic system on the basis of logistics capacity: Monograph [*Instrumentarij upravleniya innovatsionnoj aktivnost'yu sotsial'no-ehkonomicheskoy sistemy na osnove ispol'zovaniya logisticheskogo potentsiala*]. Ufa, RIK UGATU [Ufa State Aviation Technical University] publ., 2017, 101 p.

Lebedev, D. S. Foreign trade activities of enterprises in charts and tables: Tutorial [*Vneshneehkonomicheskaya deyatel'nost' predpriyatij v skhemakh i tablitsakh*]. Moscow, Prospekt, 2017, 400 p.

Lvova, N. A. Proactive crisis management: diagnostics and restructuring: Tutorial. [*Proaktivnyy krizis – menedzhment: diagnostika i restrukturizatsiya*]. Ed. by Lvova, N. A., Pokrovskaya, N. V. Moscow, Prospekt, 2017, 237 p.

Mamina, E. A. Management analysis for economic sectors: Tutorial [*Upravlencheskij analiz v otraslyakh*]. 2nd ed. Moscow, FLINTA publ., 2017, 159 p.

Pletnyov, K. I. Main components of «innovatika» as of a science about innovation: Monograph [*Osnovnye komponenty innovatiki kak nauki ob innovatsiyakh*]. Moscow, Prospekt, 2017, 157 p.

Raynor, Michael E., Ahmed, Mumtaz. The Three Rules: How Exceptional Companies Think [Translation from English. Russian title: *Kak dumayut velikie kompanii: tri pravila*]. Moscow, Azbuka-Biznes, 2017, 350 p.

Rozenberg, I. N., Tsvetkov, V. Ya. Infrastructure of information environment: Monograph [*Infrastruktury informatsionnoy sredy*]. Moscow, MAKSPress, 2017, 74 p.

Rybnikov, R. A., Rybnikov, A. M. Sea ports and port facilities: Tutorial [*Morskije porty i portovye sooruzheniya*]. Novorossiysk, Admiral Ushakov State Maritime University, 2017, 194 p.

Samuylov, V. M., Koshkarov, E. V., Koshkarov, V. E., Levchenko, M. A. Development of the theory and practices of innovation activities in transport and road sectors: Monograph [*Razvitie teorii i praktiki innovatsionnoj deyatel'nosti na transporte i v dorozhnom hozyajstve*]. Ekaterinburg, Urals State University of Railway Engineering, 2017, 205 p.

Samuylov, V. M., Levchenko, M. A. Warehousing logistics [*Logistika skladirovaniya*]. Ekaterinburg, Urals State University of Railway Engineering, 2017, 205 p.

Sheval, V. V., Ogoltsov, I. I., Terskov, V. G. Dynamics of spatial system of automatic follow-up of aviation basing: Tutorial [*Dinamika prostranstvennoy sistemy avtomaticheskogo soprovozhdeniya aviatsionnogo bazirovaniya*]. Moscow, Biblio-Globus, 2017, 198 p.

Shishmaryov, V. Yu. Metrology, standardization, and certification: Textbook [*Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya*]. Moscow, KnoRus, 2017, 300 p.

List compiled by Natalia OLEYNIK ●