

ТРАНСПОРТ

МИР

WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

2 2020
Том / Vol. 18



Стр./р. 172

УТВЕРЖДЕНА КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С УЧАСТИЕМ БЕСПИЛОТНИКОВ

25 марта 2020 года распоряжением Правительства Российской Федерации утверждена Концепция обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования. Концепция разработана Минтрансом России совместно с Минпромторгом при участии заинтересованных ведомств, организаций и представителей экспертного сообщества.

Документ направлен на реализацию рекомендаций международного сообщества по внедрению в национальное законодательство регулирования в сфере использования высокоавтоматизированных, в том числе беспилотных, транспортных средств.

Концепцией установлены принципиальные подходы:

- безопасность через обеспечение ситуационной осведомленности беспилотных транспортных средств. Данный подход обеспечивается путём максимального использования возможностей дорожно-транспортной инфраструктуры и всестороннего риск-менеджмента;
- безопасность через обеспечение необходимых функциональных возможностей



беспилотных транспортных средств, дополняющих и при необходимости дублирующих возможности дорожно-транспортной инфраструктуры, а также за счёт обмена информацией между транспортными средствами;

- безопасность через обеспечение надлежащей организации дорожного движения на основе динамического управления транспортным потоком, посредством управляющих действий со стороны интеллектуальных транспортных систем.

По материалам Министерства транспорта

Российской Федерации

<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9472> •

CONCEPT FOR ROAD SAFETY CONSIDERING DRIVERLESS CARS APPROVED

The Government of the Russian Federation approved on March 25, 2020 the Concept for ensuring the road traffic safety with participation in traffic on public road of driverless vehicles. The concept was developed by the Ministry of Transport of Russia jointly with the Ministry of Industry and Trade with participation of interested departments, organisations and representatives of the expert community.

The document is aimed at implementing the recommendations of the international community on introducing into national legislation the regulation in the field of operation of highly automated, comprising driverless, vehicles.

The concept establishes fundamental approaches:

- safety through provision of situational awareness of driverless vehicles. This approach is ensured by maximizing the capacity of the road infrastructure and comprehensive risk management;

- safety through provision of the necessary functionality to driverless vehicles supplementing and, if necessary, duplicating the capabilities of the road infrastructure, as well as through the information exchange between vehicles;

- safety through ensuring proper organization of traffic on the basis of dynamic control of traffic flow, through the control actions of intelligent transport systems.

Compiled based on the materials of the Ministry of Transport of Russian Federation

<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9472> •

Транспорт

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

2020
2 (87)

СОДЕРЖАНИЕ

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учрежден МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

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

В. В. Виноградов – доктор технических наук, профессор РУТ

А. К. Головнич – доктор технических наук, доцент Белорусского государственного университета транспорта

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

Б. В. Гусев – член-корреспондент Российской академии наук

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

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

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

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

Б. М. Куанышев – доктор технических наук, профессор Казахской академии транспорта и коммуникаций

Б. М. Лапидус – доктор экономических наук, профессор

Д. А. Мачерет – доктор экономических наук, профессор РУТ, первый заместитель председателя Объединенного научного совета ОАО «РЖД»

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

А. В. Сладковски – доктор технических наук, профессор Сileszского технологического университета (Республика Польша)

Ю. И. Соколов – доктор экономических наук, профессор РУТ

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

Т. В. Шепитко – доктор технических наук, профессор РУТ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Игорь АГУРЕЕВ

Развитие теории макросистем как необходимое условие повышения качества транспортного моделирования 6

*Александр КРАВЧУК, Анжелика КРАВЧУК,
Арнольд МИХИЕВИЧ, Николай ГАЙС*

Теоретический метод управления расходом перекачиваемой среды по положению запирающих элементов трубопроводной арматуры 22

Мария САВОСИНА

Оценка эффективности устойчивого развития транспорта 50

НАУКА И ТЕХНИКА

Иван БОНДАРЬ, Михаил КВАШНИН, Динара АЛДЕКЕЕВА

Напряжённо-деформированное состояние железобетонного путепровода под нагрузкой 68

Владимир ШАПРАН, Зульфия ФАЗИЛОВА

Факторы, оказывающие влияние на развитие продольных профильных деформаций земляного полотна в криолитозоне 82

Олег ТЕРЕГУЛОВ

Новые подходы к оценке состояния изоляционного материала тяговых электродвигателей электровозов 102

ЭКОНОМИКА

Василий ЖУКОВ

Исследование предпосылок возникновения операционного убытка в деятельности авиакомпаний 118

Илья ЛАВРОВ

Разработка «Дома качества» на рынке железнодорожного транспорта 136

*Олег КАРАСЕВ, Максим ЖЕЛЕЗНОВ,
Сергей ТРОСТЬЯНСКИЙ, Юлия ШИТОВА*

Комплексный анализ форм инновационной деятельности зарубежных железнодорожных компаний 158

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Б. А. ЛЁВИН –

главный редактор

Е. Ю. ЗАРЕЧКИН –

первый заместитель главного редактора

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

Е. С. АШПИЗ –

д.т.н., доцент РУТ

Л. А. БАРАНОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. М. БЕЛОСТОЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

Г. В. БУБНОВА –

д.э.н., профессор РУТ

Ю. А. БЫКОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. А. ГРЕЧИШНИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Б. ЗЫЛЁВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. И. КОНДРАЩЕНКО –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

А. А. ЛОКТЕВ –

д.Ф-м.н., профессор РУТ

С. Я. ЛУЦКИЙ –

д.т.н., профессор РУТ

О. Е. ПУДОВИКОВ –

д.т.н., доцент РУТ

В. Н. СИДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

Н. П. ТЕРЁШИНА –

д.э.н., профессор РУТ

В. С. ФЁДОРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

В. М. ФРИДКИН –

д.т.н., старший научный сотрудник РУТ

В. А. ШАРОВ –

д.т.н., профессор РУТ

А. К. ШЕЛИХОВА –

руководитель редакции

РЕДАКЦИЯ

И. А. ГЛАЗОВ –

редактор

Н. К. ОЛЕЙНИК –

технический редактор

М. В. МАСЛОВА –

английский перевод

При перепечатке ссылка на журнал «Мир транспорта» обязательна.

© «Мир транспорта», 2020

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*Олег ПОКУСАЕВ, Александр ЧЕКМАРЕВ,
Виктор ЕВСЕЕВ*

К вопросу о назначении дополнительных остановок пассажирским поездам дальнего следования в границах города Москвы 172

Олег МОСКВИЧЕВ, Светлана ЛЕОНОВА

Методика выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов на основе оптимизационной математической модели 198

Ольга ЮСУПОВА

Анализ качества обслуживания грузоотправителей-частных лиц 214

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Юрий СОКОЛОВ

Институт экономики и финансов Российской университета транспорта: вехи становления и развития 226

Пресс-архив. Об улучшении условий пассажирского движения по железным дорогам Петербургского узла пригородным и городским 245

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Алексей РАЗУВАЕВ

Журнал «Современник» о железной дороге (социально-экономический анализ) 260

Авторефераты диссертаций 270

Новые книги о транспорте 275

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

Устойчивое развитие:

82-я сессия Комитета по внутреннему транспорту ЕЭК ООН 21

Умные перекрёстки в Москве 116

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

Журнал выходит 6 раз в год. Тираж 500 экз. Цена свободная.

**Подписной индекс в каталоге Агентства «Роспечать»
«Газеты. Журналы» – 80812.**

Отпечатано с оригинал-макета в полиграфическом центре ФГУП Издательство «Известия», 127254, Москва, ул. Добролюбова, д. 6, тел.: (495) 650-38-80, izv-udprf.ru.

Ознакомиться с содержанием вышедших номеров можно на сайте научной электронной библиотеки elibrary.ru или на сайте <https://mirtr.elpub.ru>, с условиями публикации – на сайте <https://mirtr.elpub.ru>.

Журнал включён в Российский индекс научного цитирования, информация размещается в базах данных РГБ, Соционет, Ulrich's Periodicals Directory, Library of Congress, WorldCat.org.



World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

2020
Vol. 18
Iss. 2

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

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

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

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

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

Dmitry G. Evseev, D.Sc. (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. Kuanyshov,
D.Sc. (Eng), professor of Kazakh
Academy of Transport and
Communications

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

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. Mirotik, D.Sc. (Eng),
professor of Moscow State
Automobile and Road Technical
University

Taisiya V. Shepitko, D.Sc. (Eng),
professor of Russian University of
Transport

Aleksander V. Sladkowski,
D.Sc. (Eng), professor of Silesian
University of Technology (Republic
of Poland)

Yuriy I. Sokolov, D.Sc. (Econ),
professor of Russian University of
Transport

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

Valentin V. Vinogradov, D.Sc. (Eng),
professor of Russian
University of Transport

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

Igor E. AGUREEV

Development of the Theory of Macrosystems as a Necessary
Condition for Improving Quality of Transport Modelling 14

*Alexander S. KRAVCHUK, Anzhelika I. KRAVCHUK,
Arnold P. MIKHIEVICH, Nikolay Yu. GAYS*

Theoretical Method for Controlling the Flow Rate
of the Pumped Medium by Positioning Locking Elements
of the Pipe Fittings 36

Maria I. SAVOSINA

Assessment of Effectiveness of Sustainable Transport Development 59

SCIENCE AND ENGINEERING

*Ivan S. BONDAR, Mikhail Ya. KVASHNIN,
Dinara T. ALDEKEEVA*

Stress-Strain State of Reinforced Concrete Overpass under Load 75

Vladimir V. SHAPRAN, Zulfia T. FAZILOVA

Factors Influencing Development of Longitudinal Profile Deformations
of the Roadbed in the Permafrost Zone 92

Oleg A. TEREGULOV

New Approaches to Assessing State of Insulating Material
of Traction Electric Motors of Electric Locomotives 109

ECONOMICS

Vasily E. ZHUKOV

The Study on Prerequisites for Operating Losses in the Airline Activity 127

Ilya M. LAVROV

Development of the House of Quality for Rail Transportation Market 148

*Oleg I. KARASEV, Maxim M. ZHELEZNOV,
Sergey S. TROSTYANSKY, Yulia A. SHITOVA*

Comprehensive Analysis of Forms of Innovative Activity
of Foreign Railway Companies 165

EDITORIAL BOARD

Boris A. LYOVIN,
editor-in-chief
Evgeny Yu. ZARECHKIN,
first deputy editor-in-chief

BOARD MEMBERS

Evgeny S. ASHPIZ,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport

Leonid A. BARANOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

Alexander M. BELOSTOTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

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

Yuriy A. BYKOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

Victor S. FEDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

Vladimir M. FRIDKIN,
D.Sc. (Eng), senior researcher of Russian University of Transport

Victor A. GRECHISHNIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport

Valeriy I. KONDRAHENKO,
D.Sc. (Eng), senior researcher of Russian University of Transport

Alexey A. LOKTEV,
D.Sc. (Phys.-Math.), professor of Russian University of Transport

Svyatoslav Y. LUTSKIY,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

Oleg E. PUDOVIKOV,
D.Sc. (Eng), associate professor of Russian University of Transport

Victor A. SHAROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

Alla K. SHELIKHOVA,
head of editorial office

Vladimir N. SIDOROV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

Natalia P. TERYOSHINA,
D.Sc. (Econ), professor of Russian University of Transport

Vladimir B. ZYLYOV,
D.Sc. (Eng), professor of Russian University of Transport

EDITORIAL STAFF

Ivan A. GLAZOV,
editor

Natalia C. OLEYNIK,
editorial secretary

Maria V. MASLOVA,
translator

ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL

Oleg N. POKUSAEV, Alexander E. CHEKMAREV, Victor S. EVSEEV

On the Issue of Assigning Additional Stops for Long-Distance Passenger Trains within the Boundaries of the City of Moscow. 186

Oleg V. MOSKVICHEV, Svetlana A. LEONOVA

Methods of Selection of Transport Interchange Hubs Location Based on Optimization Mathematical Model 206

Olga A. YUSUPOVA

Assessment of Quality of Service Provided to Private Consignors. 220

HISTORY WHEEL

Yuri I. SOKOLOV

Institute of Economics and Finance of Russian University of Transport: Milestones of Establishment and Development 236

News from the Archives. On Improving the Conditions for Passenger Traffic on Suburban and Urban Railways of Petersburg Junction 252

BIBLIO-DIRECTIONS

Alexey D. RAZUVAEV

Sovremennik Magazine about the Railways (socio-economic analysis) 265

Abstracts of Ph.D. theses 272

New Books on Transport and Transportation 276

EXPRESS INFORMATION

Sustainable Development: The 82nd Session of the UNECE ITC 21

Smart Intersections in Moscow 116

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

Current issues are circulated in 500 hard 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.

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.

Information for the authors and editorial politics are available at the Web site <https://mirtr.elpub.ru/jour>.

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) and the Web site <https://mirtr.elpub.ru/jour>.

The journal is indexed in Russian scientific citation index system, Russian state library, Scionet, Ulrichsweb, Library of Congress, WorldCat.org.

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.



МАКРОСИСТЕМЫ 6

Обновлённый взгляд
на транспортное
моделирование.



ТЕОРИЯ РАСЧЁТОВ 22

Расчёты взаимодействия
арматуры и перекачиваемой
жидкости.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ 50

Достижение целей
устойчивого развития
на транспорте: как измерить
эффективность процессов.

MACROSYSTEMS 14

*Renewed view of transport
modelling.*

THEORY OF CALCULATIONS 36

*Computation of interaction
between pipe fittings and
pumped fluid.*



SUSTAINABLE DEVELOPMENT 59

*Achievement of SDG for
transport: how to evaluate
efficiency of the processes.*

A_Ω

Развитие теории макросистем как необходимое условие повышения качества транспортного моделирования



Агуреев Игорь Евгеньевич – Тульский государственный университет (ТулГУ), Тула, Россия.*

Игорь АГУРЕЕВ

Рассматриваются вопросы развития теории транспортных макросистем с учётом основных достижений, полученных в работах А. Дж. Вильсона, Ю. С. Попкова, А. В. Гасникова, Е. В. Гасниковой и других авторов. Транспортная макросистема считается сложной многокомпонентной системой, для которой применимы термодинамические аналогии (состояние равновесия, информационная энтропия как функция параметров состояния, наличие основных феноменологических схем заполнения состояний элементами и т.д.). Для дальнейшего развития теории развития технологий транспортного моделирования и достижения сформулированной таким образом цели статьи предложено учитывать несколько обстоятельств, которые отражают современные

тенденции развития транспортных систем: многообразие транспортных систем, динамический характер функционирования, множество различных элементов, которые могут подчиняться разным схемам заполнения состояний. Для реализации указанной программы используются различные методы: введённое автором уравнение транспортного процесса, что позволяет довольно легко перейти к квазидинамическим постановкам задач транспортного моделирования, а также общее формальное представление системы в виде совокупности элементов, которая определена на основании анализа многих работ отечественных авторов. В заключение обсуждаются вопросы дальнейшего развития теории транспортных макросистем в динамической постановке.

Ключевые слова: транспортная система, теория макросистем, транспортное моделирование, математическая модель, классификация транспортных систем.

*Информация об авторе:

Агуреев Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой автомобилей и автомобильного хозяйства Тульского государственного университета (ТулГУ), Тула, Россия, agureev-igor@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 19.03.2020, принята к публикации 24.04.2020.

For the English text of the article please see p. 14.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие теории макроскопических систем как систем с большим количеством стохастических элементов имеет отношение, прежде всего, к статистической физике. Классические и квантовые системы, состоящие из большого числа молекул, атомов, ионов, элементарных частиц, могут рассматриваться в рамках молекулярно-кинетического или термодинамического подходов. Особенностью физических систем является возможность существования детерминированных макроскопических состояний для системы в целом при стохастическом поведении частиц.

Использование молекулярно-кинетической аналогии для описания транспортных систем впервые было предложено, по-видимому, в работах А. Дж. Вильсона [1–5]. В них было использовано представление о том, что многие закономерности физических макросистем можно обнаруживать в сложных системах различной природы. В предисловии к книге [1] Ю. С. Попков указывал на системы обмена и распределения экономических ресурсов. По сути дела, любая транспортная система на уровне города, региона проявляет некоторые свойства, которые позволяют считать её «макроскопической». Отметим, что в англоязычной научной литературе теория макроскопических систем относится исключительно к системам физическим [6]. Советская и современная российская трактовка этого термина имеет два значения. В первом – это те же физические системы [7], а во втором – действительно сложные системы, участвующие в транспорте и распределении ресурсов. Именно второму классу систем посвящены наиболее известные труды академика РАН Ю. С. Попкова [9–13]. В западной литературе аналогом этого термина является понятие «городская система» [8], однако оно не охватывает весь спектр транспортных систем, рассматриваемых в рамках макроскопического подхода.

Одним из наиболее существенных вкладов А. Дж. Вильсона в теорию транспортных систем является энтропийный подход, смысл которого заключается в максимизации функции, отвечающей

за наиболее вероятное (равновесное) состояние элементов в макроскопической системе [1]. Эта функция может быть построена на основе, например, информационной энтропии, и её конкретный вид зависит от того, какого типа состояния и элементы имеются в системе, а также, главным образом, от способа заполнения элементами возможных состояний. В результате может быть получена постановка задачи, в которой определяется равновесие системы, состоящей из хаотически действующих элементов.

Если вести речь о транспортных системах, то в них присутствует как детерминированное, так и хаотическое (точнее неопределённое) поведение участников транспортных процессов. Как было сказано в указанной выше работе [1, с. 8], «как бы ни была высока степень централизации, экономическая система обмена столь сложна, что случайные (*неуправляемые*) факторы в ней всегда остаются». Однако, общим свойством таких макросистем является их способность по аналогии с физическими преобразовывать хаотические действия элементов в некоторый детерминированный процесс.

Если указывать основные результаты работ А. Дж. Вильсона, то следует упомянуть:

- 1) разработку большого числа различных транспортных моделей, учитывающих расщепление по видам поездок, типам коммуникаций и маршрутам;
- 2) разработку различных моделей межрегионального обмена (по сути, тех, что мы называем сейчас «транспортно-логистическими системами»);
- 3) распространение энтропийного метода на неравновесные состояния транспортных систем;
- 4) использование понятия «систем с максимальной полезностью» для макроскопических систем и др. [1–5].

Вклад Ю. С. Попкова в дальнейшее развитие теории макросистем определяется систематическим изложением аппарата феноменологических схем (статистик Бозе–Эйнштейна, Ферми–Дирака, Больцмана) в рамках транспортно-распределительных, экономических, демографических систем, полным исследованием свойств стационарных их состояний,



Таблица 1

Элементы и состояния транспортной макросистемы (примеры) (составлена автором)

№	Элементы	Состояния
1	Транспортное средство (ТС)	a. Элемент i находится в транспортном районе j ;
2	Маршрутное ТС	b. Элемент i находится в транспортном районе j и зоне транспортного района k ;
3	Немаршрутное ТС	c. Элемент i находится в перегоне j улично-дорожной сети (УДС);
4	Водитель ТС	d. Элемент i находится в ТС j ;
5	Пассажир	e. Элемент i находится на маршруте j ;
6	Пешеход	f. Элемент i находится на остановочном пункте j и т.д.
7	Маршрут	

Примечание: Некоторые состояния невозможны для отдельных элементов.

численным методом решения задач равновесия, обобщением результатов на случай динамического поведения транспортных макросистем [9–13].

Отметим, что в настоящее время сложился огромный пласт транспортных задач, которые явно или неявно используют основные результаты теории транспортных макросистем. Среди них следует отметить работы [14–20], которые мы выделяем с целью лишь указать на широкий круг решаемых теорией макросистем задач, но ни в коей мере не претендуем на полноту библиографии данной темы. При этом возникает актуальность в новых условиях цифрового транспорта переосмыслить наследие процитированных работ и наметить пути развития технологий транспортного моделирования. Это и является целью настоящей статьи.

КРАТКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ МАКРОСИСТЕМЫ

Рассмотрим обобщённую транспортную макросистему с непрерывным временем t , содержащую U однотипных элементов с некоторым видом поведения из множества $B(t) = \{\beta_d(t), \beta_s(t)\}$. Пусть каждый элемент может иметь состояние из p классов K_1, \dots, K_p . Классификация состояний такова, что эти классы не пересекаются.

Обозначим $\sigma^1, \dots, \sigma^p$ – множества состояний, где $\sigma^i \in K_i$. Будем далее полагать, что множества состояний – дискретные для $\beta_s(t)$ (или непрерывные для $\beta_d(t)$) и со-

держат конечное число элементов (или бесконечное соответственно).

В настоящем разделе ограничимся случаем однородной макросистемы, элементы которой могут принимать состояния только одного класса. Например, под классом состояний можно понимать «расположение в транспортном районе–зоне» (стоке–источнике элементов системы). Данный класс состояний может применяться для элементов с типом поведения $\beta_s(t)$. Другим примером понятия «класс состояния» может быть «средняя скорость транспортного потока в перегоне», применяемого для элементов типа «транспортное средство» или «транспортный поток» с детерминированным типом поведения $\beta_d(t)$. Такому классу соответствует непрерывное (бесконечное) множество состояний, детерминированным образом связанное с множествами состояний других классов. Таким образом, системы с детерминированным видом поведения в рамках принятого определения не могут быть однородными, так как связаны одновременно с несколькими классами состояний.

Итак, однородная система имеет одно множество состояний элементов σ , подмножества которого $\sigma_1, \dots, \sigma_m$ таковы, что их объединение совпадает с σ , а пересечение любых пар – пустое.

Элементы макросистемы могут случайно и независимо друг от друга попадать в любое состояние из подмножеств $\sigma_1, \dots, \sigma_m$. Относительно каждого фикси-

рованного подмножества σ_n для элемента есть две возможности: попасть в любое состояние из σ_n с априорной вероятностью a_n и не попасть с вероятностью $(1 - a_n)$.

Рассмотрим в качестве примера некоторое множество элементов транспортной макросистемы автомобильного (городского) транспорта, способных находиться в соответствующих состояниях (табл. 1), и содержащее основные элементы и состояния, которые могут дополняться в зависимости от содержания поставленной задачи. Постановка задачи, в которой присутствуют все элементы (и соответствующие им множества состояний), вряд ли целесообразна, да и возможна в принципе с точки зрения её разрешимости. Более рациональный путь – формулировка частных случаев, которые содержат не более 2–3 элементов. Например, можно рассмотреть решение задачи о загрузке маршрутов транспортными средствами с учётом наполняемости. Тогда в постановке задачи будут использоваться элементы 2, 5, 7 и соответствующие возможные состояния $\{d, e, f\}$.

Теория макросистем имеет основные этапы построения, которые укажем в соответствии с работой Ю. С. Попкова [8]:

- 1) вводятся термины и понятия, феноменологическая схема;
- 2) вводится базовое понятие «вероятность макросостояния» как величина $P(N) = \prod_{n=1}^m P_n \cdot (N_n)$, которая выражается через вероятности состояний отдельных элементов $n = 1, \dots, m$;
- 3) для определения функции $P(N)$ рассматривается механизм заполнения состояний в σ_n , в зависимости от типа состояний (ферми-, эйнштейн- или больцман-состояние), а на этой основе определяется функция $P(N)$ и далее – физическая и информационная энтропии;
- 4) полученные вероятностные характеристики позволяют учитывать особенности феноменологической схемы однородной изолированной макросистемы, состоящие в не равновероятном выборе элементами системы соответствующих состояний в подмножествах $\sigma_n (n \in \overline{1, m})$;

- 5) делается вывод о том, что обобщённая энтропия для макросистемы имеет

единственный максимум, «острота» которого с ростом числа элементов в системе возрастает;

6) устанавливается распределение элементов однородной системы по подмножествам близких состояний, которое может быть связано, например, с расходованием различных ресурсов, наличием и действием «ценовых функций» транспортной сети и т.д., то есть выполняется решение конкретных задач, связанных чаще всего с определением равновесия макросистемы. Примером является классическая задача о загрузке улично-дорожной сети [20], в которой используется энтропийный подход при учёте распределения дальности поездок [1].

Среди основных недостатков традиционной теории следует указать в целом недостаточное внимание к неравновесным состояниям систем в совокупности с рассмотрением транспортных процессов в динамике.

КВАЗИДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ МАКРОСИСТЕМЫ

Отметим, что повышение точности транспортного моделирования может быть достигнуто за счёт комплексного использования различных мер, направленных на уменьшение влияния фактора «трудноизмеримости» параметров состояния транспортной системы:

- 1) использование методов для построения качественных матриц корреспонденций;
- 2) использование данных, хранящихся в базах интеллектуальных транспортных систем;
- 3) развитие теоретического аппарата для решения задач теории транспортных макросистем в неравновесной и/или динамической постановке;
- 4) использование новых задач расщепления, которые бы шире развивали понятие расщепления по видам поездок, способам передвижения и др., предложенных А. Дж. Вильсоном.

Для осуществления такого направления развития требуется новое описание модели «транспортной системы». В работе [21] на основе подробного анализа структуры термина «транспортная система» предложен подход, который даёт



возможность описания транспортных и транспортно-логистических систем на основе уравнения транспортного процесса, учитывающего интенсивности произвольного числа операций входящего в структуру транспортного процесса любого числа транспортных средств. Такие возможности для получения информации создаются современными технологиями (IoT, Big Data).

Представим описание модели транспортной системы, которая обобщает полученные в работе [21] результаты и предоставляет основу для использования в широком круге задач транспортного моделирования.

Транспортная система описывается в виде совокупности элементов:

1) логическая и пространственная связь между источниками и стоками транспорта (в более широком описании – ресурса некоторого вида);

2) временные характеристики связей (время начала и продолжительности действия каждой связи);

3) соответствующие провозные (пропускные) способности;

4) план транспортного процесса;

5) критерии эффективности функционирования систем (или наличие цели).

В соответствии с этим определением можно составить обобщённую структуру модели произвольной транспортной системы, которая должна включать в себя уравнения, определяющие:

1) граф дорожной сети;

2) матрицу связей как логических (булевых) функций времени;

3) провозные возможности системы (в качестве альтернативного описания здесь могут быть заданы уравнения для пропускных возможностей улично-дорожной сети или уравнения для интенсивностей потоков);

4) степень выполнения транспортного задания (уравнения транспортных процессов);

5) критерии эффективности или условия равновесия.

Количество транспортных средств и число маршрутов входят в такую модель как параметры. Тогда модель обобщённой транспортной системы можно записать в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{A} = \tilde{A}(t); \\ \tilde{n} = \tilde{n}(t), \quad \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \\ \Delta\tau = \sum_{k=1}^n \Delta\tau_k; \\ \Delta\tau_k \in \{\Delta\tau_1; \Delta\tau_2; \dots; \Delta\tau_n\}; \\ q_{ij} = q_{ij}(t); \\ \pi_v = \pi_v(t); \\ k = 1, \dots, l. \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь:

t – время, которое в модели является непрерывным с дискретными (выделенными) моментами, выбранными для расчёта или определения состояния системы;

τ_0 – время начала наблюдения системы;

$\Delta\tau$ – продолжительность работы транспортной системы (продолжительность существования, моделирования и т.п.);

$\Delta\tau_k$ – интервалы между точками расчёта (рассмотрения) системы;

k – индекс интервала времени;

$\rho = \rho(t)$ – матрица размерности $i \times j$ транспортных связей;

q_{ij} – транспортный поток (интенсивность потока; пропускная способность элемента сети; провозная возможность потока транспортных средств);

i, j – индексы узлов транспортной сети, между которыми измеряется величина q_{ij} ;

$\pi_v = \pi_v(t)$ – уравнение транспортного процесса, выражающее долю (степень) завершения поездки (перевозки);

v – индекс транспортного средства.

Заметим, что система (1) не имеет в явном виде матрицы корреспонденций, множество маршрутов и т.п. Вместо этого может применяться матрица $\rho = \rho(t)$ совместно с потоками q_{ij} . Критерии эффективности, условия равновесия, оптимизации или иные экстремальные условия пока в систему (1) не включены, сделаем это позже.

Модель (1) должна для каждого конкретного случая приобретать завершённый вид, позволяющий производить вычисления или решение оптимизационной задачи. Поэтому для выбранной системы эти уравнения дополняются вспомогательными условиями (функции распределения; уравнения баланса; вариационные равенства и т.п.). Один из вариантов заключается в формули-

ровке системы (1) в квазидинамической постановке и с учётом некоторой информации о расходовании ресурсов во время выполнения транспортных процессов.

Для линейного расходования ресурсов:

$$G_{pq}(x) = \sum_{i,j}^{m,n} t_{qij} x_{p_{ij}} = g_{pq}, q \in \overline{1, r}, \quad (2)$$

где r – число типов ресурсов;

g_{pq} – запас ресурса q -го типа;

t_{qij} – параметр функции расходования;

ρ – индекс маршрута;

q – индекс типа ресурса.

Для нелинейного расходования ресурсов соответствующее выражение выглядит как:

$$G_{pq}(x) = \phi_{pq}(x_{p_{11}}, \dots, x_{p_{ij}}, \dots, x_{p_{mn}}) = g_{pq}. \quad (3)$$

Тогда уравнения (1) могут быть записаны в наиболее общем виде в зависимости от времени (для случая одного типа ресурса):

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{A} = \tilde{A}(t); \\ \rho = \rho(t), \quad \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \\ \Delta\tau = \sum_{k=1}^l \Delta\tau_k; \\ \Delta\tau_k \in \{\Delta\tau_1; \Delta\tau_2; \dots; \Delta\tau_n\}; \\ q_{ij} = q_{ij}(t), \quad q(t) = \sum_{i,j}^{m,n} q_{ij}(t); \\ \mathbf{G}_p(x) = \phi_p(x_{p_{11}}(t), \dots, x_{p_{ij}}(t), \dots, x_{p_{mn}}(t)) \leq \mathbf{g}_p; \\ H(x^*(\Delta\tau_k)) \rightarrow \max; \\ k = 1, \dots, l. \end{array} \right. \quad (1a)$$

Покажем связь между $G_p(x, t)$ и $\pi_v = \pi_v(t)$. Введём вектор $V(t) = (V_1, \dots, V_a, \dots, V_p)$, который группирует все транспортные средства (ТС) по маршрутам:

$$V_a = \sum v(t) | v \in p_a.$$

Для каждого ТС имеется индивидуальная функция расходования ресурса, зависящая от значения функции транспортного процесса. Для простоты примем, что все ТС однородны по типу, и тогда можно допустить наличие одной функции для всех ТС, зависящей от π_v . Очевидно, что каждому компоненту вектора V можно поставить в соответствие величину текущего расхода ресурса $G_p(x, t) \rightarrow V \otimes \pi_p(t)$.

Здесь $\pi_p(t)$ является вектором доли выполненного транспортного процесса,

осреднённой для всех ТС на каждом маршруте. Мерой соответствия является удельная величина индивидуального расхода ресурса:

$$G_p(x, t) = g_{vp} \otimes V \otimes \overline{\pi_p}(t).$$

Заметим, что компоненты вектора g_{vp} зависят от маршрута. Ограничения g_p утверждают наличие предельных значений расходования ресурсов, которые могут достигаться на маршрутах в течение одного цикла работы транспортной системы. Конечно, могут быть выбраны и иные способы определения $G_p(x, t)$ через функции транспортного процесса. Это может быть темой отдельного рассмотрения.

Тогда (1a) запишем в окончательном виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{A} = \tilde{A}(t); \\ \rho = \rho(t), \quad \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \\ \Delta\tau = \sum_{k=1}^l \Delta\tau_k; \\ \Delta\tau_k \in \{\Delta\tau_1; \Delta\tau_2; \dots; \Delta\tau_n\}; \\ q_{ij} = q_{ij}(t), \quad q(t) = \sum_{i,j}^{m,n} q_{ij}(t); \\ \pi_v = \pi_v(t), \quad v = 1, \dots, n_v(t); \\ \mathbf{V}(t) = \{V_1, \dots, V_p : V_\alpha = \sum v(t) | v \in p_\alpha\}; \\ \mathbf{G}_p(x, t) = \mathbf{g}_{vp} \otimes \mathbf{V} \otimes \overline{\pi_p}(t) \leq \mathbf{g}_p; \\ H(\mathbf{V}^*(\Delta\tau_k)) \rightarrow \max; \\ k = 1, \dots, l. \end{array} \right. \quad (16)$$

Очевидно, что формула (16) является более общей по сравнению с (1a), так как детальная информация о транспортных процессах всегда позволяет определить функцию расходования ресурсов. Обратное же не всегда возможно выполнить однозначно. В качестве экстремального условия здесь записана процедура максимизации энтропии, зависящая от конкретного типа состояний (феноменологической схемы макросистемы), принятого в системе. В качестве допущения обычно используется распределение Больцмана, что, конечно, требует отдельного обсуждения в каждом случае (см., например, [8, с. 77]). Безусловно, что экстремальное условие может быть записано и в ином виде, что не ограничивает общности (16).

Таким образом, настоящая формулировка утверждает существование последо-





вательности равновесных состояний транспортной системы (с ферми-; эйнштейн- или больцман-состояниями), определённой на обобщённом графе $\tilde{G} = \tilde{G}(t)$ и имеющей пропускные или провозные возможности $q_{ij} = q_{ij}(t)$, ресурсы, которые расходуются в соответствии с $\pi_v = \pi_v(t)$, определяющими функции $G_p(x, t)$, и в общем случае являющиеся нелинейными. Данная формулировка соответствует квазидинамическому описанию системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение моделей типа (1) может происходить в направлении динамической теории транспортных макросистем, когда будет учитываться неравновесная динамика транспортных систем. Заметим, что очень часто гипотеза равновесия транспортных процессов может быть поставлена под сомнение. Например, в часы пик или во время дорожных инцидентов в потоке возникают неравновесные структуры, которые приводят к существенным отличиям результатов моделирования с помощью прогнозных или оптимизационных моделей от реальной картины распределения потоков.

Динамическая теория может быть построена на основе следующих основных положений.

1) Для модели транспортной системы вводится фазовое пространство «обобщённые координаты–обобщённые им-

пульсы». Размерность пространства зависит от условий конкретных задач. Предполагается, что в фазовом пространстве существует функция распределения элементов по «координатам» и «импульсам», которая зависит от времени.

2) Устанавливается существование обобщённого кинетического уравнения (уравнения типа Больцмана), если для рассматриваемой макросистемы постулируется справедливость термодинамического подхода (возможность описания макроскопического состояния системы несколькими параметрами, состоящими из большого количества элементов).

3) Предполагается, что определённая таким образом макросистема осуществляя временную эволюцию, которая может быть охарактеризована изменением степени хаотичности с помощью энтропии неравновесного процесса. Энтропия выражается через введённую выше функцию распределения.

4) Изменение степени хаотичности системы является одним из основных понятий динамической теории транспортных систем, которое в явном виде отсутствует в традиционной теории макросистем. Для внешне замкнутых систем устанавливается аналог H -теоремы Больцмана, которая утверждает, что при временной эволюции к равновесному состоянию энтропия системы возрастает и остается неизменной при его достижении.

5) Для открытых транспортных макросистем, находящихся в условиях непрерывного взаимодействия с системами более высокого уровня, постулируется наличие аналога понятия «энергия», возможность изменения степени хаотичности в процессе эволюции и применение аппарата физики открытых систем, в частности *S*-теоремы Климонтовича [22].

6) Для учёта динамики в макросистемах вводится понятие «активная частица», и тогда возникают возможности применения результатов соответствующей теории [23]. В частности, для транспортных систем это даёт возможность более полно учитывать вероятностные особенности поведения таких частиц, в роли которых может выступать любой элемент в табл. 1.

В заключение отметим, что приведённая модель (1) была апробирована для участка улично-дорожной сети с учётом суточной динамики придомовых территорий как одного из основных центров генерации транспортных средств [24].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 247 с.
2. Wilson, A. G. A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1967, Vol. 1, Iss. 3, pp. 253–269. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(67\)90035-4](https://doi.org/10.1016/0041-1647(67)90035-4).
3. Wilson, A. G. Complex Spatial Systems. The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis. 1st ed., London, 2000, 184 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315838045>.
4. Dearden, J., Wilson, A. Exploring urban retail phase transitions – 1: an analysis system. Working paper. CASA Working Papers (140). Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), UK, London, July, 2008. [Электронный ресурс]: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/15193/1/15193.pdf>. Доступ 21.02.2020.
5. Wilson, A. G. The «Thermodynamics» of City: Evolution and Complexity Science in Urban Modelling. Complexity and Spatial Networks, Advances in Spatial Science. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 11–31. [Электронный ресурс]: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01554-0_2. Доступ 21.02.2020.
6. Ouwerkerk, C. Theory of Macroscopic Systems. A Unified Approach for Engineers, Chemists and Physicists. Springer-Verlag, 1991, 245 p. [Электронный ресурс]: <https://archive.org/details/theoryofmacroscopic0000ouwe/page/n3/mode/2up/>. Доступ 21.02.2020.
7. Аминов Л. К. Термодинамика и статистическая физика. Конспекты лекций и задачи. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2015. – 180 с.
8. Purvis, B., Mao, Yo., Robinson, D. Entropy and its Application to Urban Systems. *Entropy*, 2019, Vol. 21, p. 56. DOI: 10.3390/e21010056.
9. Popkov, Yu. S. Macrosystems theory and its applications. Berlin, Springer-Verlag, 1995. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/book/10.1007/BFb0032256/>. Доступ 21.02.2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0032256/>.
10. Попков Ю. С. Теория макросистем: Равновесные модели. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 320 с.
11. Попков Ю. С. Макросистемные модели пространственной экономики. – М.: Комкнига, 2008. – 240 с.
12. Попков Ю. С. Математическая демоэкономика: макросистемный подход. – М.: Ленанд, 2013. – 560 с.
13. Левитин Е. С., Попков Ю. С. Аксиоматический подход к математической теории макросистем с одновременным поиском априорных вероятностей и стационарных значений стохастических потоков // *Труды ИСА РАН*. – 2014. – Т. 64. – № 3. – С. 35–40.
14. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А. В. Гасников и др. – М.: МЦНМО, 2013. – 427 с.
15. Boyce, D. Forecasting Travel on Congested Urban Transportation Networks: Review and Prospects for Network Equilibrium Models. *Networks and Spatial Economics*, Springer, June 2007, Vol. 7 (2), pp. 99–128. DOI: 10.1007/s11067-006-9009-0.
16. Гасников А. В., Гасникова Е. В., Мендель М. А., Чепурченко К. В. Эволюционные выводы энтропийной модели расчёта матрицы корреспонденций // Математическое моделирование. – 2016. – Т. 28. – С. 1–16.
17. Имельбаев Ш. С., Шмульян Б. Л. Моделирование стохастических коммуникационных систем // А. Дж. Вильсон. Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – С. 170–233.
18. Гасникова Е. В. О возможной динамике в модели расчёта матрицы корреспонденций // Введение в математическое моделирование транспортных потоков. – М.: МЦНМО, 2013. – С. 248–270.
19. Нестеров Ю. Е., Шпирко С. В. Стохастическое транспортное равновесие // Введение в математическое моделирование транспортных потоков. – М.: МЦНМО, 2013. – С. 314–324.
20. Швецов В. И., Алиев А. С. Математическое моделирование загрузки транспортных сетей. – М.: УРСС, 2003. – 61 с.
21. Агуреев И. Е. Описание автомобильных транспортных систем в условиях развития цифровых технологий // Техника, технологии, ресурсы: приоритетные направления развития и практические разработки: Монография. – Нижний Новгород: НОО «Профессиональная наука», 2018. [Электронный ресурс]: <http://scipro.ru/conf/monographengineering.pdf>. Доступ 21.02.2020.
22. Климонтович Ю. Л. Введение в физику открытых систем. – М.: Янус-К, 2002. – 284 с.
23. Олемской А. И. Синергетика сложных систем: феноменологическая и статистическая теория. – М.: Красанд, 2009. – 384 с.
24. Агуреев И. Е., Юрченко Д. А. Постановка задачи о загрузке УДС города с учётом данных функционирования придомовых стоянок автомобилей // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – Т. 16. – № 6 (70). – С. 670–679.



Настоящая работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-48-710015\19 р_а.



Development of the Theory of Macrosystems as a Necessary Condition for Improving Quality of Transport Modelling



Agureev, Igor E., Tula State University, Tula, Russia*.

Igor E. AGUREEV

ABSTRACT

The issues of development of the theory of transport macrosystems are considered regarding results obtained in the works of A. G. Wilson, Yu. S. Popkov, A. V. Gasnikov, E. V. Gasnikova and others. The transport macrosystem is considered a complex multicomponent system to which series of thermodynamic analogy can be applied (equilibrium state, information entropy as a function of state parameters, the presence of basic phenomenological schemes for filling of states with elements, etc.). To further develop the theory of development of transport modelling, which is the objective of the article, it is proposed to consider circumstances that

reflect modern trends in development of transport systems: diversity of transport systems, dynamic nature of its functioning, many different elements that can obey different models for filling of states. To implement this task, various methods are used: equation of the transport process introduced by the author, which makes it quite easy to go to quasi-dynamic formulations of transport modelling problems, as well as a general formal representation of the system as a set of elements, which is determined based on the analysis of many works of domestic authors. The conclusion is dedicated to discussion of issues of further development of the theory of transport macrosystems in a dynamic setting.

Keywords: transport system, theory of macrosystems, transport modelling, mathematical model, classification of transport systems.

*Information about the author:

Agureev, Igor E. – D.Sc. (Eng), Head of the Department of Cars and Vehicle Fleets of Tula State University, Tula, Russia, agureev-igor@yandex.ru.

Article received 19.03.2020, accepted 24.04.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 6.

Background. The development of the theory of macroscopic systems as systems with a large number of stochastic elements is primarily related to statistical physics. Classical and quantum systems, consisting of a large number of molecules, atoms, ions, elementary particles, can be considered within the framework of the molecular-kinetic or thermodynamic approaches. A feature of physical systems is the possibility of existence of deterministic macroscopic states of the system as a whole with stochastic behaviour of particles.

The use of the molecular kinetic analogy for description of transport systems was first proposed, apparently, in the works of Alan Geoffrey Wilson [1–5]. They were based on the idea that many regularities of physical macrosystems can be found in complex systems of various nature. In the preface to the Russian edition of the book [1] Yu. S. Popkov pointed out the systems of exchange and distribution of economic resources. In fact, any transport system at the level of a city or a region exhibits certain properties that allow it to consider it as «macroscopic». It is worth noting that in the English-language scientific literature, the theory of macroscopic systems refers primarily to physical systems [6]. The Soviet and modern Russian interpretation of this term has two meanings. First interprets them in the same manner, as physical systems [7], and the second considers them as complex systems involved in resource transportation and allocation. It is to the second class of systems that the most famous works of Academician of RAS Yu. S. Popkov belong [9–13]. In foreign literature, the analogue of this term is the concept of «urban system» [8], but it does not cover the entire range of transport systems considered within the framework of the macroscopic approach.

One of the most significant contributions of A. G. Wilson to the theory of transport systems is the *entropy approach*, the meaning of which is to maximize the function responsible for the most probable (equilibrium) state of elements in a macroscopic system [1]. This function can be built on the basis of, for example, information entropy, and its specific form depends on what type of state and elements are present in the system, and also, mainly, on the way the filling of possible state with elements is accomplished. As a result, a formulation of the problem can be obtained,

in which the equilibrium of a system consisting of chaotically acting elements is determined.

If we talk about transport systems, then they have both deterministic and chaotic (more precisely, undefined) behaviour of participants in transport processes. As it was said in above mentioned work [1, p. 8], «*no matter how high the degree of centralization is, the economic system of exchange is so complex that there are always random (uncontrollable) factors*». However, a common property of such macrosystems is their ability, by analogy with physical ones, to transform the chaotic actions of elements into a certain deterministic process.

If we indicate the main results of the works of A. G. Wilson, then it is necessary to mention:

1) development of a large number of different transport models, considering splitting by types of travel, types of transportation and routes;

2) development of various models of interregional exchange (essentially those that we now call «transport and logistics systems»);

3) extension of the entropy method to nonequilibrium states of transport systems;

4) use of the concept of «systems with maximum utility» for macroscopic systems, etc. [1–5].

Yu. S. Popkov's contribution to further development of the theory of macrosystems is determined by a systematic presentation of the apparatus of phenomenological schemes (Bose–Einstein, Fermi–Dirac, Boltzmann statistics) in the framework of transportation and distribution, economic, demographic systems, a complete study of properties of their stationary states, numerical methods of solving equilibrium problems, generalization of the results to the case of dynamic behaviour of transport macrosystems [9–13].

It is worth mentioning that at present there is a huge layer of transport problems that explicitly or implicitly use the main results of the theory of transport macrosystems. Among them, we should note the works [14–20], which we single out with the purpose to only point out a wide range of problems solved by the theory of macrosystems, but in no way we pretend to present a complete bibliography on this topic. At the same time, there is an urgency in the new conditions of digital transport to rethink the legacy of the cited works and to outline ways for development of transport modelling technologies. This is the *objective* of this article.



Table 1

Elements and states of a transport macrosystem (examples) (compiled by the author)

No.	Elements	States
1	Vehicle	a. Element i is in the transport area j ;
2	Route vehicle	b. Element i is in the transport area j and the zone of the transport area k ;
3	Non-route vehicle	c. Element i is on the haul j of the street-road network;
4	Vehicle driver	d. Element i is in the vehicle j ;
5	Passenger	e. Element i is on the route j ;
6	Pedestrian	f. Element i is at the stop point j etc.
7	Route	

Note: Some states are impossible for certain elements.

Brief definition of the transport macrosystem

Let us consider a generalized transport macrosystem with continuous time t containing Y elements of the same type with some kind of behaviour from the set $B(t) = \{\beta_d(t), \beta_s(t)\}$. Let each element have a state from among p classes K_1, \dots, K_p . The classification of states is such that these classes do not overlap.

Let $\sigma^1, \dots, \sigma^p$ denote the sets of states, where $\sigma^i \in K_i$. We will further assume that the sets of states are discrete for $\beta_s(t)$ (or continuous for $\beta_d(t)$) and contain a finite number of elements (or infinite number, respectively).

In this section, we restrict ourselves to the case of a *homogeneous* macrosystem, whose elements can take on the states of a single class only. For example, the class of states can mean «location in the transport area-zone» (source-sink of the system elements). This class of states can be used for elements with $\beta_s(t)$ behaviour type. Another example of the concept «*class of state*» can be «average speed of the transport flow within a haul», used for elements of the type «*vehicle*» or «*transportation flow*» with a deterministic type of behaviour $\beta_d(t)$. This class corresponds to a continuous (infinite) *set of states, deterministically related to the sets of states of other classes*. Thus, systems with a deterministic type of behaviour within the framework of the adopted definition cannot be homogeneous since they are simultaneously associated with several classes of states.

So, the homogeneous system has a single set of states of elements σ , the subsets of which $\sigma_1, \dots, \sigma_m$ are such that their union coincides with σ , and the intersection of any pairs is empty.

Elements of the macrosystem can randomly and independently of each other fall into any

state provided by the subsets $\sigma_1, \dots, \sigma_m$. For each fixed subset σ_n for an element, there are two possibilities: to get into any state from σ_n with a priori probability a_n and not to get there with probability $(1 - a_n)$.

Let us consider as an example a set of elements of the transport macrosystem of automobile (urban) transport, which can be in appropriate states (Table 1), and that contains the main elements and states that can be supplemented depending on the content of the task. The formulation of a problem in which all the elements (and the corresponding sets of states) are present is hardly expedient, and even hardly possible in principle from the point of view of its solvability. A more rational way is formulation of special cases, which contain no more than 2–3 elements. For example, it is possible to consider solving the problem of loading routes with vehicles taking into account occupancy. Then in the formulation of the problem we will use elements 2, 5, 7 and the corresponding possible states $\{d, e, f\}$.

The theory of macrosystems has the main stages of construction, which we indicate in accordance with the work of Yu. S. Popkov [8]:

1) terms and concepts, a phenomenological scheme are introduced;

2) the basic concept of «macrostate probability» is introduced as a value $P(N) = \prod_{n=1}^m P_n \cdot (N_n)$, that is expressed through the probabilities of states of individual elements $n = 1, \dots, m$;

3) to determine the function $P(N)$, the mechanism of filling of states in σ_n is considered, depending on the type of states

(Fermi, Einstein, or Boltzmann states), and on this basis, the function $P(N)$ is determined, and then the physical and information entropy are determined;

4) the obtained probabilistic characteristics allow one to take into account the peculiarities of the phenomenological scheme of a homogeneous isolated macrosystem, which consist in the unequally probable choice of the corresponding states by the elements of the system in subsets $\sigma_n (n \in 1, m)$;

5) it is concluded that the generalized entropy for a macrosystem has a single maximum, the «sharpness» of which increases with the number of elements in the system;

6) distribution of elements of a homogeneous system by subsets of close states is established, which can be associated, for example, with consumption of various resources, presence and operation of «price functions» of the transport network, etc., that is, specific problems associated most often with determination of the equilibrium of the macrosystem are solved. An example of such a problem is a classical formulation of the problem of traffic load on the street-road network [20], which uses the entropy approach when taking into account distribution of the travel distance [1].

Among the main shortcomings of the traditional theory, one should point out practically insufficient attention to the nonequilibrium states of systems, while consideration of transport processes is accomplished in dynamics.

Quasi-dynamic model of a transport macrosystem

It is worth noting that an increase in accuracy of transport modelling can be achieved through the complex use of various measures aimed at reducing influence of the factor of «hardly measured» parameters of the state of the transport system:

- 1) use of methods for constructing high-quality correspondence matrices;
- 2) use of data stored in the databases of intelligent transport systems;
- 3) development of a theoretical apparatus for solving problems of the theory of transport macrosystems in a nonequilibrium and/or dynamic formulation;
- 4) the use of new splitting problems, which would develop more broadly the

concept of splitting by type of travel, modes of transportation, etc., proposed by A. G. Wilson.

To implement this direction of development, a new description of the «transport system» model is required. In [21], based on a detailed analysis of the structure of the term «transport system», an approach is proposed that makes it possible to describe transport and transport-logistics systems based on the transportation process equation, taking into account intensity of an arbitrary number of operations of any number of vehicles included in the structure of the transportation process. Such opportunities for obtaining information are created by modern technology (IoT, Big Data).

Let us present a description of a transport system model that generalizes the results obtained in [21] and provides a basis for its use in a wide range of transport modelling problems.

The transport system is described as a set of elements:

- a) logical and spatial connection between sources and flows of transport (in a broader description as a resource of some kind);
- b) temporal characteristics of the links (start time and duration of each link);
- c) appropriate carrying (transit) capacity;
- d) transportation process plan;
- e) criteria for effectiveness of functioning of systems (or presence of an objective).

In accordance with this definition, it is possible to draw up a generalized structure of a model of an arbitrary transport system, which should include equations that determine:

- 1) road network graph;
- 2) a matrix of connections as logical (Boolean) functions of time;
- 3) carrying capacity of the system (as an alternative description, equations for the traffic flow transit capacity of road and street systems or equations for the flow rates can be specified here);
- 4) degree of fulfillment of the transport task (equations of transport processes);
- 5) performance criteria or equilibrium conditions.

The number of vehicles and the number of routes are included in the model as parameters. Then the model of the generalized transport system can be written as:



$$\begin{cases}
 \tilde{A} = \tilde{A}(t); \\
 \tilde{n} = \tilde{n}(t), \quad \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \\
 \Delta\tau = \sum_{k=1}^n \Delta\tau_k; \\
 \Delta\tau_k \in \{\Delta\tau_1; \Delta\tau_2; \dots; \Delta\tau_n\}; \\
 q_{ij} = q_{ij}(t); \\
 \pi_v = \pi_v(t); \\
 k = 1, \dots, l.
 \end{cases} \quad (1)$$

Here:

t is time that is continuous in the model with discrete (highlighted) moments selected for calculating or determining the state of the system;

τ_0 is start time for the system monitoring;

$\Delta\tau$ is duration of the transport system work (duration of existence, modelling, etc.);

$\Delta\tau_k$ are intervals between points of calculation (consideration) of the system;

k is time interval index;

$\rho = \rho(t)$ is matrix of dimension $i \times j$ of transport links;

q_{ij} is transportation flow (flow intensity; transit capacity of a network element; carrying capacity of a flow of vehicles);

i, j are indices of nodes of the transport network, between which the value of q_{ij} is measured;

$\pi_v = \pi_v(t)$ is equation of the transportation process, expressing the share (degree) of completion of the trip (transportation);

v is vehicle index.

Let us note that system (1) does not explicitly have a correspondence matrix, either a set of routes, etc. Instead, the matrix $\rho = \rho(t)$ can be used in conjunction with the flows q_{ij} . Efficiency criteria, equilibrium and optimization conditions, or other extreme conditions are not yet included in system (1), we will do it later.

Model (1) should, for each specific case, acquire a complete form that allows one to make calculations or solve an optimization problem. Therefore, for the selected system, these equations are supplemented with auxiliary conditions (distribution functions; balance equations; variational equalities, etc.). One of the options is to formulate system (1) in a quasi-dynamic setting and considering information about consumption of resources during the execution of transportation processes.

For linear consumption of resources:

$$G_{pq}(x) = \sum_{i,j}^{m,n} t_{qij} x_{p_j} = g_{pq}, q \in \overline{1, r}, \quad (2)$$

where r is the number of types of resources;

g_{pq} is stock of resource of q -th type;

t_{qij} is parameter of consumption function;

p is route index;

q is index of resource type.

For non-linear consumption of resources the corresponding expression looks as follows:

$$G_{pq}(x) = \phi_{pq}(x_{p_1}, \dots, x_{p_j}, \dots, x_{p_m}) = g_{pq}. \quad (3)$$

Then the equations (1) can be written in a more general form depending on time (in the case of a single type of resource):

$$\begin{cases}
 \tilde{A} = \tilde{A}(t); \\
 \rho = \rho(t), \quad \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau; \\
 \Delta\tau = \sum_{k=1}^l \Delta\tau_k; \\
 \Delta\tau_k \in \{\Delta\tau_1; \Delta\tau_2; \dots; \Delta\tau_n\}; \\
 q_{ij} = q_{ij}(t), \quad q(t) = \sum_{i,j}^{m,n} q_{ij}(t); \\
 G_p(x) = \phi_p(x_{p_1}(t), \dots, x_{p_j}(t), \dots, x_{p_m}(t)) \leq \mathbf{g}_p; \\
 H(x^*(\Delta\tau_k)) \rightarrow \max; \\
 k = 1, \dots, l.
 \end{cases} \quad (1a)$$

Let us show the connection between $G_p(x, t)$ and $\pi_v = \pi_v(t)$. Let us introduce a vector $V(t) = (V_1, \dots, V_a, \dots, V_p)$, which groups all vehicles by routes: $V_a = \sum v(t) | v \in p_a$. For each vehicle there is an individual resource consumption function that depends on the value of the transportation process function. For simplicity, we will assume that all vehicles are homogeneous in type, and then we can assume that there is the one and the same function for all vehicles that depends on π_v . Obviously, each component of the vector V can be associated with the value of the current resource consumption $G_p(x, t) \rightarrow V \otimes \pi_p(t)$. Here $\pi_p(t)$ is a vector of a share of a fulfilled transportation process, averaged for all vehicles on each route. The measure of compliance is the specific value of the individual resource consumption: $G_p(x, t) = g_{vp} \otimes V \otimes \pi_p(t)$. Let us note that the components of the vector g_{vp} depend on the route. The constraints g_p determine limit values for resource consumption that can be reached

on routes during a cycle of the transport system operation. Of course, other ways of determining $G_p(x, t)$ through the functions of the transportation process can be chosen. This may be a particular topic for consideration.

Then (1a) will be written in a final form:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \tilde{A}(t); \\ \rho &= \rho(t), \quad \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta \tau; \\ \Delta \tau &= \sum_{k=1}^l \Delta \tau_k; \\ \Delta \tau_k &\in \{\Delta \tau_1; \Delta \tau_2; \dots; \Delta \tau_n\}; \\ q_{ij} &= q_{ij}(t), \quad q(t) = \sum_{i,j}^{m,n} q_{ij}(t); \\ \pi_v &= \pi_v(t), \quad v = 1, \dots, n_v(t); \\ V(t) &= \{V_1, \dots, V_p : V_\alpha = \sum v(t) | v \in p_\alpha\}; \\ G_p(x, t) &= g_{vp} \otimes V \otimes \delta_p(t) \leq g_p; \\ H(V^*(\Delta \tau_k)) &\rightarrow \max; \\ k &= 1, \dots, l. \end{aligned} \quad (1b)$$

Obviously, formula (1b) is more general than (1a), since detailed information about transportation processes always allows us to determine the function of resource consumption. The converse is not always possible to perform unambiguously. The procedure for maximizing entropy is written here as an extreme condition, which depends on the specific type of states (phenomenological scheme of the macrosystem) adopted in the system. The Boltzmann distribution is usually used as an assumption, which, of course, requires a separate discussion in each case (see, for example [8, p. 77]). Of course, the extreme condition can be written in a different form, which does not limit the generality (1b).

Thus, the present formulation asserts the existence of a sequence of equilibrium states of a transport system (with Fermi; Einstein or Boltzmann states), defined on a generalized graph $\tilde{I} = \tilde{I}(t)$ and having transit or carrying capacity $q_{ij} = q_{ij}(t)$, resources that are consumed in accordance with $\pi_v = \pi_v(t)$, which determine the functions $G_p(x, t)$, and which are generally nonlinear. This formulation corresponds to the quasi-dynamic description of the system.

Conclusion. Generalization of models of type (1) can be developed towards dynamic theory of transport macrosystems, when the nonequilibrium dynamics of transport systems

will be taken into account. It is worth noting that very often the hypothesis of equilibrium of transportation processes can be questioned. For example, during peak hours or during traffic incidents, non-equilibrium structures appear in the flow, which lead to significant differences between the results of modelling using predictive or optimization models and the real picture of distribution of flows.

The dynamic theory can be built based on the following basic provisions.

1) For the transport system model, the phase space «generalized coordinates – generalized impulses» is introduced. The dimension of the space depends on the conditions of specific problems. It is assumed that in the phase space there is a function of distribution of elements by «coordinates» and «impulses», which depends on time.

2) The existence of a generalized kinetic equation (equations of Boltzmann type) is established if validity of the thermodynamic approach is postulated for the macrosystem under consideration (the possibility of describing the macroscopic state of a system by several parameters consisting of many elements).

3) It is assumed that the macrosystem defined in this way passes through time evolution, which can be characterized by a change in the *degree of chaos* with the help of entropy of a nonequilibrium process. Entropy is expressed through the distribution function introduced above.

4) Changing the degree of chaos in the system is one of the basic concepts of the dynamic theory of transport systems, which is explicitly absent in the traditional theory of macrosystems. For externally closed systems, an analogue of the Boltzmann H -theorem is established, which states that during time evolution to an equilibrium state, entropy of the system increases and remains unchanged when it is reached.

5) For open transport macrosystems under conditions of continuous interaction with systems of a higher level, it is postulated that there is an analogue of the concept of «energy», possibility of changing the degree of chaos in the process of evolution and of the use of the apparatus of physics of open systems, in particular, of the S -theorem of Klimontovich [22].

6) To consider the dynamics in macrosystems, the concept of «active particle» is



introduced, and then there are possibilities of applying the results of the corresponding theory [23]. In particular, for transport systems, this makes it possible to more fully consider probabilistic features of behaviour of such particles, whose role can be assumed by any element in Table 1.

In conclusion, we will note that the above model (1) was tested for a section of the street-road network, considering daily dynamics of adjoining territories, as main centers for generating vehicles [24].

REFERENCES

1. Wilson, A. G. Entropy methods for modelling complex systems [in Russian; Russian title: *Entropiinie metody modelirovaniya slozhnykh system*]. Moscow, Nauka publ., 1978, 247 p.
2. Wilson, A. G. A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, 1967, Vol. 1, Iss. 3, pp. 253–269. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(67\)90035-4](https://doi.org/10.1016/0041-1647(67)90035-4).
3. Wilson, A. G. Complex Spatial Systems. The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis. 1st ed., London, 2000, 184 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315838045>.
4. Dearden, J., Wilson, A. Exploring urban retail phase transitions – 1: an analysis system. Working paper. CASA Working Papers (140). Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), UK, London, July, 2008. [Electronic resource]: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/15193/1/15193.pdf>. Last accessed 21.02.2020.
5. Wilson, A. G. The «Thermodynamics» of City: Evolution and Complexity Science in Urban Modelling. Complexity and Spatial Networks, Advances in Spatial Science. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 11–31. [Electronic resource]: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-01554-0_2. Last accessed 21.02.2020.
6. Ouwerkerk, C. Theory of Macroscopic Systems. A Unified Approach for Engineers, Chemists and Physicists. Springer-Verlag, 1991, 245 p. [Electronic resource]: <https://archive.org/details/theoryofmacrosc0000ouwe/page/n3/mode/2up/>. Last accessed 21.02.2020.
7. Aminov, L. K. Thermodynamics and statistical physics. Lecture notes and problems [Termodinamika i statisticheskaya fizika. Konspekt lektsii i zadach]. Kazan, Publishing house of Kazan University, 2015, 180 p.
8. Purvis, B., Mao, Yo, Robinson, D. Entropy and its Application to Urban Systems. *Entropy*, 2019, Vol. 21, p. 56. DOI: [10.3390/e21010056](https://doi.org/10.3390/e21010056).
9. Popkov, Yu. S. Macrosystems theory and its applications. Berlin, Springer-Verlag, 1995. [Electronic resource]: <https://link.springer.com/book/10.1007/BFb0032256>. Last accessed 21.02.2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/BFb0032256/>.
10. Popkov, Yu. S. Theory of macrosystems: Equilibrium models [Teoriya makrosistem: Pavnoesnii modeli]. Moscow, Editorial URSS, 1999, 320 p.
11. Popkov, Yu. S. Macrosystem models of spatial economics [Makrosistemnie modeli prostranstvennoi ekonomiki]. Moscow, Komkniga publ., 2008, 240 p.
12. Popkov, Yu. S. Mathematical Demoeconomics: Macrosystem Approach [Matematicheskaya demo-ekonomika: makrosistemnyi podkhod]. Moscow, Lenand publ., 2013, 560 p.
13. Levitin, E. S., Popkov, Yu. S. An axiomatic approach to the mathematical theory of macrosystems with a simultaneous search for a priori probabilities and stationary values of stochastic flows [Aksiomaticheskiy podkhod k matematicheskoi teorii makrosistem s odновременным поиском априорных вероятностей и стационарных значений стохастических потоков]. *Proceedings of ISA RAS*, 2014, Vol. 64, Iss. 3, pp. 35–40.
14. Introduction to mathematical modelling of transport flows [Vvedenie v matematicheskoi modelirovaniye transportnykh potokov]. Ed. by A. V. Gasnikov [et al.]. Moscow, MCNMO publ., 2013, 427 p.
15. Boyce, D. Forecasting Travel on Congested Urban Transportation Networks: Review and Prospects for Network Equilibrium Models. *Networks and Spatial Economics*, Springer, June 2007, Vol. 7 (2), pp. 99–128. DOI: [10.1007/s11067-006-9009-0](https://doi.org/10.1007/s11067-006-9009-0).
16. Gasnikov, A. V., Gasnikova, E. V., Mendel, M. A., Chepurchenko, K. V. Evolutionary solutions for the entropy model for calculating the correspondence matrix [Evoluutsionnie vydovy entropiinoi modeli rascheta matritsy korrespondentsii]. *Matematicheskoe modelirovaniye*, 2016, Vol. 28, pp. 1–16.
17. Imelbaev, Sh. S., Shmulyan, B. L. Modelling of stochastic communication systems [Modelirovaniye stokhasticheskikh kommunikatsionnykh system]. In: Wilson, A. G. Entropy methods for modelling complex systems. Moscow, Nauka publ., 1978, pp. 170–233.
18. Gasnikova, E. V. On possible dynamics in the model of calculation of the matrix of correspondences [O vozmozhnoi dinamike v modeli rascheta matritsy korrespondentsii]. Introduction to mathematical modelling of transport flows. Moscow, MCNMO publ., pp. 248–270.
19. Nesterov, Yu. E., Shpirko, S. V. Stochastic transport equilibrium [Stokhasticheskoe transportnoe ravnomesie]. Introduction to mathematical modelling of transport flows. Moscow, MCNMO publ., 2013, pp. 314–324.
20. Shvetsov, V. I., Aliev, A. S. Mathematical modelling of load on transport networks [Matematicheskoe modelirovaniye zagruzki transportnykh setei]. Moscow, URSS publ., 2003, 61 p.
21. Agureev, I. E. Description of road transport systems in the context of development of digital technologies [Opisanie avtomobilnykh transportnykh system v usloviyakh razvitiya tsifrovyykh tekhnologii]. *Technics, technologies, resources: priority directions of development and practical developments: Monograph*. Nizhny Novgorod, NOO Professionalnaya nauka, 2018. [Electronic resource]: <http://scipro.ru/conf/monographengineering.pdf>. Last accessed 21.02.2020.
22. Klimontovich, Yu. L. Introduction to the physics of open systems [Vvedenie v fiziku otkrytykh sistem]. Moscow, Yanus-K publ., 2002, 284 p.
23. Olemskoy, A. I. Synergetics of complex systems: phenomenological and statistical theory [Sinergetika slozhnykh system: fenomenologicheskaya i statisticheskaya teoriya]. Moscow, Krasand publ., 2009, 384 p.
24. Agureev, I. E., Yurchenko, D. A. Formulation of the problem of the load of the street-road network of the city, considering data on functioning of adjacent parking lots [Postanovka zadachi o zagruzke UDS goroda s uchetom dannykh funktsionirovaniya pridomovykh stoyanok avtomobilei]. *Bulletin of Siberian State Automobile and Highway University*, 2019, Vol. 16, Iss. 6 (70), pp. 670–679. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-670-679>.

Acknowledgements

This work was supported by the RFBR grant 19-48-71001/519 r_a.



ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ EXPRESS INFORMATION

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ: 82-Я СЕССИЯ КОМИТЕТА ПО ВНУТРЕННЕМУ ТРАНСПОРТУ ЕЭК ООН

В Женеве 25–28 февраля 2020 года состоялась 82-я сессия Комитета по внутреннему транспорту Европейской экономической комиссии ООН.

В рамках сессии был организован сегмент высокого уровня, посвящённый теме «Экологические вызовы для устойчивого внутреннего транспорта». Делегацию Минтранса России на мероприятие возглавил старший-секретарь – заместитель министра транспорта Дмитрий Зверев.

В своём выступлении он отметил роль транспортных инноваций в эффективном решении экологических и климатических проблем, а также проинформировал о предпринимаемых в России мерах по развитию транспортного комплекса и цифровизации, снижению вредного воздействия транспорта на экологию путём перераспределения пассажиро- и грузопотоков на более экологичные виды транспорта.

Значительную роль в снижении выбросов играет радиоционализация транспортных потоков и устранение узких мест. В национальных масштабах практические и результативные меры принимаются в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Для оптимизации трафика в городских агломерациях создана нормативная база, предусматривающая взаимную увязку транспортного и градостроительного планирования. Речь идёт о разработке программ комплексного развития транспортной инфраструктуры, комплексных схем организации дорожного движения, комплексных схем транспортного обслуживания населения.

Важным элементом является принятие комплекса мер для повышения привлекательности общественного транспорта. Эти меры включают в себя как обновление подвижного состава (в том числе и электрического транспорта), так и создание удобных для пассажиров сервисов и услуг. Отмечен старт проекта комплексного обновления подвижного состава городского наземного пассажирского транспорта более чем в 10 регионах России с одновременным измене-

нием подходов к техническому контролю и транспортному надзору.

Акцентировано внимание на проекте «Руководства по наилучшим практикам в сфере городского транспорта и транспортного планирования», разработанном по инициативе Российской Федерации и с участием российских учёных. Проект содержит примеры передовой практики в области различных инновационных решений, направленных на обеспечение экологической устойчивости городского транспорта.

На железнодорожном транспорте также принимаются меры по электрификации отрасли, проходит отработку комплекс средств интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом, которая предусматривает в том числе автоматизацию основных процессов планирования и диспетчерского управления перевозочным процессом. Отмечен высокий статус (согласно статистике Международного энергетического агентства и Международного союза железных дорог) компании «Российские железные дороги» как самой энергоэффективной и экологичной среди железнодорожных компаний мира, обеспечивающей перевозку 86 % грузов и 85 % пассажиров на экологически чистой электрической тяге.

В завершение Дмитрий Зверев внёс инициативу о разработке международных механизмов взаимодействия транспортных ведомств в рамках Европейской экономической комиссии ООН. Данные механизмы направлены на координацию мер при чрезвычайных ситуациях, в том числе эпидемиологического характера, затрагивающих большое количество стран. Комитет принял решение включить этот вопрос в программу своей деятельности.

На основе материалов пресс-центра Министерства транспорта Российской Федерации
<https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9442> ●

SUSTAINABLE DEVELOPMENT: THE 82ND SESSION OF THE UNECE ITC

Тhe 82nd session of the UNECE Inland Transport Committee was held in Geneva on 25–28 February 2020. ITC high-level panels addressed the defining challenges of our time – climate change and the environment – under the theme «Environmental challenges to sustainable inland transport». The delegation of the Russian Ministry of Transport at the event was headed by the State Secretary – Deputy Minister of Transport Dmitry Zverev.

In his speech, he noted the role of transport innovations in the effective solution of environmental and climatic problems, and also informed about the measures being adopted in Russia to develop the transport network and its digitalization, to reduce the harmful impact of transport on the environment by redistributing passenger and cargo flows to greener modes of transport.

Optimization of traffic flows and the removal of bottlenecks play a significant role in reducing emissions. On a national scale, practical and effective measures are being taken within the framework of the national project «Safe and quality roads». The regulatory framework was created to optimize traffic in urban agglomerations, providing for a mutual link between transport and urban planning. We are talking about the development of comprehensive transport infrastructure development programs, integrated traffic management schemes, integrated public transport service models, Dmitry Zverev said.

A set of measures to make public transport more attractive include both the renewal of rolling stock (including electric transport) and the creation of passenger-friendly services and services. The start of the project of integrated renewal of the rolling stock of urban ground passenger transport in more than 10 regions

of Russia has been highlighted, followed by a simultaneous change in approaches to technical control and transport supervision.

The focus is on the project «Guidelines on Best Practices in Urban Transport and Transport Planning» developed at the initiative of the Russian Federation and with the participation of Russian scientists. The project provides examples of best practices in various innovative solutions aimed at ensuring the environmental sustainability of urban transport.

Rail transport also takes measures to electrify the industry, is developing a set of means of intelligent system of railway management and control, which includes automation of the main processes of planning and control of the transportation process. The Russian Railways company is the most energy efficient and environmentally friendly among railway companies (according to the statistics of the International Energy Agency and the International Union of Railways), providing transportation of 86 % of cargo and 85 % of passengers using environmentally friendly electric traction.

In conclusion, Dmitry Zverev launched an initiative to develop international mechanisms for the interaction of transport agencies within the framework of the UNECE. These mechanisms should be designed to coordinate emergency response, including those meeting epidemiological challenges, and affecting a large number of countries. The Committee decided to include the issue in its activity programme.

Compiled from the news by media centre of the Ministry of Transport of the Russian Federation <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/9442> and UNECE ITC news https://www.unece.org/trans/events/2020/itec82_2020.html ●





Теоретический метод управления расходом перекачиваемой среды по положению запирающих элементов трубопроводной арматуры



Александр КРАВЧУК



Анжелика КРАВЧУК



Арнольд МИХИЕВИЧ



Николай ГАЙС

Кравчук Александр Степанович – Научно-исследовательский политехнический институт – филиал Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь.

Кравчук Анжелика Ивановна – Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Михиевич Арнольд Павлович – Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Гайс Николай Юрьевич – СП ЗАО «Международный деловой альянс», Минск, Беларусь*.

Любой объект, расположенный в трубопроводе, в том числе расходомер, приводит к падению давления в трубопроводе и необходимости повышения мощности насосов. Поэтому представляется перспективным снизить энергозатраты на перекачку среды в трубопроводе за счёт уменьшения количества расходомеров, устанавливаемых после запорно-регулирующей арматуры, и прогнозировать расход перекачиваемой среды по положению запирающего элемента в арматуре. Это приведёт также к уменьшению затрат на транспортировку сред за счёт уменьшения количества приборов учёта. В статье с целью решения данной комплексной проблемы на трубопроводном транспорте на основе метода конечных элементов решается ряд краевых задач гидромеханики. С целью упрощения знакомства с данными решениями, а также их применения на практике инженерами, в статье предложены «параметрические модели вихревого стационарного течения в таких видах запорно-регулирующей арматуры, как шаровой кран, дисковый затвор,

клиновая задвижка, угловой клапан. Без ущерба общности методики, в качестве примера перекачиваемой среды рассматривается вода. Анализ выполнен средствами FLOTTRAN CFD программы ANSYS10 ED».

В статье детально описываются возможности как графического интерфейса, так и командной строки. Создание моделей сопровождается полными комментариями о действиях, что позволяет любому пользователю освоить данные модели. Подробно рассмотрены все этапы построения моделей: построение твёрдотельной модели, выбор элементов, назначение свойств перекачиваемых сред, назначение краевых условий, а также решение задачи и просмотр результатов. «Установлено, что на расход среды оказывает влияние, как геометрия рассмотренных видов запорно-регулирующей арматуры, так и положение запирающего элемента. Методика может быть применена для любых конструкций трубопроводной арматуры, связанных с расчётом движения вязкой жидкости.

Ключевые слова: вязкость жидкости, вихревое течение, стационарное течение, несжимаемая жидкость, параметрическое моделирование, запорно-регулирующая арматура, ANSYS, FLOTTRAN.

*Информация об авторах:

Кравчук Александр Степанович – доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории динамики систем и механики материалов Научно-исследовательского политехнического института – филиала Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь, ask_belarus@inbox.ru.

Кравчук Анжелика Ивановна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры веб-технологий и компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, anzhelika.kravchuk@gmail.com.

Михиевич Арнольд Павлович – аспирант кафедры био- и наномеханики, механико-математический факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, fakel.arnold@gmail.com.

Гайс Николай Юрьевич – инженер-программист, СП ЗАО «Международный деловой альянс», Минск, Беларусь, craderua@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 22.07.2019, актуализирована 12.12.2019, принята к публикации 15.01.2020.

For the English text of the article please see p. 36.

Настоящая статья написана на основе магистерской диссертации А. П. Михиевича [1] и дипломной работы Н. Ю. Гайса [2], выполненных под руководством доктора физико-математических наук А. С. Кравчука.

«До настоящего времени все гидродинамические расчёты трубопроводов проводились с использованием полуэмпирических формул, полученных в основном для ламинарного течения среды в трубопроводе, в которых присутствуют экспериментально определяемые коэффициенты с учётом чисел Рейнольдса. С помощью такого подхода учитываются разнообразные эффекты, возникающие при перекачке среды и возможного возникновения в этих случаях вихрей и других явлений, снижающих скорость движения среды» [1, с. 6].

«Основной слабостью данных методик является интуитивность и сложность адекватного определения необходимых значений чисел Рейнольдса и невозможность теоретически прогнозировать расход перекачиваемой среды через запорно-регулирующую арматуру» без установки дополнительных приборов учёта (расходомеров), что существенно повышает стоимость строительства и эксплуатации трубопроводов [1, с. 6; 2, с. 6].

Кроме того, поскольку очевидно, что любой прибор учёта является препятствием на пути среды, то установка любого дополнительного оборудования на пути перекачиваемого потока приводит к падению давления [1; 2]. Хотя оно и «незначительно, но многое зависит от количества приборов учёта на длине трассы, что может привести к существенному увеличению затрат электроэнергии на перекачку среды» [1, с. 6; 2, с. 6].

Соответственно, одним из очевидных путей уменьшения энерго- и ресурсозатрат на эксплуатацию трубопроводного транспорта является максимальное упрощение оснащения трубопроводов (существенное снижение количества контрольно-измерительной аппаратуры), а также использование расчётно-теоретической методики управления расходом среды и её перераспределения «по потокам с помощью таких современных средств анализа вихревого течения жидкости и газа, как ANSYS с модулем FLOTTRAN» [1, с. 6; 2, с. 6].

Предлагаемые параметрические модели запорно-регулирующей арматуры позволяют отказаться от установки дополнительных расходомеров на трассе трубопровода, а определять расход среды по геометрическому положению запирающего элемента, которое, в частности, для некоторых конструкций может определяться углом отклонения рукояти от осевого направления потока [1; 2; 8].

1. Краткое описание задачи. «В силу симметричности задач и необходимости экономии элементов рассматриваются параметрические трёхмерные модели внутреннего объёма половины шарового крана, дискового затвора, клапана и клиновой задвижки, которые получены их сечением продольной плоскостью. Во всех случаях отброшенная (симметричная) часть внутреннего объёма запорно-регулирующей арматуры заменяется соответствующими краевыми условиями для потока (нулевыми скоростями потока в направлении перпендикулярном плоскости симметрии).

Краевая задача для исследования турбулентного течения среды в запорно-регулирующей арматуре выполнялась

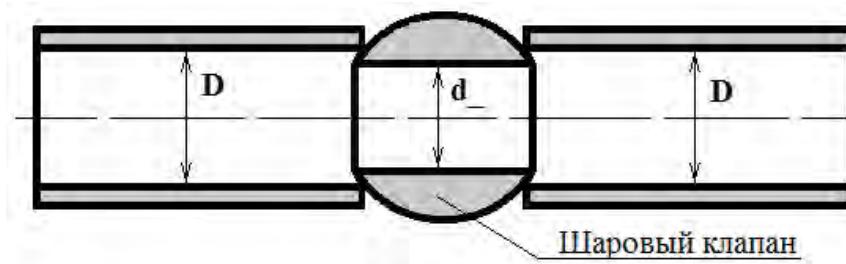


Рис. 1. Схема осевого сечения шарового крана вертикальной плоскостью [1; 2]. Авторский рисунок.



Рис. 2. Осевое сечение шарового крана горизонтальной плоскостью [1; 2]. Авторский рисунок.

с учётом гипотезы о полном прилипании среды к внутренней поверхности арматуры» [1, с. 19].

«Так как все строящиеся модели будут параметрическими, то перед началом построения любой из моделей необходимо ввести все перечисленные в постановке задачи параметры с их значениями» [1, с. 19].

2. Создание конечно-элементной модели внутреннего пространства шарового крана. Шаровой кран — один из самых распространённых типов запорно-регули-

рующей арматуры. Все краны имеют схожую конструкцию и достаточно продемонстрировать методику на одном из вариантов исполнения запирающего элемента. В данной статье в качестве примера расчёта крана выбран наиболее распространённый в настоящее время шаровой кран [1; 2; 5; 6].

В случае построения модели внутреннего пространства шарового крана (рис. 1) используются следующие параметры [1; 2]: $D = 1$ (м) — диаметр внутреннего пространства трубы [1; 2]; $d_+ = 0,95$ (м) — диаметр отверстия в шаровом запирающем элементе (клапане) [1; 2]; $Fi = 45$ (градусы) — угол между плоскостями симметрии запирающего элемента и плоскостью симметрии входа и выхода из крана (рис. 2) [1; 2]; $V = 0,2$ (м/с) — скорость перекачки жидкости [1; 2]; $P = 3 \cdot (1E+5)$ (Па) — манометрическое давление в трубопроводе [1; 2].

В данной модели радиус запирающего элемента (шарового клапана) вычисляемый параметр, хотя пользователь при необходимости может задавать его значения вручную [1; 2].

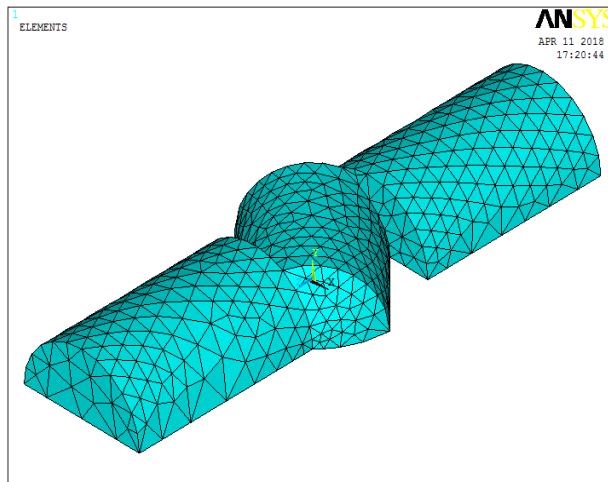
Список команд для задания параметров, начала работы в препроцессоре, построения половины внутреннего пространства

Таблица 1

Список команд построения конечно-элементной модели внутреннего объёма шарового крана [1; 2]

№	Команда
1.	/FILNAME, PipingCrane, 0
2.	D = 1
3.	$d_+ = 0,95$
4.	$Fi = 45$
5.	$V = 0,2$
6.	$P = 3 \cdot (1E+5)$
7.	$Pi = ACOS(-1)$
8.	/PREP7
9.	CYLIND, D/2, 0, -D/2, -2 * D, 0, 180
10.	CYLIND, D/2, 0, D/2, 2 * D, 0, 180
11.	CYLIND, $d_+ / 2, 0, -D/2 / \text{COS}(45/180 * PI)$, $D/2 / \text{COS}(45/180 * PI)$, 0, 180
12.	SPH4, 0, 0, D/2 / \text{COS}(45/180 * PI)
13.	VDELE, 4,,, 0
14.	ADELE, 17,,, 1
15.	VSBA, 3, 16,, DELETE, DELETE
16.	VDELE, 4, 5, 1, 1
17.	CSYS, 5
18.	VGEN, 2, 6,,, FI,,, 1

№	Команда
19.	CSYS, 0
20.	BTOL, 0.10E-5
21.	VADD, 1, 6, 2
22.	BTOL, DEFA
23.	AADD, 20, 21, 16, 17, 24, 28, 18, 13, 31, 30
24.	NUMCMP, ALL
25.	ET, 1, FLUID142
26.	SMRTSIZE, 4
27.	MSHAPE, 1, 3D
28.	VMESH, 1
29.	ASEL, S, AREA,, 4, 10
30.	DA, ALL, VX, 0, 1
31.	DA, ALL, VY, 0, 1
32.	DA, ALL, VZ, 0, 1
33.	ASEL, ALL
34.	DA, 2, VY, 0, 1
35.	DA, 3, VZ, -V, 1
36.	DA, 1, PRESS, 0, 1



**Рис. 3. Конечно-элементная модель половины внутреннего объёма шарового крана [1; 2].
Авторский рисунок.**

шарового крана, симметричного относительно продольной плоскости, приведён в таблице 1 [1; 2].

Строка № 1 (табл. 1) определяет имя решения PipingCrane с сохранением имён открытых файлов задачи (файла ошибок, результатов и т.д.), с которыми будет осуществляться обмен данными.

Строки № 2–6 задают значения параметров задачи.

В строке № 7 устанавливается значение константы π с наилучшей для ANSYS точностью.

Строка № 8 содержит команду входа в препроцессор.

Строки № 9–24 производят построение верхней половины объёма шарового крана посредством:

- создания полуцилиндров (строки № 9–11);
- создания шара (строка № 12);
- удаления внутреннего объёма шара с сохранением его поверхности (строка № 13);
- удаления ненужной полусферы вместе со вспомогательными линиями и ключевыми точками (строка № 14);
- деления полуцилиндра, имитирующего отверстие в шаровом кране с помощью построенной на предыдущих шагах полусферы (команда № 15);
- удаления ненужных объёмов, полученных после проведения последней операции (команда № 16);
- смены глобальной системы координат на цилиндрическую (команда № 17);

- поворота полуцилиндра, имитирующего отверстие в запирающем элементе на заданный угол FI (команда № 18);
- активизации глобальной декартовой системы координат (команда № 19);
- изменения точности проведения построений (команда № 20);
- сложения объёмов (команда № 21);
- возвращения точности выполнения операций по умолчанию (команда № 22);
- сложения поверхностей в плоскости симметрии крана (рис. 2), для упрощения задания краевых условий (команда № 23);
- сжатия нумерации всех геометрических компонент модели (команда № 24).

Далее в таблице 1 приводятся команды № 25–28 создания конечно-элементной сетки.

Команда № 25 выбирает объёмный элемент для моделирования течения среды FLUID142.

Команда № 26 устанавливает параметр SMRTSIZE для автоматического контроля точности построения свободного разбиения.

Команда № 27 устанавливает параметр, свидетельствующий, что разбиение будет выполнено пирамиальными элементами.

Команда № 28 строит свободное разбиение созданной ранее геометрической модели (рис. 3).

Заканчивают список команд таблицы 1 команды № 29–36 задания краевых условий.

Команды № 29–32 выбирают внешние поверхности модели и задают в них краевые условия прилипания.





Рис. 4. Крупный затвор с плоскоскошенным диском, использовавшийся на гидроэлектростанции в Японии [1; 2].
 [Электронный ресурс]: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yagisawa_power_station_inlet_valve.jpg?uselang=ru. Доступ 22.07.2019.

Команда № 33 отменяет выбор внешних поверхностей.

Команда № 34 задаёт краевое условие, соответствующее симметричности задачи.

Команды № 35 и 36 задают краевые условия на входе и выходе крана.

3. Создание конечно-элементной модели половины внутреннего пространства дискового затвора, симметричного относительно горизонтальной плоскости [1; 2]. Дисковый затвор – тип трубопроводной арматуры, в котором запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока рабочей среды [1; 2; 5; 6] (рис. 4).

Для построения модели симметричной половины внутреннего объёма дискового затвора (рис. 4) с плоскоскошенным диском используются следующие параметры [1; 2]: $D = 1\text{м}$ – внутренний проходной диаметр дискового затвора и самого диска [1; 2]; $H_{\text{MAX}} = 0,1\text{м}$ – максимальная толщина плоско скошенного диска в середине [1; 2]; $H_{\text{MIN}} = 0,03\text{ (м)}$ – минимальная толщина диска на его краях [1; 2]; $Fi = 45$ (градусы) – угол открытия диска [1; 2];

Таблица 2

Координаты точек для построения половины продольного сечения внутреннего пространства дискового затвора [1; 2]

KP	X-Loc	Y-Loc	Z-Loc
1	0	0	- $H_{\text{MAX}}/2$
2	$D/2$	0	$-H_{\text{MIN}}/2$
3	$D/2$	0	$H_{\text{MIN}}/2$
4	0	0	$H_{\text{MAX}}/2$

$L = 2 \cdot D$ – расстояние от входного сечения до диска затвора и от диска затвора до выходного сечения в модели [1; 2]; $V = 0,5\text{ (м/с)}$ – скорость перекачки жидкости [1; 2]; $P = 3 \cdot (1\text{E}+5)$ (Па) – манометрическое давление в трубопроводе [1; 2].

При построении модели дискового затвора используются четыре вспомогательные ключевые точки с координатами, перечисленными в таблице 2 [1; 2].

Список команд для задания параметров, начала работы в препроцессоре, построения половины внутреннего пространства затвора с плоскоскошенным диском, симметричного относительно продольной горизонтальной плоскости (рис. 4), приведён в таблице 3 [1; 2].

Строка № 1 (табл. 3) определяет имя файла решения *ButterflyValve*.

Строки № 2–8 задают значения параметров задачи.

В строке № 9 устанавливается значение константы π с наилучшей для ANSYS точностью.

Строка № 10 содержит команду входа в препроцессор.

Строки № 11–36 производят построение верхней половины объёма шарового крана посредством:

- создания четырёх ключевых точек (строки № 11–14) с координатами из таблицы 2;
- симметричного отображения двух точек (строка № 15);
- создания поверхности по ключевым точкам (строка № 16);
- создания полуцилиндра, имитирующего затвор (строка № 17);
- вытягивания объёма из предварительно созданной по ключевым точкам поверхности (строка № 18);
- деления полуцилиндра, имитирующего затвор, боковыми поверхностями, созданного объёма (команды № 19–22);

Таблица 3

**Список команд построения конечно-элементной модели
внутреннего объёма дискового затвора [1; 2]**

№	Команда	№	Команда
1.	/FILNAME, ButterflyValve, 0	33.	CSYS, 0
2.	D = 1	34.	CYLIND, D/2, 0, -L, L, 0, 180
3.	FI = 45	35.	VSBV, 1, 2,, DELETE, DELETE
4.	H_MAX = 0.1	36.	NUMCMP, ALL
5.	H_MIN = 0.03	37.	ET, 1, FLUID142
6.	L = 2 · D	38.	SMRTSIZE, 8
7.	V = 0.5	39.	ESIZE, D/5
8.	P = 3 · (1E+5)	40.	MSHAPE, 1, 3D
9.	Pi = ACOS(-1)	41.	VMESH, ALL
10.	/PREP7	42.	ASEL, S, AREA,, 3, 12, 1, 1
11.	K, 1, 0, 0, -H_MAX/2	43.	NSLA, S, 1
12.	K, 2, D/2, 0, -H_MIN/2	44.	D, ALL, VX, 0
13.	K, 3, D/2, 0, H_MIN/2	45.	D, ALL, VY, 0
14.	K, 4, 0, 0, H_MAX/2	46.	D, ALL, VZ, 0
15.	KSYMM, X, 2, 3, 1	47.	ASEL, ALL
16.	A, 1, 2, 3, 4, 6, 5	48.	NSEL, ALL
17.	CYLIND, D/2, 0, -H_MAX/2, H_MAX/2, 0, 180	49.	ASEL, S, AREA,, 15,, 1
18.	VOFFST, 1, -D	50.	NSLA, S, 1
19.	VSBA, 1, 11,, DELETE, KEEP	51.	D, ALL, VX, 0
20.	VSBA, 4, 10,, DELETE, KEEP	52.	D, ALL, VY, 0
21.	VSBA, 5, 8,, DELETE, KEEP	53.	D, ALL, VZ, 0
22.	VSBA, 6, 13,, DELETE, KEEP	54.	ASEL, ALL
23.	VDELE, 1, 5, 1, 1	55.	NSEL, ALL
24.	CYLIND, 0.2 · D/2, 0, -L, L, 0, 360	56.	ASEL, S, AREA,, 13, 14,, 1
25.	CSYS, 5	57.	NSLA, S, 1
26.	VGEN, 2, 1,,, 90,,, 1	58.	D, ALL, VY, 0
27.	CSYS, 1	59.	ASEL, ALL
28.	VGEN, 2, 1,,, 90,,, 1	60.	NSEL, ALL
29.	CSYS, 0	61.	ESEL, ALL
30.	VADD, ALL	62.	DA, 2, VZ, -V, 1
31.	CSYS, 5	63.	DA, 1, PRESS, 0, 1
32.	VGEN, 2, 2,,, FI,,, 1	64.	---

• удаления ненужных объёмов, полученных после проведения последних операций, вместе с их поверхностями, рёбрами и ключевыми точками (команда № 23);

• создания цилиндра (рис. 5), соответствующего вертикальному валу затвора (команда № 24);

• включения глобальной цилиндрической системы координат и поворота цилиндра, имитирующего вал запирающего элемента на угол 90° (команды № 25–28);

• активизации глобальной декартовой системы координат (команда № 29);

• сложения построенных объёмов затвора и вала (команда № 30);

• включения глобальной цилиндрической системы координат и поворота затвора на заданный угол FI (команды № 31 и 32);

• активизации глобальной декартовой системы координат (команда № 33);

• построения полуцилиндра внутреннего объёма (команда № 34);

• вычитания из объёма построенного цилиндра объёма, моделирующего затвор (команда № 35);

• сжатия нумерации всех геометрических компонент модели (команда № 36).

Далее в таблице 3 приводятся команды № 37–41 создания конечно-элементной



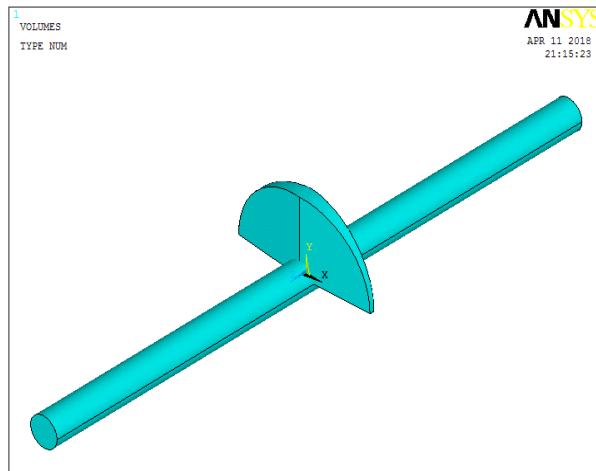


Рис. 5. Начальное положение плоскоскошенного затвора и его вала [1; 2]. Авторский рисунок.

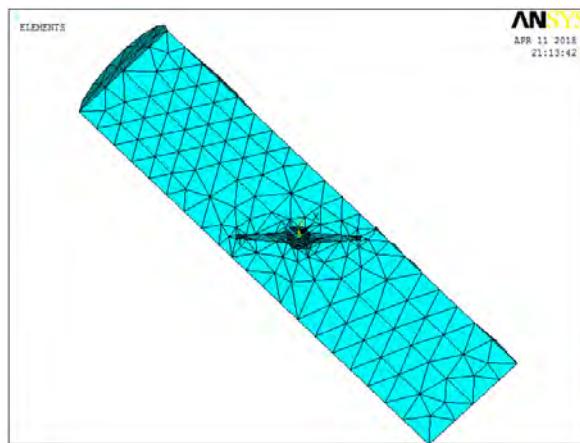


Рис. 6. Конечно-элементная модель половинного внутреннего объёма дискового затвора [1; 2]. Авторский рисунок.

сетки. Команда № 37 выбирает объёмный элемент для моделирования течения среды FLUID142. Команда № 38 устанавливает параметр SMRTSIZE для автоматического контроля точности построения свободного разбиения (большое значение этого параметра гарантирует малое количество элементов, соответствующее учебной версии ANSYS10 ED). Команда № 39 устанавливает ориентировочный размер ребра элемента относительно величины параметра D модели. Команда № 40 устанавливает параметр, свидетельствующий, что разбиение будет выполнено пирамидальными элементами. Команда № 41 выполняет разбиение построенного объёма (рис. 6).

Заканчивают список команд таблицы 3 команды № 42–61 задания краевых условий на узлах конечно-элементной сетки

и далее идут две команды № 62 и 63 задания краевых условий на поверхностях, имитирующих вход и выход модели. Это существенно отличает данную модель от предыдущей, т.к. в данном случае краевые условия задаются непосредственно на компонентах конечно-элементного разбиения, а не на компонентах геометрической модели.

Команды № 42–53 выбирают внешние поверхности модели и узловые точки конечно-элементного разбиения, находящиеся на этих поверхностях, для задания на них краевых условий прилипания. Команды № 54 и 55 отменяют выбор внешних поверхностей и узловых точек на них. Команды № 56–58 выбирают поверхность плоскости симметрии и узловые точки на ней для определения краевого условия,

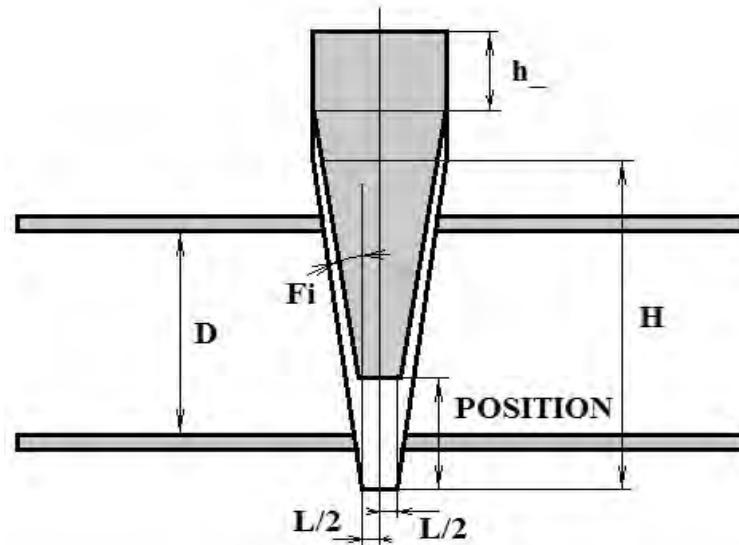


Рис. 7. Клиновая задвижка [1; 2]. Авторский рисунок.

Таблица 4

Координаты точек для построения половины продольного сечения внутреннего пространства треугольника [1; 2]

KP	X-Loc	Y-Loc	Z-Loc
1	0	-H/2	-L/2
2	0	-H/2	L/2
3	0	H/2	L/2 + H · TAN(FI/180 · PI)
4	0	H/2	L/2 + H · TAN(FI/180 · PI)
5	0	H/2	-L/2 - H · TAN(FI/180 · PI)
6	0	H/2	-L/2 - H · TAN(FI/180 · PI)

соответствующего симметрии данной задачи. Команды № 59–61 отменяют выбор поверхностей на плоскости симметрии, узловых точек и элементов на них. Команды № 62 и 63 задают краевые условия на входе и выходе дискового затвора.

4. Создание конечно-элементной модели внутреннего пространства клиновой задвижки [1; 2]. Задвижка – промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный орган перемещается возвратно-поступательно перпендикулярно оси потока рабочей среды [1–4]. Возможно применение задвижек для двухпозиционного (дискретного) регулирования потока рабочей среды [1; 2]. Перекрытие в задвижках осуществляется за счёт запорного элемента, перегораживающего поток. В данной статье рассматривается клиновая задвижка (рис. 7) [1; 2].

Для построения модели внутреннего объёма клиновой задвижки (рис. 7) ис-

пользуются следующие параметры [1; 2]: $D = 1$ (м) – внутренний входной и выходной диаметр трубы [1; 2]; $H = 1$ (м) – высота клина [1; 2]; $h_ = D$ (м) – высота параллельной части задвижки [1; 2]; $POSITION = 0,5 \cdot H$ (м) – положение задвижки относительно полного закрытия [1; 2]; $L = 0,05$ (м) – минимальная толщина клина [1; 2]; $Fi = 5$ (градусов) – угол наклона боковых плоскостей задвижки [1; 2]; $V = 0,5$ (м/с) – скорость перекачки жидкости; $P = 3 \cdot (1E+5)$ (Па) – манометрическое давление в трубопроводе (рис. 7) [1; 2].

При построении модели клиновой задвижки используются шесть вспомогательных ключевых точек с координатами, перечисленными в таблице 4 [1; 2].

Список команд для задания параметров, начала работы в препроцессоре, построения половины внутреннего пространства клиновой задвижки, симметричного относительно продольной верти-





Таблица 5

Список команд построения конечно-элементной модели и задания краевых условий внутреннего объёма клиновой задвижки [1; 2]

№	Команда	№	Команда
1.	/FILNAME, WedgeGateValve, 0	29.	CYLIND, D/2, 0, -2•D, 2•D, 90, 270
2.	D = 1	30.	VADD, 1, 3
3.	H = 1.05	31.	VSBV, 4, 2, , DELETE, DELETE
4.	h_ = D	32.	AADD, 20, 19, 36, 7, 21
5.	Fi = 5	33.	ET, 1, FLUID142
6.	V = 0.5	34.	SMRTSIZE, 8
7.	L = 0.05	35.	ESIZE, D/5
8.	POSITION = 0.5 • H	36.	MSHAPE, 1, 3D
9.	P = 3 • (1E+5)	37.	VMESH, 1
10.	Pi = ACOS(-1)	38.	ASEL, S, AREA,, 32, 35, 1
11.	/PREP7	39.	ASEL, A, AREA,, 37
12.	K, 1, 0, -H/2, -L/2	40.	ASEL, A, AREA,, 5, 6, 1
13.	K, 2, 0, -H/2, L/2	41.	ASEL, A, AREA,, 1, 10, 9
14.	K, 3, 0, H/2, L/2+H • TAN(FI/180 • PI)	42.	ASEL, A, AREA,, 25, 26, 1
15.	K, 4, 0, H/2 + h_, L/2 + H • TAN(FI/180 • PI)	43.	DA, ALL, VX, 0, 1
16.	K, 5, 0, H/2 + h_, -L/2 - H • TAN(FI/180 • PI)	44.	DA, ALL, VY, 0, 1
17.	K, 6, 0, H/2, -L/2 - H • TAN(FI/180 • PI)	45.	DA, ALL, VZ, 0, 1
18.	*DO, i, 1, 5	46.	ASEL, ALL
19.	LSTR, i, i+1	47.	ASEL, S, AREA,, 23, 24, 1
20.	*ENDDO	48.	ASEL, A, AREA,, 27, 28, 1
21.	LSTR, 6, 1	49.	ASEL, A, AREA,, 2
22.	AL, 1, 2, 3, 4, 5, 6	50.	DA, ALL, VX, 0, 1
23.	VOFFST, 1, H/2	51.	DA, ALL, VX, 0, 1
24.	CYLIND, H/2, 0, -H, H, 180, 270	52.	DA, ALL, VX, 0, 1
25.	VSBA, 1, 11,, DELETE, DELETE	53.	ASEL, ALL
26.	VDELE, 2, 3, 1, 1	54.	DA, 18, VZ, -V, 1
27.	NUMCMP, ALL	55.	DA, 17, PRESS, 0, 1
28.	VGEN, 2, 1,,, POSITION	56.	---

кальной плоскости (рис. 7), приведён в таблице 5 [1; 2].

Строка № 1 (табл. 5) определяет имя файла решения WedgeGateValve.

Строки № 2–9 задают значения параметров задачи.

В строке № 10 устанавливается значение константы π с наилучшей для ANSYS точностью.

Строка № 11 содержит команду входа в препроцессор.

Строки № 12–32 производят построение половины объёма клиновой задвижки посредством:

- создания шести ключевых точек образующих профиль клиновой задвижки (строки № 12–17) с координатами из таблицы 4;

- построения линий, соединяющих построенные ключевые точки, с использо-

ванием оператора цикла (строки № 18–21);

- создания поверхности профиля задвижки по линиям (строка № 22);

- вытягивания профиля задвижки (строка № 23);

- построения вспомогательной четверти цилиндра (строка № 24);

- деления объёма, построенного вытягиванием боковой плоскостью четверти цилиндра (команда № 25);

- удаления ненужных объёмов, полученных после проведения последних операций, вместе с их поверхностями, рёбрами и ключевыми точками (команда № 26);

- сжатия нумерации всех геометрических компонент модели (команда № 27);

- создания копии объёма, соответствующего задвижке на заданном расстоянии POSITION (команда № 28);

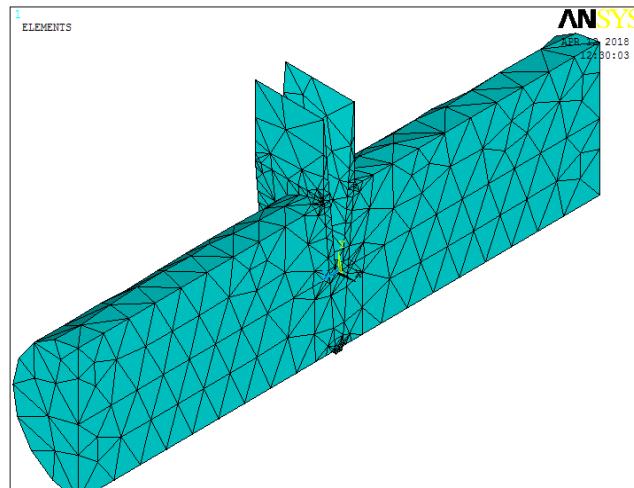


Рис. 8. Конечно-элементное разбиение модели половины внутреннего объёма клиновой задвижки [1; 2].
Авторский рисунок.

- построения полуцилиндра внутреннего объёма (команда № 29);
- сложения первого и третьего (последнего) объёмов (команда № 30);
- вычитания из результата сложения второго объёма, построенного сдвигом, и моделирующего положение задвижки (команда № 31);
- сложения боковых поверхностей вертикального сечения задвижки для упрощения задания краевых условий (команда № 32).

Далее в таблице 5 приводятся команды № 33–37 создания конечно-элементной сетки (рис. 8). Их описание полностью соответствует предыдущему примеру (команды № 37–41 таблицы 3).

Заканчивают список команд таблицы 5 команды № 38–55 задания краевых условий на компонентах геометрической модели. Команды № 38–45 выбирают внешние поверхности модели для задания на них краевых условий прилипания. Команда № 46 отменяет выбор внешних поверхностей. Команды № 47–52 выбирают поверхности плоскости симметрии для определения краевого условия, соответствующего симметрии данной задачи. Команда № 53 отменяет выбор поверхностей на плоскости симметрии. Команды № 54 и 55 задают краевые условия на входе и выходе клиновой задвижки.

5. Создание конечно элементной модели внутреннего пространства углового клапана [1; 2]. Клапан – промышленная

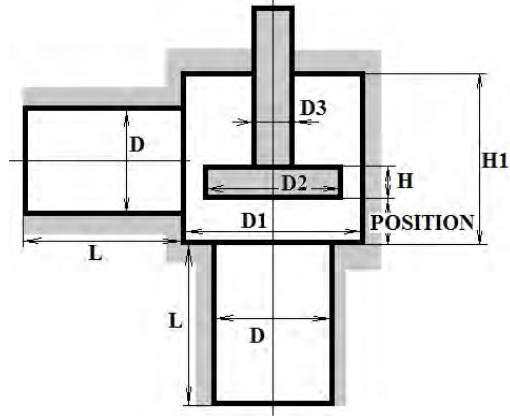


Рис. 9. Разрез углового клапана [1; 2]. Авторский рисунок.

трубопроводная арматура, в которой запорный или регулирующий орган перемещается возвратно-поступательно параллельно оси потока рабочей среды (рис. 9) [1; 2; 5; 6]. До 1981 года клапан, в котором запирающий элемент перемещается с помощью винтовой пары и управляемый вручную, обычно называли вентилем [1; 2]. Сейчас термин «вентиль» не допускается к использованию ГОСТом [7].

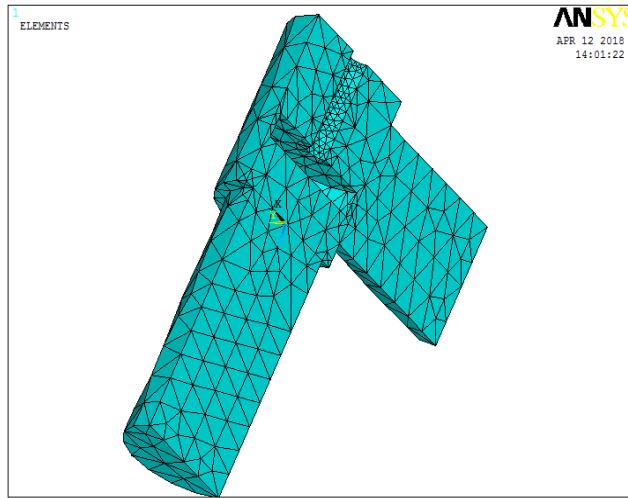
Для построения модели внутреннего объёма углового клапана (рис. 9) используются следующие параметры [1; 2]: $D = 0,5$ (м) – внутренний диаметр трубы [1; 2]; $D1 = 0,6$ (м) – диаметр камеры клапана [1; 2]; $D2 = 0,55$ (м) – диаметр запирающего элемента клапана [1; 2]; $D3 = 0,1$ (м) – диаметр стержня запирающего элемента [1; 2];



Таблица 6

Команды построения конечно-элементной модели объёма углового клапана [1; 2]

№	Команда	№	Команда
1.	/FILNAME, Valve, 0	49.	D, ALL, VY, 0
2.	D = 0.5	50.	D, ALL, VZ, 0
3.	D1 = 0.6	51.	ASEL, ALL
4.	D2 = 0.55	52.	NSEL, ALL
5.	D3 = 0.1	53.	ASEL, S, AREA,, 28, 34, 6, 1
6.	H = 0.1	54.	NSLA, S, 1
7.	H1 = D+2 • H	55.	D, ALL, VX, 0
8.	L = 2 • D	56.	D, ALL, VY, 0
9.	POSITION = 2 • H	57.	D, ALL, VZ, 0
10.	V = 0.5	58.	ASEL, ALL
11.	P = 3 • (1E+5)	59.	NSEL, ALL
12.	Pi = ACOS(-1)	60.	ASEL, S, AREA,, 26,,, 1
13.	/PREP7	61.	NSLA, S, 1
14.	CYLIND, D/2, 0, L, 0, 0, 180	62.	D, ALL, VX, 0
15.	CYLIND, D1/2, 0, 0, -H1, 0, 180	63.	D, ALL, VY, 0
16.	CYLIND, D/2, 0, L, 0, 0, 180	64.	D, ALL, VZ, 0
17.	CSYS, 5	65.	ASEL, ALL
18.	VGEN, 2, 3,,, 270,,, 1	66.	NSEL, ALL
19.	CSYS, 0	67.	ASEL, S, AREA,, 4, 5, 1, 1
20.	VGEN, 2, 3,,,,-(H+D/2),,, 1	68.	NSLA, S, 1
21.	CYLIND, D2/2, 0, 0, -H, 0, 180	69.	D, ALL, VY, 0
22.	CYLIND, D3/2, 0, -H/2, -L, 0, 180	70.	ASEL, ALL
23.	VADD, 1, 2, 3	71.	NSEL, ALL
24.	VADD, 4, 5	72.	ASEL, S, AREA,, 22, 23, 1, 1
25.	VGEN, 2, 1,,,,-POSITION,,, 1	73.	NSLA, S, 1
26.	VSBV, 6, 1,, DELETE, DELETE	74.	D, ALL, VY, 0
27.	ET, 1, FLUID142	75.	ASEL, ALL
28.	SMRTSIZE, 8	76.	NSEL, ALL
29.	ESIZE, D/5	77.	ASEL, S, AREA,, 29, 30, 1, 1
30.	MSHAPE, 1, 3D	78.	NSLA, S, 1
31.	VMESH, ALL	79.	D, ALL, VY, 0
32.	ASEL, S, AREA,, 1, 3, 2, 1	80.	ASEL, ALL
33.	NSLA, S, 1	81.	NSEL, ALL
34.	D, ALL, VX, 0	82.	ASEL, S, AREA,, 16, 19, 3, 1
35.	D, ALL, VY, 0	83.	NSLA, S, 1
36.	D, ALL, VZ, 0	84.	D, ALL, VY, 0
37.	ASEL, ALL	85.	ASEL, ALL
38.	NSEL, ALL	86.	NSEL, ALL
39.	ASEL, S, AREA,, 17, 18, 1, 1	87.	ASEL, S, AREA,, 33,,, 1
40.	NSLA, S, 1	88.	NSLA, S, 1
41.	D, ALL, VX, 0	89.	D, ALL, VY, 0
42.	D, ALL, VY, 0	90.	ASEL, ALL
43.	D, ALL, VZ, 0	91.	NSEL, ALL
44.	ASEL, ALL	92.	NSEL, ALL
45.	NSEL, ALL	93.	ESEL, ALL
46.	ASEL, S, AREA,, 15, 20, 5, 1	94.	DA, 2, VZ, -V, 1
47.	NSLA, S, 1	95.	DA, 12, PRESS, 0, 1
48.	D, ALL, VX, 0	96.	---



**Рис. 10. Конечно-элементное разбиение модели половины внутреннего объёма углового клапана [1; 2].
Авторский рисунок.**

$H = 0,1$ (м) – высота запирающего элемента стержня [1; 2]; $H1 = D + 2 \cdot H$ – высота камеры [1; 2]; $POSITION = 2 \cdot H$ – положение запирающего элемента относительно крайнего нижнего состояния «полностью перекрыто» [1; 2]; $L = 2 \cdot D$ – длина трубы [1; 2]; $V = 0,5$ (м/с) – скорость перекачки жидкости [1; 2]; $P = 3 \cdot (1E+5)$ (Па) – манометрическое давление в трубопроводе [1; 2].

Список команд для задания параметров, начала работы в препроцессоре, построения половины внутреннего пространства углового клапана (рис. 9), симметричного относительно продольной вертикальной плоскости, приведён в таблице 6 [1; 2].

Строка № 1 (табл. 6) определяет имя файла решения Valve.

Строки № 2–11 задают значения параметров задачи.

В строке № 12 устанавливается значение константы π с наилучшей для ANSYS точностью.

Строка № 13 содержит команду входа в препроцессор.

Строки № 14–26 производят построение половины объёма клиновой задвижки посредством:

- создания трёх полуцилиндров (строки № 14–16);
- переключения в цилиндрическую систему координат (строка № 17);
- поворота одного из полуцилиндров (строка № 18);
- возвращения в глобальную декартовую систему координат (строка № 19);

- смещения поворачиваемого полуцилиндра (строка № 24);
- создания двух вспомогательных полуцилиндров, имитирующих запирающий элемент на валу (команды № 21–22);
- сложения первых трёх полуцилиндров, имитирующих внутренний объём углового клапана (команда № 23);
- сложения последних двух полуцилиндров, имитирующих запирающий элемент и вал (команда № 24);
- сдвига запирающего элемента в положение POSITION (команда № 25);
- вычитания объёма запирающего элемента из внутреннего объёма клапана (команда № 26).

Далее в таблице 6 приводятся команды № 27–31 создания конечно-элементной сетки (рис. 10). Их описание полностью соответствует предыдущему примеру (команды № 37–41 таблицы 3).

Заканчивают список команд таблицы 6 команды № 32–93 задания краевых условий на узлах конечно-элементной сетки, и далее идут две команды № 94 и 95 задания краевых условий на поверхностях, имитирующих вход и выход клапана. Отметим, что описание команд № 32–93 (табл. 6) полностью соответствует описанию команд № 42–61 таблицы 3. При этом задание краевых условий командами № 94 и 95 из таблицы 6 неоднократно комментировалось в предыдущих примерах.

6. Задание физических свойств несжимаемой жидкости для всех конструкций



Таблица 7
Список команд задающих
свойства среды [1; 2]

№	Команда
1.	FLDATA7, PROT, DENS, CONSTANT
2.	FLDATA8, NOMI, DENS, 1000
3.	FLDATA7, PROT, VISC, CONSTANT
4.	FLDATA8, NOMI, VISC, 0.000894
5.	FLDATA7, PROT, COND, CONSTANT
6.	FLDATA8, NOMI, COND, -1
7.	FLDATA7, PROT, SPHT, CONSTANT
8.	FLDATA8, NOMI, SPHT, -1
9.	FLDATA15, PRES, REFE, P

Таблица 8
Список команд для определения
параметров решателя и решения
задачи [1; 2]

№	Команда
1.	FLDATA1, SOLU, TRAN, 0
2.	FLDATA1, SOLU, TEMP, 0
3.	FLDATA1, SOLU, TURB, 1
4.	FLDATA1, SOLU, COMP, 0
5.	FLDATA24, TURB, MODL, 3
6.	FLDATA37, ALGR, SEGR, SIMPLEN
7.	FLDATA2, ITER, EXEC, 500
8.	FLDATA34, MIR, MOME, 0.35
9.	FINISH
10.	/SOL
11.	SOLVE
12.	FINISH

запорных арматур. Физические свойства жидкости задаются с помощью команд задания свойств жидкости, а также манометрического давления из таблицы 7 [1; 2]. В частности, команды таблицы 7 указывают значение плотности 1000 кг/м³ и вязкости 0,000894 Па · с жидкости [1; 2; 8].

Задание термодинамических характеристик невозмущённого потока осуществляется по умолчанию. С помощью команды № 9 таблицы 7 указывается необходимая величина манометрического давления Р.

7. Подготовительные мероприятия перед решением поставленных краевых задач течения жидкости и решение задачи [1; 2]. Задание модели течения жидкости необходимо осуществить с помощью команд с 1 по 5 [1; 2]. В 6 строке таблицы 8 приводится команда выбора алгоритма решения вихревой задачи [1; 2].

Несмотря на то, что решается задача стационарная, но во FLOTTRAN при этом используются итерационные алгоритмы, поэтому перед запуском решения задачи необходимо ограничить количество итераций. Назначение количества итераций осуществляется с помощью команды, приведённой в 7 строке таблицы 8.

При решении задачи может возникнуть ошибка с указанием на то, что в решаемой матрице на определённой итерации получаются отрицательные элементы. Обойти данную ошибку можно с помощью команды 8 в таблице 8 (параметру MIR необходимо присвоить значение 0,35). На этом подготовка любой из рассмотренных задач к решению заканчивается, и для запуска алгоритма решения необходимо использовать команды 10–12 из таблицы 8.

8. Чтение результатов решения задачи на последнем шаге и их отображение [1; 2]. Поскольку вихревые задачи (даже стационарные) решаются итерационно, то, чтобы получить доступ к результатам решения, необходимо прочитать последние по времени данные решения [1; 2]. Выполняется это с помощью пункта меню: Main Menu > General Postproc > Read Results > Last Set [1; 2].

Для отображения результатов в векторном виде необходимо воспользоваться пунктом меню Main Menu > General Postproc > Plot Results > Vector Plot > Predefined [1; 2]. В появившемся окне следует выбрать требуемые результаты в списке и, если необходимо, изменить размеры векторов скоростей потока (рис. 11) [1; 2].

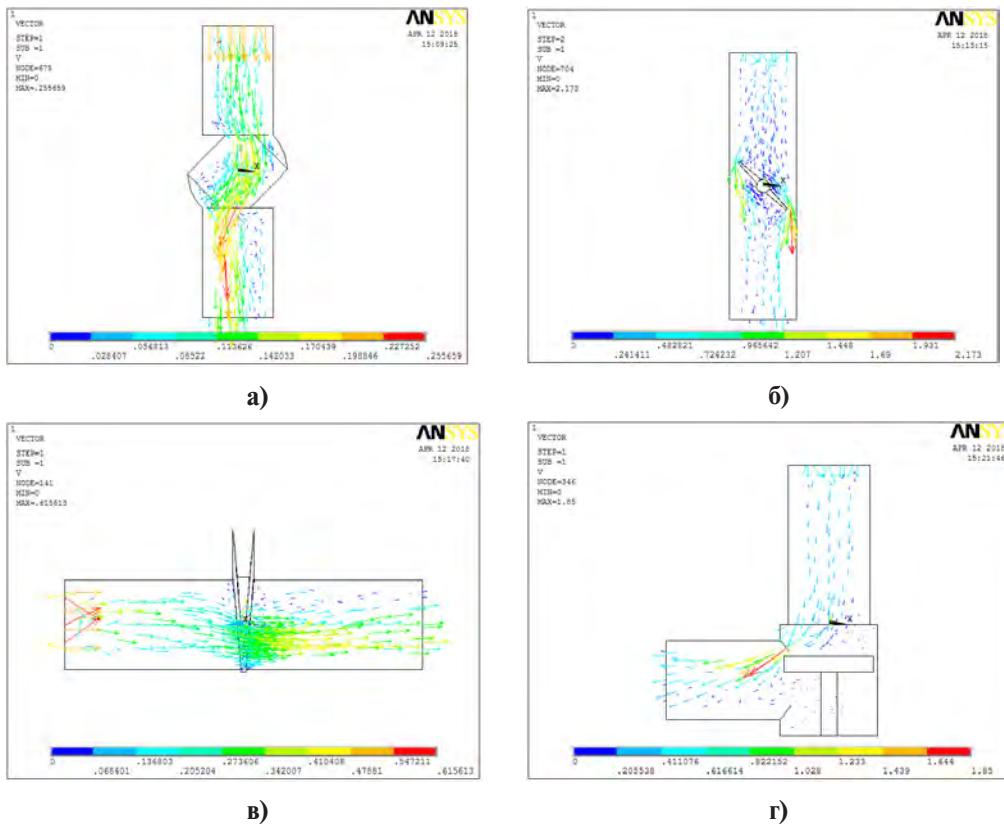
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью решения комплексной проблемы управления и ресурсосбережения на трубопроводном транспорте в статье предложены параметрические модели вихревого стационарного течения в таких видах запорно-регулирующей арматуры, как шаровой кран, дисковый затвор, клиновая задвижка, угловой клапан [1; 2].

Без ущерба общности методики в качестве примера перекачиваемой среды рассматривается вода [1; 2].

Анализ выполнен средствами FLOTTRAN CFD программы ANSYS10 ED [1; 2].

Установлено, что расход среды и скорость её прокачки можно определять по положению запирающего элемента [1; 2].



**Рис. 11. Поле скоростей в параметрических моделях запорно-регулирующей арматуры [1; 2]:
а) шаровой кран, б) дисковый затвор, в) клиновая задвижка, д) угловой клапан.**
Авторский рисунок.

Установлено, что на характер течения и расход среды оказывает влияние как геометрия рассмотренных видов запорно-регулирующей арматуры, так и скорость потока [1; 2].

Предлагаемые модели и методика может быть применена для любых конструкций арматуры, связанных с расчётом движения вязкой жидкости [1; 2].

Для улучшения качества результатов, получаемых на предлагаемых моделях, необходимо в приведённых списках команд только указать значение, улучшающих разбиение параметров [1; 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Михневич А. П. Моделирование вихревого течения жидкости в трубопроводах с учётом особенностей конструкции запорной арматуры, а также приборов учёта и контроля параметров потока в ANSYS ED10 / Магистерская диссертация по специальности 1-31.80.03 «Механика». – Минск: БГУ, 2018. – 59 с.

2. Гайс Н. Ю. Моделирование вихревого течения жидкости в трубопроводах с учётом особенностей конструкции запорной арматуры, а также

приборов учёта и контроля параметров потока в ANSYS ED10 / Дипломная работа по специальности 1-31.80.03 «Механика». – Минск: БГУ, 2019. – 68 с.

3. Час С. И. Гидромеханика в примерах и задачах. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – 216 с.

4. Ковалыновых Н. Н., Коврижных Е. Н. Основы гидравлики. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2004. – 86 с.

5. Ерёмин А. И., Баканова С. В., Канакина О. Н. Запорно-регулирующая арматура в системах отопления. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 88 с.

6. Новиков В. Т. Основы проектирования и оборудование предприятий органического синтеза. Часть 1. Трубопроводная арматура. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 292 с.

7. ГОСТ 24856-81 (ИСО 6552-80) Арматура трубопроводная промышленная. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <http://docs.ctnd.ru/document/1200011740>. Доступ 05.03.2019.

8. Кравчук А. С., Тарасюк И. А. Моделирование стационарного турбулентного обтекания цилиндрического препятствия потоком вязкой несжимаемой жидкости в ступенчатой трубе // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2017. – № 2. – С. 26–31. [Электронный ресурс]: <http://indust-engineering.ru/issues/2017/2017-2.pdf>. Доступ 05.03.2019.

9. Шабаров В. В. Применение системы ANSYS к решению гидрогазодинамических задач. – Нижний Новгород: ННГУ, 2006. – 108 с.





Theoretical Method for Controlling the Flow Rate of the Pumped Medium by Positioning Locking Elements of the Pipe Fittings



Alexander S. KRAVCHUK



Anzhelika I. KRAVCHUK



Arnold P. MIKHIEVICH



Nikolay Yu. GAYS

Kravchuk, Alexander S., Research Polytechnic Institute, a branch of Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus.

Kravchuk, Anzhelika I., Belarusian State University, Minsk, Belarus.

Mikhievich, Arnold P., Belarusian State University, Minsk, Belarus.

Gays, Nikolay Yu., JV CJSC International Business Alliance, Minsk, Belarus.*

ABSTRACT

Any object located in the pipeline, including the flow meter, leads to a drop in pressure in the pipeline and the need to increase the power of the pumps. Therefore, it seems promising to reduce energy consumption for pumping fluid in the pipeline by reducing the number of flow meters installed after shut-off and control valves and to predict the flow rate of the pumped medium by the position of the locking element in the valve. This will also lead to a reduction in the cost of transporting media by reducing the number of metering devices. In order to solve this complex problem in pipeline transport, the article solves a number of regional problems of hydromechanics based on the finite element method. In order to simplify the acquaintance with these solutions, as well as their practical application by engineers, the article proposes «parametric stationary vortex flow models in such types of shut-off and control valves as a ball valve, butterfly valve, wedge

gate valve, angle valve. Without prejudice to generality of the technique, water is considered as an example of a pumped medium. The analysis was performed using FLOTRAN CFD software of ANSYS10 ED program».

The article describes in detail the capabilities of both the graphical interface and the command line. Creating models is accompanied by full comments on the actions, which allows any user to master these models. All stages of building models are considered in detail: construction of a solid-state model, selection of elements, appointment of properties of the pumped media, appointment of boundary conditions, as well as solving the problem and viewing the results. «It has been established that the flow rate of the medium is affected both by the geometry of the considered types of shut-off and control valves», and the position of the locking element. The technique can be applied to any designs of pipe fittings associated with calculation of movement of a viscous fluid.

Keywords: fluid viscosity, vortex flow, stationary flow, incompressible fluid, parametric modeling, shut-off and control valves, ANSYS, FLOTRAN.

*Information about the authors:

Kravchuk, Alexander S. – D.Sc. (Physics and Mathematics), associate professor, leading researcher of the laboratory of Systems Dynamics and Materials Mechanics of Research Polytechnic Institute, a branch of Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, ask_belarus@inbox.ru.

Kravchuk, Anzhelika I. – Ph.D. (Physics and Mathematics), associate professor of the department of web technologies and computer modeling of Belarusian State University, Minsk, Belarus, anzhelika.kravchuk@gmail.com.

Mikhievich, Arnold P. – Ph.D. student of the department of bio- and nanomechanics of mechanics and mathematics faculty of Belarusian State University, Minsk, Belarus, fakel.arnold@gmail.com.

Gays, Nikolay Y. – engineer-programmer, JV CJSC International Business Alliance, Minsk, Belarus, craderua@gmail.com.

Article received 22.07.2019, revised 12.12.2019, accepted 15.01.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 22.

This article was written based on the master's thesis by A. P. Mikhievich and the thesis by N. Yu. Gays, performed under the guidance of D.Sc. (Physics and Mathematics) A. S. Kravchuk.

«Until now, all hydrodynamic calculations of pipelines have been carried out using semi-empirical formulas obtained mainly for the laminar flow of the medium in the pipeline, in which experimentally determined coefficients taking into account Reynolds numbers are present. Using this approach, various effects that occur during pumping of the medium and possible occurrence of vortices and other phenomena in these cases that reduce the velocity of the medium are taken into account» [1, p. 6].

«The main weakness of these methods is intuitiveness and complexity of adequately determining the necessary values of Reynolds numbers and inability to theoretically predict the flow rate of the pumped medium through shut-off and control valves» without installing additional metering devices (flow meters), which significantly increases the cost of building and operating pipelines [1, p. 6; 2, p. 6].

In addition, since it is obvious that any metering device is an obstacle to the medium, installation of any additional equipment in the path of the pumped stream leads to a pressure drop [1; 2]. Although it is «insignificant, a lot depends on the number of metering devices along the route, which can lead to a significant increase in the cost of electricity for pumping the medium» [1, p. 6; 2, p. 6].

Accordingly, one of the obvious ways to reduce energy and resource costs for operation of pipeline transport is to maximize simplification of pipeline equipment (a significant reduction in the number of control and measuring equipment), as well as to use of a calculation-theoretical methodology for controlling the flow of the

medium and its redistribution» over flows using such modern means of analysis of the eddy flow of liquid and gas as ANSYS with FLOTTRAN module» [1, p. 6; 2, p. 6].

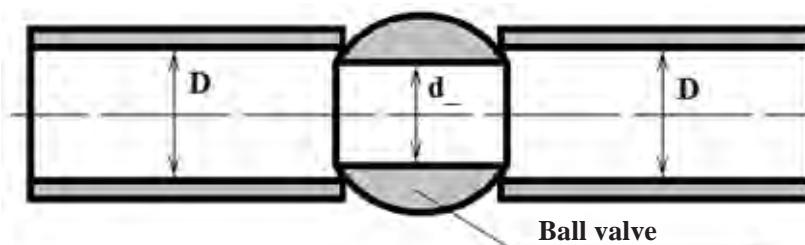
The proposed parametric models of shut-off and control valves will make it possible to refuse to install additional flow meters on the pipeline route, and to determine the flow rate of the medium by the geometric position of the locking element, which, in particular, for some structures can be determined by the angle of deviation of the handle from the axial direction of flow» [1; 2; 8].

1. A brief description of the task. «Due to the symmetry of the tasks and the need to save elements, we consider three-dimensional parametric models of the internal volume of a half ball valve, butterfly valve, valve and wedge gate valve, which are obtained by their section in the longitudinal plane. In all cases, the discarded (symmetric) part of the internal volume of the shut-off and control equipment is replaced by the corresponding boundary conditions for the flow (zero flow velocities in the direction perpendicular to the plane of symmetry).

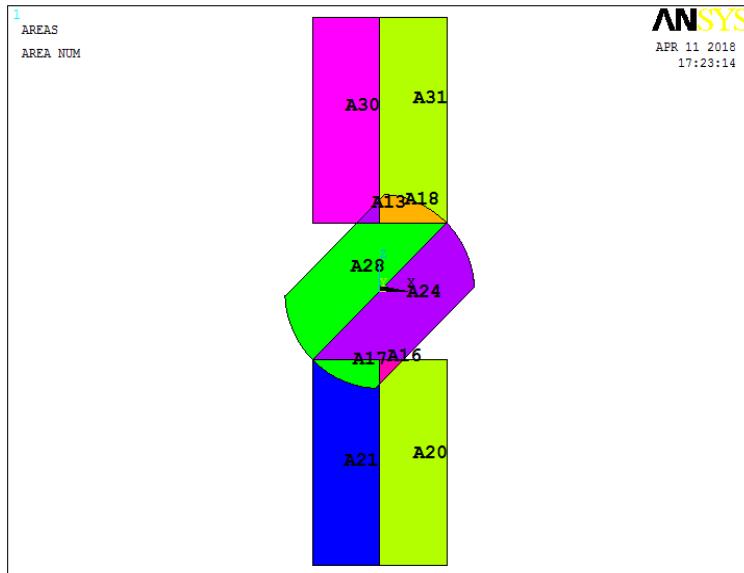
The boundary-value problem for studying the turbulent flow of the medium in shut-off and control valves was carried out taking into account the hypothesis of complete adhesion of the medium to the inner surface of the valve» [1, p. 19].

«Since all models under construction will be parametric, before starting to build any of the models, it is necessary to enter all the parameters listed in the statement of the problem with their values» [1, p. 19].

2. Creating a finite element model of the inner space of a ball valve. Ball valve is one of the most common types of shut-off and control valves. All cranes have a similar design and it is



Pic. 1. The axial section of a ball valve with a vertical plane [1; 2]. Authors' drawing.



Pic. 2. The axial section of the ball valve horizontal plane [1; 2]. Authors' drawing.

Table 1

List of commands for building a finite-element model of inner volume of a ball valve [1; 2]

No.	Command	No.	Command
1.	/FILNAME, PipingCrane, 0	19.	CSYS, 0
2.	D = 1	20.	BTOL, 0.10E-5
3.	d_ = 0.95	21.	VADD, 1, 6, 2
4.	Fi = 45	22.	BTOL, DEFA
5.	V = 0.2	23.	AADD, 20, 21, 16, 17, 24, 28, 18, 13, 31, 30
6.	P = 3 • (1E+5)	24.	NUMCMP, ALL
7.	Pi = ACOS(-1)	25.	ET, 1, FLUID142
8.	/PREP7	26.	SMRTSIZE, 4
9.	CYLIND, D/2, 0, -D/2, -2 • D, 0, 180	27.	MSHAPE, 1, 3D
10.	CYLIND, D/2, 0, D/2, 2 • D, 0, 180	28.	VMESH, 1
11.	CYLIND, d_/2, 0, -D/2/COS(45/180 • PI), D/2/COS(45/180 • PI), 0, 180	29.	ASEL, S, AREA,, 4, 10
12.	SPH4, 0, 0, D/2/COS(45/180 • PI)	30.	DA, ALL, VX, 0, 1
13.	VDELE, 4,,, 0	31.	DA, ALL, VY, 0, 1
14.	ADELE, 17,,, 1	32.	DA, ALL, VZ, 0, 1
15.	VSBA, 3, 16,,, DELETE, DELETE	33.	ASEL, ALL
16.	VDELE, 4, 5, 1, 1	34.	DA, 2, VY, 0, 1
17.	CSYS, 5	35.	DA, 3, VZ, -V, 1
18.	VGEN, 2, 6,,, FI,,, 1	36.	DA, 1, PRESS, 0, 1

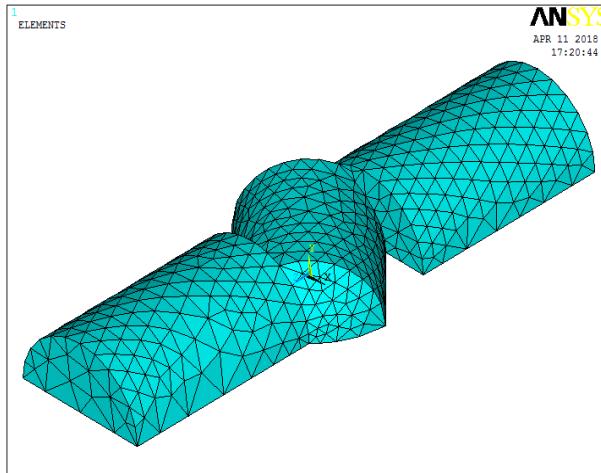
enough to demonstrate the technique on one of the versions of the locking element. In this article, the most common ball valve currently selected [1; 2; 5; 6].

In case of constructing a model of the inner space of a ball valve (Pic. 1), the following parameters are used (Pic. 1) [1; 2]: D = 1 (m) – diameter of the inner space of the pipe [1; 2]; d_ = 0,95 (m) – diameter of the hole in the ball locking element (valve) [1; 2]; Fi = 45 (degrees) – angle between the symmetry planes

of the locking element and the symmetry plane of the entrance and exit of the crane (Pic. 2) [1; 2]; V = 0,2 (m/s) – fluid transfer rate [1; 2]; P = 3 • (1E + 5) (Pa) – gauge pressure in the pipeline [1; 2].

In this model, the radius of the locking element (ball valve) is a calculated parameter, although the user can manually set its values if necessary [1; 2].

The list of commands for setting parameters, starting work in the preprocessor, building half



Pic. 3. The finite element model of half the internal volume of a ball valve [1; 2]. Authors' drawing.

of the internal space of a ball valve, symmetrical with respect to the longitudinal plane, is given in Table 1 [1; 2].

Line No. 1 (Table 1) defines the name of the solution PipingCrane with saving the names of open task files (error file, results, etc.) with which data will be exchanged.

Lines No. 2–6 set the values of the task parameters.

Line No. 7 sets the value of the constant π with the best accuracy for ANSYS.

Line No. 8 contains the input command to the preprocessor.

Lines No. 9–24 produce construction of the upper half of the volume of the ball valve by:

- creation of semi-cylinders (lines No. 9–11);

- creation of a ball (line No. 12);

- removal of the internal volume of the ball with preservation of its surface (line No. 13);

- removal of unnecessary hemisphere along with auxiliary lines and key points (line No. 14);

- dividing the semi-cylinder simulating the hole in the ball valve using the hemisphere built in the previous steps (command No. 15);

- removal of unnecessary volumes obtained after the last operation (command No. 16);

- changing the global coordinate system to a cylindrical (command No. 17);

- rotation of the semi-cylinder simulating the hole in the locking element by a predetermined angle FI (command No. 18);

- activation of the global Cartesian coordinate system (command No. 19);

- changing the accuracy of construction (command No. 20);

- addition of volumes (command No. 21);

- returning the accuracy of the default operations (command No. 22);

- addition of surfaces in the plane of symmetry of the crane (Pic. 2), to simplify the definition of boundary conditions (command No. 23);

- compression of the numbering of all geometric components of the model (command No. 24).

The following table 1 shows the commands No. 25–28 of creation of a finite element mesh.

Command No. 25 selects a volumetric element to simulate the flow of the medium FLUID142.

Command No. 26 sets the parameter SMRTSIZE to automatically control the accuracy of constructing a free partition.

Command No. 27 sets a parameter indicating that the partition will be performed by pyramidal elements.

Command No. 28 builds a free partition of the previously created geometric model (Pic. 3).

Commands No. No. 29–36 of setting boundary conditions end the list of commands of Table 1.

Commands No. 29–32 choose the outer surfaces of the model and set the boundary conditions of adhesion in them.

Command No. 33 cancels the selection of external surfaces.

Command No. 34 sets a boundary condition corresponding to the symmetry of the task.





Pic. 4. A large shutter with a flat-blade disc used at a hydropower plant in Japan [1; 2]. [Electronic resource]: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yagisawa_power_station_inlet_valve.jpg?uselang=en. Last accessed 22.07.2019.

Commands No. 35 and 36 set the boundary conditions at the input and output of the crane.

3. Creating a finite element model of half of the internal space of a disk shutter symmetrical with respect to the horizontal plane [1; 2]. A disc shutter is a type of pipe fittings in which a locking or regulating element has the shape of a disk that rotates around an axis perpendicular to or located at an angle to the direction of flow of the working medium [1; 2; 5; 6] (Pic. 4).

To build a model of a symmetric half of the internal volume of a disk shutter (Pic. 4) with a flat-skewed disk, the following parameters are used [1; 2]: $D = 1$ (m) – inner passage diameter of the disk shutter and the disk itself [1; 2]; $H_{MAX} = 0,1$ (m) – maximum thickness of a

flat-skewed disk in the middle [1; 2]; $H_{MIN} = 0,03$ (m) – minimum thickness of the disk at its edges [1; 2]; $Fi = 45$ (degrees) – opening angle of the disk [1; 2]; $L = 2 \cdot D$ – distance from the input section to the shutter disk and from the shutter disk to the output section in the model [1; 2]; $V = 0,5$ (m/s) – fluid transfer rate [1; 2]; $P = 3 \cdot (1E + 5)$ (Pa) – gauge pressure in the pipeline [1; 2].

When constructing a disk shutter model, four auxiliary key points are used with the coordinates listed in Table 2 [1; 2].

The list of commands for setting parameters, starting work in the preprocessor, constructing half of the internal space of the shutter with a plane-skewed disk, symmetrical with respect to the longitudinal horizontal plane (Pic. 4), is given in Table 3 [1; 2].

Line No. 1 (Table 3) defines the name of the *ButterflyValve* solution file.

Lines No. 2–8 set the values of the parameters of the task.

Line No. 9 sets the value of the constant π with the best accuracy for ANSYS.

Line No. 10 contains the input command to the preprocessor.

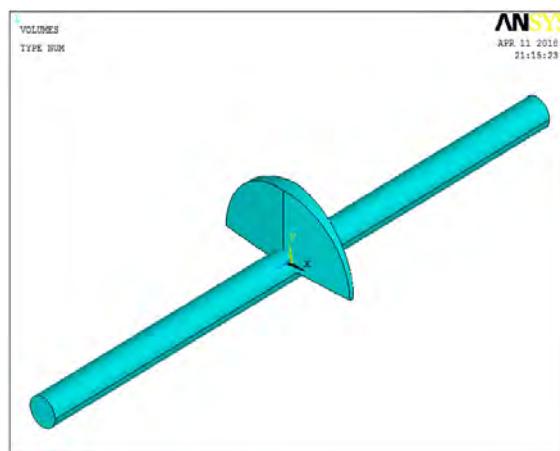
Table 2
The coordinates of the points for constructing half the longitudinal section of the inner space of the disk shutter [1; 2]

KP	X-Loc	Y-Loc	Z-Loc
1	0	0	$-H_{MAX}/2$
2	$D/2$	0	$-H_{MIN}/2$
3	$D/2$	0	$H_{MIN}/2$
4	0	0	$H_{MAX}/2$

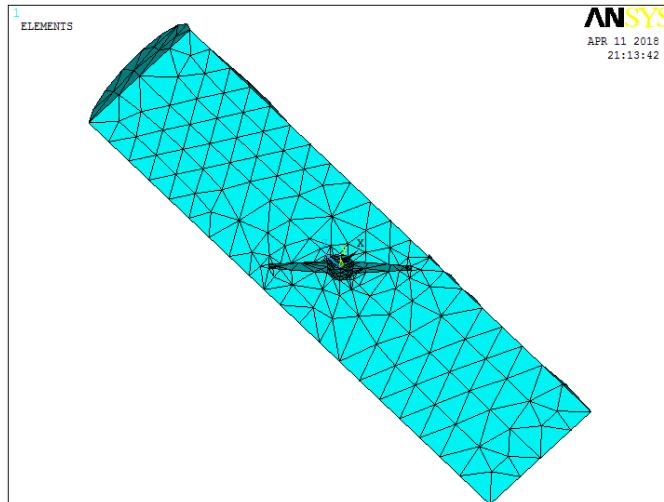
Table 3

List of commands for constructing the finite element model of the internal volume of the disk shutter [1; 2]

No.	Command	No.	Command
1.	/FILNAME, ButterflyValve, 0	33.	CSYS, 0
2.	D = 1	34.	CYLIND, D/2, 0, -L, L, 0, 180
3.	Fi = 45	35.	VSBV, 1, 2,, DELETE, DELETE
4.	H_MAX = 0.1	36.	NUMCMP, ALL
5.	H_MIN = 0.03	37.	ET, 1, FLUID142
6.	L = 2 • D	38.	SMRTSIZE, 8
7.	V = 0.5	39.	ESIZE, D/5
8.	P = 3 • (1E+5)	40.	MSHAPE, 1, 3D
9.	Pi = ACOS(-1)	41.	VMESH, ALL
10.	/PREP7	42.	ASEL, S, AREA,, 3, 12, 1, 1
11.	K, 1, 0, 0, -H_MAX/2	43.	NSLA, S, 1
12.	K, 2, D/2, 0, -H_MIN/2	44.	D, ALL, VX, 0
13.	K, 3, D/2, 0, H_MIN/2	45.	D, ALL, VY, 0
14.	K, 4, 0, 0, H_MAX/2	46.	D, ALL, VZ, 0
15.	KSYMM, X, 2, 3, 1	47.	ASEL, ALL
16.	A, 1, 2, 3, 4, 6, 5	48.	NSEL, ALL
17.	CYLIND, D/2, 0, -H_MAX/2, H_MAX/2, 0, 180	49.	ASEL, S, AREA,, 15,, 1
18.	VOFFST, 1, -D	50.	NSLA, S, 1
19.	VSBA, 1, 11,, DELETE, KEEP	51.	D, ALL, VX, 0
20.	VSBA, 4, 10,, DELETE, KEEP	52.	D, ALL, VY, 0
21.	VSBA, 5, 8,, DELETE, KEEP	53.	D, ALL, VZ, 0
22.	VSBA, 6, 13,, DELETE, KEEP	54.	ASEL, ALL
23.	VDELE, 1, 5, 1, 1	55.	NSEL, ALL
24.	CYLIND, 0.2 • D/2, 0, -L, L, 0, 360	56.	ASEL, S, AREA,, 13, 14,, 1
25.	CSYS, 5	57.	NSLA, S, 1
26.	VGEN, 2, 1,,, 90,,, 1	58.	D, ALL, VY, 0
27.	CSYS, 1	59.	ASEL, ALL
28.	VGEN, 2, 1,,, 90,,, 1	60.	NSEL, ALL
29.	CSYS, 0	61.	ESEL, ALL
30.	VADD, ALL	62.	DA, 2, VZ, -V, 1
31.	CSYS, 5	63.	DA, 1, PRESS, 0, 1
32.	VGEN, 2, 2,,, FI,,, 1	64.	--



Pic. 5. The initial position of flat-skewed shutter and its shaft [1; 2]. Authors' drawing.



Pic. 6. The finite element model of half the internal volume of the disk shutter [1; 2]. Authors' drawing.

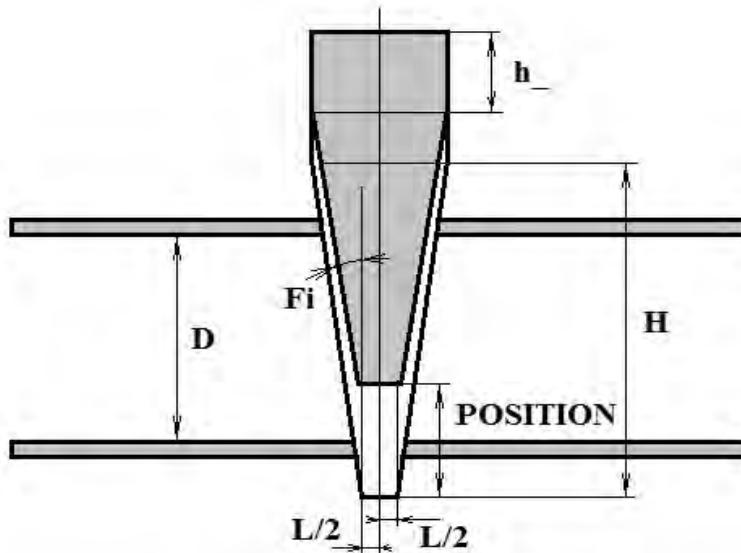
Lines No. 11–36 produce construction of the upper half of the volume of the ball valve by:

- creation of four key points (lines No. 11–14) with the coordinates from Table 2;
- symmetric display of two points (line No. 15);
- creation of a surface at key points (line No. 16);
- creation of a semi-cylinder simulating a shutter (line No. 17);
- extraction of volume from a surface previously created at key points (line No. 18);
- dividing the semi-cylinder simulating the shutter, the side surfaces, the created volume (commands No. 19–22);
- removal of unnecessary volumes obtained after the last operations, together with their surfaces, edges and key points (command No. 23);
- creation of a cylinder (Pic. 5) corresponding to the vertical shutter shaft (command No. 24);
- inclusion of a global cylindrical coordinate system and rotation of the cylinder, simulating the shaft of the locking element at an angle of 90° (commands No. 25–28);
- activation of the global Cartesian coordinate system (command No. 29);
- addition of the constructed shutter and shaft volumes (command No. 30);
- inclusion of the global cylindrical coordinate system and turning the shutter at a given angle FI (commands No. 31 and 32);

- activation of the global Cartesian coordinate system (command No. 33);
- building a semi-cylinder of internal volume (command No. 34);
- subtracting the volume simulating the shutter from the volume of the constructed cylinder (command No. 35);
- compression of the numbering of all geometric components of the model (command No. 36).

The following Table 3 shows commands No. 37–41 of creation of a finite element mesh. Command No. 37 selects a volumetric element to simulate the flow of the medium FLUID142. Command No. 38 of setting the parameter SMRTSIZE for automatic control of the accuracy of constructing a free partition (the large value of this parameter guarantees a small number of elements corresponding to the educational version of ANSYS10 ED). Command No. 39 sets the approximate size of the edge of the element relative to the value of the parameter D of the model. Command No. 40 sets a parameter indicating that the partition will be performed by pyramidal elements. Command No. 41 performs a partition of the constructed volume (Pic. 6).

Commands No. 42–61 setting the boundary conditions on the nodes of the finite element mesh and then two commands No. 62 and 63 setting the boundary conditions on the surfaces simulating the input and output of the model end the list of commands in Table 3.



Pic. 7. Wedge gate valve [1; 2]. Authors' drawing.

Table 4

The coordinates of the points for constructing half the longitudinal section of the inner space of the tee [1; 2]

KP	X-Loc	Y-Loc	Z-Loc
1	0	-H/2	-L/2
2	0	-H/2	L/2
3	0	H/2	L/2 + H · TAN(FI/180 · PI)
4	0	H/2	L/2 + H · TAN(FI/180 · PI)
5	0	H/2	-L/2 - H · TAN(FI/180 · PI)
6	0	H/2	-L/2 - H · TAN(FI/180 · PI)

This significantly distinguishes this model from the previous one, because in this case, the boundary conditions are specified directly on the components of the finite element decomposition, and not on the components of the geometric model.

Commands No. 42–53 select the external surfaces of the model and the nodal points of the finite element partition located on these surfaces to specify the boundary conditions of adhesion on them. Commands No. 54 and 55 deselect external surfaces and nodal points on them. Commands No. 56–58 choose the surface of the plane of symmetry and the nodal points on it to determine the boundary condition corresponding to the symmetry of the given task. Commands No. 59–61 cancel the choice of surfaces on the plane of symmetry, nodal points and elements on them. Commands No. 62 and 63 set the boundary conditions at the input and output of the disk shutter.

4. Creation of a finite element model of the internal space of the wedge gate valve [1; 2]. Gate valve – industrial pipe fittings, in which the shut-off element moves reciprocally perpendicular to the axis of the flow of the working medium [1–4]. It is possible to use valves for on-off (discrete) regulation of the flow of the working medium [1; 2]. Overlapping in gate valves is carried out due to the locking element blocking the flow. This article discusses a wedge gate valve (Pic. 7) [1; 2].

To build a model of the internal volume of a wedge gate valve (Pic. 7), the following parameters are used [1; 2]: D = 1 (m) – internal input and output pipe diameters [1; 2]; H = 1 (m) – height of the wedge [1; 2]; h_ = D (m) – height of the parallel part of the valve [1; 2]; POSITION = 0,5 · H (m) – valve position relative to full closure [1; 2]; L = 0,05 (m) – minimum thickness of the wedge [1; 2]; Fi = 5 (degrees) – angle of inclination of the lateral planes of the valve [1; 2]; V = 0,5 (m/s) – fluid

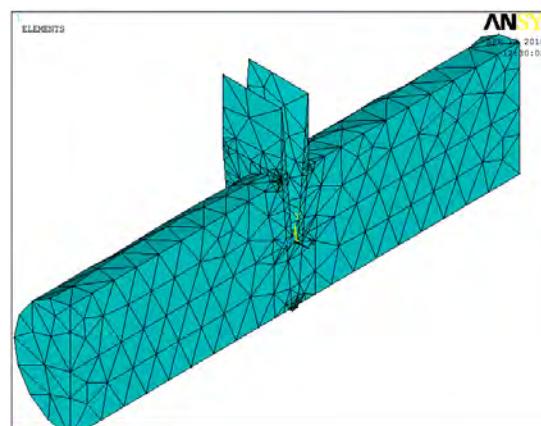




Table 5

List of commands for constructing a finite element model and setting boundary conditions for the internal volume of a wedge gate valve [1; 2]

No.	Command	No.	Command
1.	/FILNAME, WedgeGateValve, 0	29.	CYLIND, D/2, 0, -2 • D, 2 • D, 90, 270
2.	D = 1	30.	VADD, 1, 3
3.	H = 1.05	31.	VSBV, 4, 2,, DELETE, DELETE
4.	h_ = D	32.	AADD, 20, 19, 36, 7, 21
5.	Fi = 5	33.	ET, 1, FLUID142
6.	V = 0.5	34.	SMRTSIZE, 8
7.	L = 0.05	35.	ESIZE, D/5
8.	POSITION = 0.5 • H	36.	MSHAPE, 1, 3D
9.	P = 3 • (1E+5)	37.	VMESH, 1
10.	Pi = ACOS(-1)	38.	ASEL, S, AREA,, 32, 35, 1
11.	/PREP7	39.	ASEL, A, AREA,, 37
12.	K, 1, 0, -H/2, -L/2	40.	ASEL, A, AREA,, 5, 6, 1
13.	K, 2, 0, -H/2, L/2	41.	ASEL, A, AREA,, 1, 10, 9
14.	K, 3, 0, H/2, L/2+H • TAN(FI/180 • PI)	42.	ASEL, A, AREA,, 25, 26, 1
15.	K, 4, 0, H/2 + h_, L/2 + H • TAN(FI/180 • PI)	43.	DA, ALL, VX, 0, 1
16.	K, 5, 0, H/2 + h_, -L/2 - H • TAN(FI/180 • PI)	44.	DA, ALL, VY, 0, 1
17.	K, 6, 0, H/2, -L/2 - H • TAN(FI/180 • PI)	45.	DA, ALL, VZ, 0, 1
18.	*DO, i, 1, 5	46.	ASEL, ALL
19.	LSTR, i, i+1	47.	ASEL, S, AREA,, 23, 24, 1
20.	*ENDDO	48.	ASEL, A, AREA,, 27, 28, 1
21.	LSTR, 6, 1	49.	ASEL, A, AREA,, 2
22.	AL, 1, 2, 3, 4, 5, 6	50.	DA, ALL, VX, 0, 1
23.	VOFFST, 1, H/2	51.	DA, ALL, VX, 0, 1
24.	CYLIND, H/2, 0, -H, H, 180, 270	52.	DA, ALL, VX, 0, 1
25.	VSBA, 1, 11,, DELETE, DELETE	53.	ASEL, ALL
26.	VDELE, 2, 3, 1, 1	54.	DA, 18, VZ, -V, 1
27.	NUMCMP, ALL	55.	DA, 17, PRESS, 0, 1
28.	VGEN, 2, 1,,, POSITION	56.	—

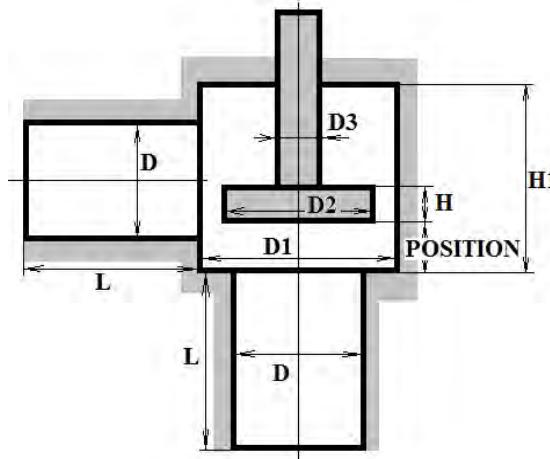


Pic. 8. The finite-element partition of the model of half the internal volume of the wedge gate valve [1; 2].
Authors' drawing.

transfer rate; $P = 3 \cdot (1E + 5)$ (Pa) – gauge pressure in the pipeline (Pic. 7) [1; 2].

When constructing a wedge gate valve model, six auxiliary key points with the coordinates listed in Table 4 are used [1; 2].

The list of commands for setting parameters, starting work in the preprocessor, building half of the internal space of the wedge gate valve, symmetrical with respect to the longitudinal vertical plane (Pic. 7), is given in Table 5 [1; 2].



Pic. 9. Section of the angle valve [1; 2]. Authors' drawing.

Line No. 1 (Table 5) defines the name of the WedgeGateValve solution file.

Lines No. 2–9 set the values of the parameters of the task.

Line No. 10 sets the value of the constant π with the best accuracy for ANSYS.

Line No. 11 contains the input command to the preprocessor.

Lines No. 12–32 produce the construction of half the volume of the wedge gate valve by:

- creating six key points forming the wedge gate valve profile (lines No. 12–17) with the coordinates from Table 4;
- plotting lines connecting the constructed key points using the loop operator (lines No. 18–21);
- creating a wedge gate valve profile surface along lines (line No. 22);
- pulling the wedge gate valve profile (line No. 23);
- construction of the auxiliary quarter of the cylinder (line No. 24);
- dividing the volume constructed by pulling the quarter plane of the cylinder by the lateral plane (command No. 25);
- removal of unnecessary volumes obtained after the last operations, together with their surfaces, edges and key points (command No. 26);
- compression of numbering of all geometric components of the model (command No. 27);
- creating a copy of the volume corresponding to the wedge gate valve at a given distance POSITION (command No. 28);

- building a semi-cylinder of internal volume (command No. 29);

- addition of the first and third (last) volumes (command No. 30);

- subtracting from the result of adding the second volume constructed by the shift and simulating the wedge gate valve position (command No. 31);

- addition of the lateral surfaces of the vertical section of the valve to simplify the task of boundary conditions (command No. 32).

The following Table 5 shows the commands No. 33–37 of creation of a finite element mesh (Pic. 8). Their description is fully consistent with the previous example (commands No. 37–41 of Table 3).

Commands No. 38–55 setting boundary conditions on the components of the geometric model end the list of commands in Table 5. Commands No. 38–45 choose the outer surfaces of the model to set the boundary conditions of adhesion on them. Command No. 46 deselects external surfaces. Commands No. 47–52 select the surfaces of the plane of symmetry to determine the boundary condition corresponding to the symmetry of the given task. Command No. 53 deselects surfaces on the symmetry plane. Commands No. 54 and 55 set the boundary conditions at the entrance and exit of the wedge gate valve.

5. Creation of a finite element model of the internal space of the angle valve [1; 2]. Valve – industrial pipe fittings in which a shut-off or regulating body moves reciprocally parallel to



Table 6

Commands for constructing the finite element model of the angle valve volume [1; 2]

No.	Command	No.	Command
1.	/FILNAME, Valve, 0	49.	D, ALL, VY, 0
2.	D = 0.5	50.	D, ALL, VZ, 0
3.	D1 = 0.6	51.	ASEL, ALL
4.	D2 = 0.55	52.	NSEL, ALL
5.	D3 = 0.1	53.	ASEL, S, AREA,, 28, 34, 6, 1
6.	H = 0.1	54.	NSLA, S, 1
7.	H1 = D+2 • H	55.	D, ALL, VX, 0
8.	L = 2 • D	56.	D, ALL, VY, 0
9.	POSITION = 2 • H	57.	D, ALL, VZ, 0
10.	V = 0.5	58.	ASEL, ALL
11.	P = 3 • (1E+5)	59.	NSEL, ALL
12.	Pi = ACOS(-1)	60.	ASEL, S, AREA,, 26,,, 1
13.	/PREP7	61.	NSLA, S, 1
14.	CYLIND, D/2, 0, L, 0, 0, 180	62.	D, ALL, VX, 0
15.	CYLIND, D1/2, 0, 0, -H1, 0, 180	63.	D, ALL, VY, 0
16.	CYLIND, D/2, 0, L, 0, 0, 180	64.	D, ALL, VZ, 0
17.	CSYS, 5	65.	ASEL, ALL
18.	VGEN, 2, 3,,, 270,,, 1	66.	NSEL, ALL
19.	CSYS, 0	67.	ASEL, S, AREA,, 4, 5, 1, 1
20.	VGEN, 2, 3,,,,-(H+D/2),,, 1	68.	NSLA, S, 1
21.	CYLIND, D2/2, 0, 0, -H, 0, 180	69.	D, ALL, VY, 0
22.	CYLIND, D3/2, 0, -H/2, -L, 0, 180	70.	ASEL, ALL
23.	VADD, 1, 2, 3	71.	NSEL, ALL
24.	VADD, 4, 5	72.	ASEL, S, AREA,, 22, 23, 1, 1
25.	VGEN, 2, 1,,,,-POSITION,,, 1	73.	NSLA, S, 1
26.	VSBV, 6, 1,, DELETE, DELETE	74.	D, ALL, VY, 0
27.	ET, 1, FLUID142	75.	ASEL, ALL
28.	SMRTSIZE, 8	76.	NSEL, ALL
29.	ESIZE, D/5	77.	ASEL, S, AREA,, 29, 30, 1, 1
30.	MSHAPE, 1, 3D	78.	NSLA, S, 1
31.	VMESH, ALL	79.	D, ALL, VY, 0
32.	ASEL, S, AREA,, 1, 3, 2, 1	80.	ASEL, ALL
33.	NSLA, S, 1	81.	NSEL, ALL
34.	D, ALL, VX, 0	82.	ASEL, S, AREA,, 16, 19, 3, 1
35.	D, ALL, VY, 0	83.	NSLA, S, 1
36.	D, ALL, VZ, 0	84.	D, ALL, VY, 0
37.	ASEL, ALL	85.	ASEL, ALL
38.	NSEL, ALL	86.	NSEL, ALL
39.	ASEL, S, AREA,, 17, 18, 1, 1	87.	ASEL, S, AREA,, 33,,, 1
40.	NSLA, S, 1	88.	NSLA, S, 1
41.	D, ALL, VX, 0	89.	D, ALL, VY, 0
42.	D, ALL, VY, 0	90.	ASEL, ALL
43.	D, ALL, VZ, 0	91.	NSEL, ALL
44.	ASEL, ALL	92.	NSEL, ALL
45.	NSEL, ALL	93.	ESEL, ALL
46.	ASEL, S, AREA,, 15, 20, 5, 1	94.	DA, 2, VZ, -V, 1
47.	NSLA, S, 1	95.	DA, 12, PRESS, 0, 1
48.	D, ALL, VX, 0	96.	---



Pic. 10. The finite-element partition of the model of half the internal volume of the angle valve [1; 2].
Authors' drawing.

the axis of the flow of the working medium (Pic. 9) [1; 2; 5; 6]. Until 1981, the valve, in which the locking element is moved by means of a screw pair and controlled manually, was usually called a valve [1; 2]. Now the term «valve» is not allowed for use by GOST [7].

To build a model of the internal volume of the angle valve (Pic. 9), the following parameters are used [1; 2]: $D = 0,5$ (m) – inner diameter of the pipe [1; 2]; $D_1 = 0,6$ (m) – diameter of the valve chamber [1; 2]; $D_2 = 0,55$ (m) – diameter of the locking element of the valve [1; 2]; $D_3 = 0,1$ (m) – diameter of the rod of the locking element [1; 2]; $H = 0,1$ (m) – height of the locking element of the rod [1; 2]; $H_1 = D + 2 \cdot H$ – chamber height [1; 2]; POSITION = $2 \cdot H$ – position of the locking element relative to the extreme lower state is «completely blocked» [1; 2]; $L = 2 \cdot D$ – pipe length [1; 2]; $V = 0,5$ (m/s) – fluid transfer rate [1; 2]; $P = 3 \cdot (1E + 5)$ (Pa) – gauge pressure in the pipeline [1; 2].

The list of commands for setting parameters, starting work in the preprocessor, building half of the internal space of the angle valve (Pic. 9), symmetrical with respect to the longitudinal vertical plane, is given in Table 6 [1; 2].

Line No. 1 (Table 6) defines the file name of the Valve solution.

Lines No. 2–11 set the values of the parameters of the task.

Line No. 12 sets the value of the constant π with the best accuracy for ANSYS.

Line No. 13 contains the input command to the preprocessor.

Lines No. 14–26 produce construction of half the volume of the wedge gate valve by:

- creation of three semi-cylinders (lines No. 14–16);

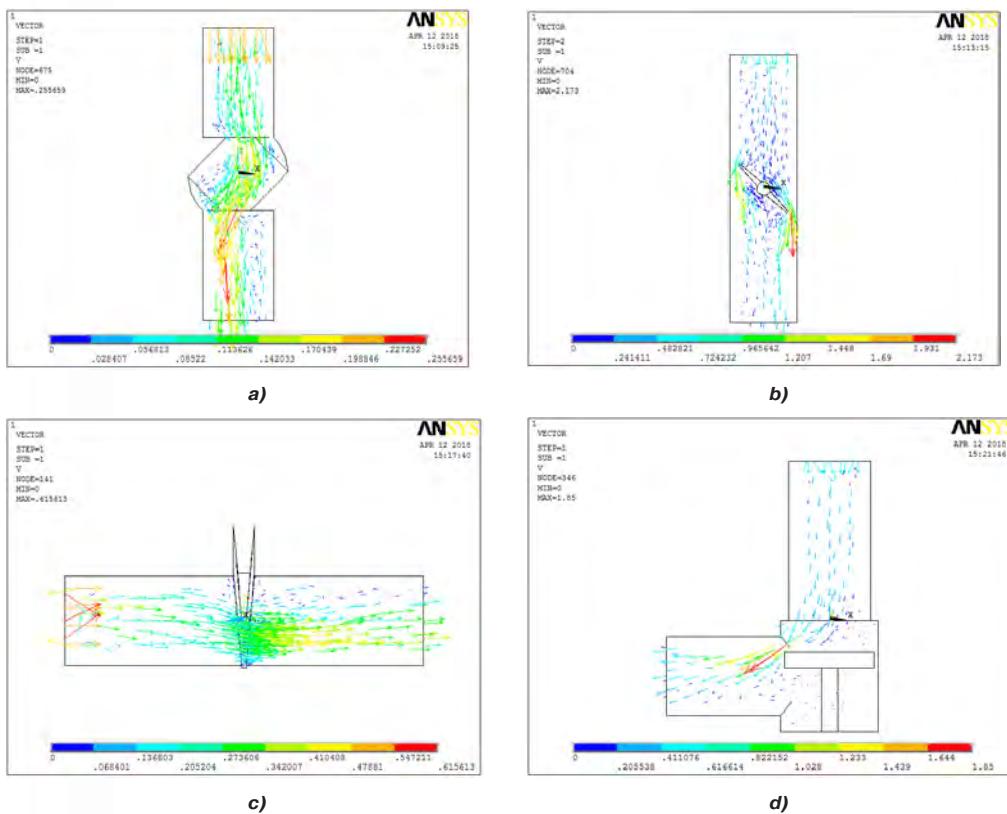
- switching to a cylindrical coordinate system (line No. 17);
- turning one of the semi-cylinders (line No. 18);
- returning to the global Cartesian coordinate system (line No. 19);

Table 7
List of commands setting properties of the medium [1; 2]

No.	Command
1.	FLDATA7, PROT, DENS, CONSTANT
2.	FLDATA8, NOMI, DENS, 1000
3.	FLDATA7, PROT, VISC, CONSTANT
4.	FLDATA8, NOMI, VISC, 0.000894
5.	FLDATA7, PROT, COND, CONSTANT
6.	FLDATA8, NOMI, COND, -1
7.	FLDATA7, PROT, SPHT, CONSTANT
8.	FLDATA8, NOMI, SPHT, -1
9.	FLDATA15, PRES, REFE, P

Table 8
List of commands for determining the parameters of the solver and solving the task [1; 2]

No.	Command
1.	FLDATA1, SOLU, TRAN, 0
2.	FLDATA1, SOLU, TEMP, 0
3.	FLDATA1, SOLU, TURB, 1
4.	FLDATA1, SOLU, COMP, 0
5.	FLDATA24, TURB, MODL, 3
6.	FLDATA37, ALGR, SEGR, SIMPLEN
7.	FLDATA2, ITER, EXEC, 500
8.	FLDATA34, MIR, MOME, 0.35
9.	FINISH
10.	/SOL
11.	SOLVE
12.	FINISH



Pic. 11. The velocity field in parametric models of shut-off and control valves [1; 2]: a) ball valve, b) disc shutter, c) wedge gate valve, d) angle valve.

- displacement of the rotatable semi-cylinder (line No. 24);
- creation of two auxiliary semi-cylinders that simulate a locking element on the shaft (commands No. 21–22);
- addition of the first three semi-cylinders imitating the internal volume of the angle valve (command No. 23);
- addition of the last two semi-cylinders imitating a locking element and a shaft (command No. 24);
- shifting the locking element to POSITION (command No. 25);
- subtracting the volume of the locking element from the internal volume of the valve (command No. 26).

The following Table 6 shows the commands No. 27–31 of creation of a finite element mesh (Pic. 10). Their description is fully consistent with the previous example (commands No. 37–41 of Table 3).

Commands No. 32–93 setting the boundary conditions on the nodes of the finite element mesh end the list of commands of Table 6 and then there are two commands No. 94 and 95

setting the boundary conditions on surfaces that simulate the input and output of the valve. Note that the description of commands No. 32–93 (Table 6) fully corresponds to the description of commands No. 42–61 of Table 3. Moreover, setting boundary conditions by commands No. 94 and 95 from table 6 was repeatedly commented on in the previous examples.

6. Setting the physical properties of an incompressible fluid for all designs of shutoff valves. The physical properties of the fluid are set using the commands for setting the fluid properties, as well as gauge pressure from Table 7 [1; 2]. In particular, commands of Table 7 indicate the density of 1000 kg/m³ and viscosity 0,000894 Pa · s of liquid [1; 2; 8].

Setting the thermodynamic characteristics of the undisturbed flow is carried out by default. Using command No. 9 of Table 7, the required gauge pressure P is indicated.

7. Preparatory measures before solving the boundary value tasks of fluid flow and solving the task [1; 2]. The task of the fluid flow model

must be carried out using commands 1 to 5 [1; 2]. In line 6 of Table 8, the command for selecting the algorithm for solving the vortex task is given [1; 2].

Although the stationary task is being solved, iterative algorithms are used in FLOTTRAN, therefore, before starting the solution of the task, it is necessary to limit the number of iterations. The number of iterations is assigned using the command given in line 7 of Table 8.

When solving the task, an error may occur indicating that negative elements are obtained in the matrix being solved at a certain iteration. You can get around this error using command 8 in Table 8 (you need to set MIR parameter to 0,35). This completes the preparation of any of the tasks considered for the solution, and to run the solution algorithm, it is necessary to use commands 10–12 from Table 8.

8. Reading the results of solving the task at the last step and displaying them [1; 2]. Since vortex problems (even stationary ones) are solved iteratively, in order to gain access to the solution results, it is necessary to read the most recent decision data [1; 2]. This is done using the menu item: Main Menu> General Postproc> Read Results> Last Set [1; 2].

To display the results in vector form, it is necessary to use the menu item Main Menu> General Postproc> Plot Results> Vector Plot> Predefined [1; 2]. In the window that appears, select the required results in the list and, if necessary, resize the flow velocity vectors (Pic. 11) [1; 2].

Conclusion. In order to solve the complex task of management and resource saving in pipeline transport, the article proposes parametric stationary vortex flow models in such types of shut-off and control valves as a ball valve, disc shutter, wedge gate valve, angle valve [1; 2].

Without prejudice to generality of the technique, water is considered as an example of a pumped medium [1; 2].

The analysis was performed by means of FLOTTRAN CFD of program ANSYS10 ED [1; 2].

It was established that the flow rate of the medium and its pumping rate can be determined by the position of the locking element [1; 2].

It was established that the nature of the flow and the flow rate of the medium is influenced

both by the geometry of the considered types of shut-off and control valves and the flow rate [1; 2].

The proposed models and methods can be applied to any reinforcement designs related to calculation of the motion of a viscous fluid [1; 2].

To improve quality of the results obtained on the proposed models, it is only necessary to indicate in the given lists of commands a value that improves partition of parameters [1; 2].

REFERENCES

1. Mikhievich, A. P. Modeling of the vortex fluid flow in pipelines taking into account the design features of shut-off valves, as well as metering and control devices for flow parameters in ANSYS ED10. Master's thesis in specialty 1-31.80.03 «Mechanics» [Modelirovanie vikhrevogo potoka zhidkosti v truboprovodakh s uchetom osobennostei konstruktsii zapornoj armatury, a takzhe priborov ucheta i kontrolya parametrov potoka v ANSYS ED10. Magisterskaya dissertatsiya po spetsialnosti 1-31.80.03 «Mekhanika»]. Minsk, BSU, 2018, 59 p.
2. Gays, N. Yu. Modeling of the vortex fluid flow in pipelines taking into account the design features of shut-off valves, as well as metering and control devices for flow parameters in ANSYS ED10. Thesis on the specialty 1-31.80.03 «Mechanics» [Modelirovanie vikhrevogo techeniya zhidkosti v truboprovodakh s uchetom osobennostei konstruktsii zapornoj armatury, a takzhe priborov ucheta i kontrolya parametrov potoka v ANSYS ED10. Diplomnaya rabota po spetsialnosti 1-31.80.03 «Mekhanika»]. Minsk, BSU, 2019, 68 p.
3. Chass, S. I. Hydromechanics in examples and problems [Gidromekhanika v primerakh i zadachakh]. Yekaterinburg, UGGU publ., 2006, 216 p.
4. Kovalnogov, N. N., Kovrizhnykh, E. N. Fundamentals of hydraulics [Osnovy gidravliki]. Ulyanovsk, UVAU GA, 2004, 86 p.
5. Eremkin, A. I., Bakanova, S. V., Kanakina, O. N. Shut-off and control valves in heating systems [Zaporno-reguliruyushchaya armatura v sistemakh otopleniya]. Penza, PGUAS, 2013, 88 p.
6. Novikov, V. T. Fundamentals of design and equipment of enterprises of organic synthesis. Part 1. Pipe fittings [Osnovy proektirovaniya i oborudovaniye predpriyatiy organicheskogo sinteza. Chast' 1. Truboprovodnaya armatura]. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2013, 292 p.
7. GOST 24856-81 (ISO 6552-80) Industrial pipe fittings. Terms and Definitions [GOST 24856-81 (ISO 6552-80) Armatura truboprovodnaya promyshlennaya. Terminy i opredeleniya]. [Electronic resource]: <http://docs.ctnd.ru/document/1200011740>. Last accessed 05.03.2019.
8. Kravchuk, A. S., Tarasyuk, I. A. Modeling of stationary turbulent flow around a cylindrical obstacle by a stream of viscous incompressible fluid in a stepped pipe [Modelirovanie statcionarnogo turbulentnogo obtekaniya tsilindricheskogo prepyaststviya potokom vyazkoi neszhimaemoi zhidkosti v stupenchatoi trube]. Mechanical Engineering: network electronic scientific journal, 2017, Iss. 2, pp. 26–31. [Electronic resource]: <http://indust-engineering.ru/issues/2017/2017-2.pdf>. Last accessed 05.03.2019.
9. Shabarov, V. V. Application of ANSYS system to the solution of hydrodynamic problems [Primenenie sistemy ANSYS k resheniyu gidrogazodinamicheskikh zadach]. Nizhny Novgorod, NNSU, 2006, 108 p.



Оценка эффективности устойчивого развития транспорта



Савосина Мария Иосифовна – ОАО «НИИАТ», Москва, Россия.*

Мария САВОСИНА

Традиционная оценка эффективности работы и проектов развития транспортных систем основана на меркантилистском подходе, рассматривающим эффективность деятельности по схеме «затраты–доходы–прибыль хозяйствующих субъектов». При этом обычно не учитываются внесистемные, экстернальные результаты, которые могут много-кратно превосходить в стоимостном отношении внутренние результаты, получаемые хозяйствующими субъектами. Экстернальные результаты часто наблюдаются за пределами сферы чисто экономических отношений. Особенно наглядно это проявляется в инфраструктурной сфере, материальную основу которой образуют транспорт и логистика. В определённом смысле возник кризис экономической доктрины. Вследствие безудержной антропогенной деятельности наблюдается экологический кризис. Концентрация людей и производственной деятельности в городах стала причиной урбанизационного кризиса. Растущее неравенство привело к обострению социальных противоречий. В итоге человечество столкнулось с комплексным кризисом цивилизации. Основным средством разрешения кризисной ситуации признано устойчивое развитие. Устойчивое развитие транспорта как инфраструктурной сферы деятельности служит фундаментом построения устойчивого развития экономики и со-

циальной сферы. Цели устойчивого развития, установленные мировым сообществом под эгидой ООН, могут быть достигнуты только при условии комплексной оценки эффективности управленческих решений (совокупный учёт всех интернальных и экстернальных). Транспорт стал первоходцем на пути устойчивого развития территорий и городов. Подход к комплексной оценке эффективности устойчивого развития обуславливает реформирование в перспективе экономических и налогово-бюджетных отношений по принципу налога Пигу.

Цель настоящей статьи – совершенствование оценки эффективности и методологии устойчивого развития транспортных организаций и транспортных систем. В статье обоснованы актуальность и направления совершенствования методологии комплексной оценки результатов транспортной деятельности, а также представлены аналитические модели комплексной оценки её эффективности. Перспективными задачами продолжения исследований и разработок являются обоснование и юридическая легитимация использования стоимостных оценок различных экстернальных результатов совершенствования транспорта, создание системы мониторинга информации, необходимой для выполнения комплексной оценки его устойчивого развития.

Ключевые слова: транспорт, эффективность, оценка, устойчивое развитие, методика.

*Информация об авторе:

Савосина Мария Иосифовна – аспирант ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»), Москва, Россия, spirina.mi@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 18.03.2020, принятая к публикации 24.04.2020.

For the English text of the article please see p. 59.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возрастает вероятность и частота появления кризисов различной природы. Масштабы таких кризисов могут быть настолько значительными, что возникает глобальная угроза развитию цивилизации. Общеизвестными факторами являются ухудшение экологической обстановки, обострение социальных проблем, кризис урбанистики. Бурное развитие информационных технологий (IT) обострило проблему профессиональной готовности кадров к работе в когнитивной производственной среде. Традиционно используемые методы управления экономикой показали ограниченность их использования: меркантилистская концепция хозяйствования, основанная на экономических интересах инвестора и производственников, оперирующая категориями «затраты—доходы—прибыль», вступила в противоречие с общественно значимыми интересами и гуманистическими идеалами. Сложившаяся ситуация в широкой сфере общественных отношений актуализирует необходимость поиска новых подходов к развитию антропоморфной деятельности и иных методов оценки эффективности производственно-хозяйственной и социальной деятельности в направлении всестороннего учёта всего спектра конечных результатов и интересов людей и общества. Государства — члены ООН, включая Россию, 25 сентября 2015 года приняли Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 г., которая включает 17 целей, направленных на ликвидацию неравноправия, нищеты, сохранение природных ресурсов и обеспечение благополучия людей. Повесткой установлены 169 задач и показатели (индикаторы) для оценки достижения целей [1].

По объективным причинам транспортная отрасль народного хозяйства оказалась в числе первопроходцев на пути реализации устойчивого развития.

Целью настоящей статьи является исследование и представление результатов разработок в области методологии оценки эффективности устойчивого развития транспортных организаций и транспортных систем.

ГЛОБАЛЬНЫЕ КРИЗИСЫ В СИСТЕМЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ

Глобальное обострение противоречий между безудержной антропогенной деятельностью, с одной стороны, и стабильностью окружающей среды, а также равновесием социальных отношений, с другой стороны, предсказали более 100 лет тому назад основатели ноосферного учения Э. Леруа (фр. *Edouard Louis Emmanuel Julien Le Roy* — 1870–1954), П. де Шарден (фр. *Pierre Teilhard de Chardin* — 1881–1955), российские учёные академик В. И. Вернадский (1863–1945) и академик Н. Н. Моисеев (1917–2000) и их ученики [2; 3]. В настоящее время предсказания негативных последствий неконтролируемой антропогенной деятельности сбываются, что стало угрожать существованию цивилизации.

Экологический кризис привёл к изменению климата на планете, угрозе дефицита чистой воды, ускоренному исчезновению видов и сокращению популяции флоры и фауны, необратимым геологическим сдвигам, загрязнению значительных пространств суши и свободной воды. Темп роста выбросов вредных веществ опережает темп роста населения планеты. Например, с 1960 г. до настоящего времени карбоновые выбросы увеличились в 4,5 раза при росте населения на 20 %. Особо серьёзные загрязнения наблюдаются в городской черте. Города являются точечными источниками, концентраторами недопустимого загрязнения окружающей среды: более 70 % ВВП создаётся в городах; при этом расходуется до 80 % производимой энергии; выбросы токсичных веществ в атмосферу городов составляют около 85 % их общего объёма. Решение проблем, обусловивших экологический кризис, во многом зависит от проведения сбалансированной транспортной политики [4–7].

Обострение социальных отношений происходит вследствие неравномерности социально-экономического развития общества в различных странах, углубления разрыва между богатыми и бедными, остаточного влияния антагонистических классовых и расовых «теорий», гендерного неравноправия, размытого общими



словами предоставления социальных гарантий, недостатков в развитии культуры, медицины и образования. В настоящее время, по оценке генерального секретаря ООН А. Гутерриша, возникла пандемия неравенства и развивается комплексный кризис, на преодоление проявлений которого должны быть направлены усилия всех стран [8].

Привлечение инвестиций в экономику и социальную сферу, нивелирование различий между различными группами населения и реализация концепции «умных городов» обеспечивают потенциал для разрешения многих социальных противоречий [9].

Недостаточное качество подготовки специалистов и отсутствие достойных рабочих мест для них привели к падению престижа образования, в то время как оно является основным средством построения современной когнитивной экономики знаний. По опросу граждан высшее образование хотя способствует карьерному росту, но в России не оказывает существенного влияния на материальное благополучие. Образование становится менее доступным, и желающих платить за получение образования становится меньше [10].

Урбанизационный кризис тесно связан с экологическим, социальным и экономическим кризисами. Города занимают только 1 % суши, но в них проживают более половины людей (в России около 74 %), а к 2050 г. прогнозируется, что доля городских жителей планеты превысит 70 %. [11; 12].

Рост населённых пунктов всегда формировал запрос на создание новых видов и систем транспорта, обеспечивающих разумное время транспортных передвижений людей и своевременную доставку грузов потребителям.

В настоящее время автомобилизация населения привела к неразрешимым дорожным заторам и снижению качества транспортного обслуживания пассажиров транспортом общего пользования. Улицы и дороги в крупных городах Европы занимают в среднем 10 % территории (в Москве – 20 %) дефицитных и дорогих городских земель. Для сравнения, – удельная площадь территории города,

занимаемая пассажиром автобуса, примерно в 40 раз меньше по сравнению с легковым автомобилем [13–15].

Затраты времени на ежедневные поездки городских жителей увеличиваются вплоть до предела, допускаемого по санитарным и психологическим нормам. Это существенно снижает качество жизни в городах.

Традиционный потенциал методов решения проблем урбанизации исчерпал себя, поэтому в целях поиска инновационных путей развития городских систем 17 и 18 сентября 2014 г. в Нью-Йорке была проведена Конференция ООН по жилью и устойчивому городскому развитию «Хабитат-III» [9; 16].

Общие закономерности возникновения экономических кризисов изучены кейнсианской и неокейнсианской экономическими школами. На фоне экологического и социального кризисов стал проявляться кризис экономической доктрины, основанной на преимущественном учёте интересов инвесторов и хозяйствующих субъектов. Эти лица всегда исходят из своих коммерческих интересов. Такие интересы принято называть интернальными (т.е. внутренними) результатами. Примером интернального результата служит полученная прибыль. Но при реализации бизнес-проектов наблюдаются также результаты во внешней по отношению к инвесторам и хозяйствующим субъектам среде. Прежде всего, внешние результаты проявляются в экологических и социальных аспектах. Зачастую внешние результаты, называемые экстерналиями, в стоимостном эквиваленте многократно превышают интернальные результаты. Первопричинами появления экстерналий считаются неравномерность развития рынков различных благ, использование «бесплатных» ресурсов и отсутствие чётко оговорённых прав на ресурсы различной природы, внерыночное воспроизводство человеческого капитала [17–19].

Теоретической основой для комплексного учёта интерналий и экстерналий (положительных и отрицательных) может быть использование так называемого налога Пигу (А. С. Пигу; англ. *Arthur Cecil Pigou* – 1877–1959) [9]. Налог Пигу пред-

усматривает законодательное установление штрафных начислений при превышении хозяйствующим субъектом действующих обязательных нормативов возможного негативного воздействия бизнес-проекта на окружающую среду и социальную сферу (при необходимости, и на другие общественные отношения). Эти начисления производятся из прибыли и поступают в состав бюджетных средств. Напротив, если хозяйствующий субъект докажет, что он осуществлял свою деятельность с меньшими негативными последствиями, по сравнению с установленными нормативами, то он имеет право получить из бюджета стимулирующие выплаты или соответствующее по сумме освобождение от установленных налогов (налоговые льготы).

В настоящее время налоговые поступления в бюджеты Российской Федерации, её субъектов и муниципальных образований обезличиваются, и распределение этих средств на цели реализации государственных и муниципальных обязательств никак не увязано с соответствующими налоговыми потоками. Таким образом, не используются потенциально имеющиеся в системе построения налоговых отношений обратные связи между результатами деятельности налоговых резидентов и стимулированием их к достижению общественно значимых результатов. Введение налога Пигу потребует реформирования налогового законодательства и даст возможность активизации указанных обратных связей, что существенно повысит регулятивную роль налогов в социальном и экономическом развитии страны.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И РОЛЬ ТРАНСПОРТА В ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Глобальные кризисы вызывают озабоченность мировой общественности, научного сообщества и политиков всех стран. Усилиями практических членов ООН на базе этой международной организации были подготовлены и проведены несколько представительных конференций, на которых была сформирована концепция устойчивого развития. Были приняты итоговые документы [20–24].

Забота о сохранении окружающей среды также находится в поле зрения

мирового сообщества: 12 декабря 2012 года принято Парижское соглашение согласно Рамочной конвенции ООН об изменении климата от 12 декабря 2012 года (легитимация использования этого соглашения в России произведена постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2019 года). Направления развития образовательной деятельности с целью устойчивого развития определены в декларации ЮНЕСКО [25].

Устоявшееся в научном сообществе и в политических кругах словосочетание устойчивое развитие (англ. – *Sustainable Development* – SD) в буквальном переводе не вполне адекватно передаёт семантическое наполнение соответствующего понятия. Под устойчивым развитием (также называемым гармоничным развитием) понимают сбалансированный процесс экономических и социальных преобразований, эксплуатации природных ресурсов, при котором инвестиции, научно-технический прогресс, институциональные изменения и развитие личности взаимно согласованы с целью сохранения природного наследия в интересах обеспечения достойного качества жизни настоящего и будущих поколений. Классический подход к устойчивости развития базируется на триаде «экономика–экология–социальное равновесие». Устойчивое развитие предполагает принятие управлеченческих решений, имеющих целью достижение оптимального (рационального) сочетания элементов указанной триады. Сопоставление концепций ноосферизма и устойчивого развития показывает, что устойчивое развитие представляет собой динамическую интерпретацию ноосферного подхода, её практическое воплощение в жизнь [13].

Как следует из сказанного выше, наиболее актуально осуществление устойчивого развития урбанизированных пространств [3–8]. Согласно основному принципу градостроительства, обоснованному великим архитектором и урбанистом XX столетия Ле Корбюзье (фр. – *Le Corbusier*, 1887–1965, настоящее имя при рождении *Charles-Edouard Jeanneret-Gris*), ни один город не может расти быстрее, чем развивается его транспорт [13].



По аналогии этот принцип справедливо распространить также на магистральные виды транспорта, осуществляющие перевозки пассажиров и грузов за пределами городских территорий, поскольку в этом случае транспорт выполняет однотипные логистические функции, являясь материальной основой инфраструктуры экономики и социальной сферы. Магистральный транспорт также оказывает воздействие на окружающую среду, в связи с чем принятые многочисленные международные конвенции и акты национального законодательства. Потому развитие мировой экономики, развитие экономики и социальной сферы страны и её регионов не могут происходить быстрее, чем развивается магистральный транспорт.

Транспорт в настоящее время стал пионером в осуществлении устойчивого развития. Главенствующая роль транспорта в устойчивом развитии неслучайна, и объясняется комплексом причин объективного характера:

- транспорт осуществляет перевозки практически всех граждан и обслуживает все коммерческие и некоммерческие организации, государственный и муниципальный секторы. Поэтому транспорт непосредственно затрагивает интересы всех и каждого;

- транспорт относится к капитало- и трудоёмким отраслям (на вид деятельности «Транспортировка и хранение» приходится около 24 % основных производственных фондов и 7,3 % от числа работников в народном хозяйстве [26]);

- транспортная составляющая в конечной цене российской продукции, по экспертной оценке, примерно вдвое выше по сравнению с некоторыми зарубежными странами (статистического учёта данного показателя не ведётся). Например, при железнодорожных перевозках грузов доля логистических издержек в ВВП России составляет около 20–24 %, а в ряде развитых странах – 10 % [27].

Это снижает конкурентоспособность отечественных товаропроизводителей, также принимая во внимание, что их продукция пока не подвергается глубокой переработке (такая продукция гораздо дешевле сложно-технических изделий

и продуктов глубокой переработки, вследствие чего транспортная составляющая значительнее влияет на конечную цену продукции);

- городской транспорт оказывает значительное воздействие на городскую среду, по выбросам в атмосферу городов углерода и парниковых газов занимает первое место среди различных поставщиков этих загрязнителей. Транспортные земли города отнимают 10–20 % дефицитной городской территории, «пломбируют» её дорожным покрытием [13];

- транспорт и его пути сообщения финансируются из бюджета, что актуализирует необходимость тщательной оценки эффективности расходования соответствующих средств. Доля бюджетного финансирования городского маршрутного пассажирского транспорта покрывает почти 40 % расходов транспортных организаций [28]. Крупные проекты развития путей сообщения реализуются также за счёт участия бюджета в их финансировании;

- дорожный транспорт (автомобильный и городской наземный электрический транспорт в совокупности) является самым опасным техногенным источником причинения вреда жизни и здоровью людей;

- на транспорте особо эффективно использование инновационных технологий (электротяга и рекуперация энергии торможения, ИТ, интернет вещей – IoT, транспортная телематика, автоматизация управления и пр.), что обеспечивает заметное влияние на качество транспортного обслуживания при общем снижении издержек перевозчиков.

Значимые научные и практические результаты в области устойчивого развития городского транспорта получены в Европе. Европейская комиссия разработала рекомендации по осуществлению SD в городах и пригородных зонах. Развитие городского транспорта должно производиться в соответствии *Sustainable Urban Mobility Plans* (SUMPs) – транспортными планами. План разрабатывается на основе общих принципов и подходов с учётом национального законодательства. Анализ выполнения транспортных планов осуществляется по 20 оценочным критериям [4; 6; 13; 14; 29].

В России планирование устойчивого развития осуществляется с учётом европейского опыта [6; 13; 19]. Основные усилия направлены на осуществление транспортного планирования при государственной и муниципальной поддержке перевозок пассажиров по регулярным маршрутам. Правовые основы такой поддержки установлены Федеральным законом от 13.07.2015 г. № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Разработка документов планирования регулярных перевозок возложена на органы исполнительной власти.

В настоящее время транспортное планирование, по сути, сводится к формированию перечней маршрутов регулярных перевозок с их подразделением на маршруты с регулируемыми и нерегулируемыми тарифами. Для первой из этих двух групп маршрутов органы исполнительной власти устанавливают тарифы и соответствующие бюджетные доплаты перевозчикам. Тарифы для проезда и проезда багажа по маршрутам с нерегулируемыми тарифами устанавливаются перевозчиками самостоятельно.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ЕЁ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Эффективность (лат. – *effectivus*) характеризует соотношение результатов с затратами на их достижение, то есть является относительной характеристикой. Эффект выражает достигнутый результат в абсолютной форме [30].

Экономические эффекты и эффективность могут рассматриваться как универсальные измерители полезности, а также служить эквивалентами внеэкономических эффектов и эффективности. Для сопоставимости эквивалентов эффектов и эффективности различной природы используют стоимостные оценки затрат и результатов. Например, со-

кращение затрат времени пассажиров на поездки в результате совершенствования работы транспорта может подвергаться стоимостной оценке пассажиро-часа. Подчеркнём, что при использовании стоимостных оценок речь не идёт о торговле соответствующим полезным результатом. Поэтому следует дистанцировать стоимостные оценки чего-либо от экономических категорий стоимости и цены.

При определении экономических эффекта и эффективности результаты и затраты ресурсов выражают в денежном измерении, руководствуясь принципами: сопоставимости показателей (приведение всех показателей к нормативов, применяемых в расчётах, к единым базисным условиям, в том числе за счёт дисконтирования по времени); независимости определения результатов внедрения различных мероприятий; перспективности базы сравнения, за которую принимают показатели, планируемые на период (год) внедрения мероприятия без учёта влияния рассматриваемого мероприятия.

Внекономические эффекты (внешние эффекты, экстерналии) при расчётах экономической эффективности не учитываются, поскольку стейкхолдеры, являющиеся получателями таких эффектов, не входят в число инвесторов и эксплуатантов. Однако на практике именно экстерналии являются доминирующими (по стоимостной оценке) результатами работы транспортных систем. В многочисленных публикациях по менеджменту используется понятие «миссия организации», в качестве которой обычно указывают на значимые социальные и экологические результаты. Несмотря на благие намерения, выраженные в ссылках на миссию организации, гражданское законодательство требует, чтобы в уставах всех коммерческих организаций целью было заявлено получение дохода, прибыли (но не реализация миссии). Поэтому миссия организации служит «фиговым листком» меркантилистских целей хозяйственников.

Учение об экстерналиях было разработано А. Пигу [31]. В России эта концепция разрабатывается многими иссле-



дователями. Лидером является научная школа, созданная в МГУ им. М. В. Ломоносова профессором А. Д. Шереметом (1929–2020) [32]. Экстернальные эффекты начинают учитываться в практической деятельности. Так, в российском экологическом законодательстве установлены платность пользования природными ресурсами, санкции за сверхнормативные выбросы загрязняющих веществ, презумпция экологической опасности хозяйствующих субъектов. Эта практика, согласно концепции устойчивого развития, будет постоянно расширяться законодателем.

Общепринято количественно оценивать экономическую результативность инвестиций: внутренней нормой рентабельности (фактическая норма прибыли от инвестиций); чистой приведённой стоимостью (ЧПС, чистый приведённый эффект, чистая текущая стоимость, чистый дисконтированный доход ЧДД – англ. *Net present value – NPV*) [17; 18]. Расчёт этих показателей эффективности автоматизирован в табличных процессорах *Microsoft Excel* и *OpenOffice.org Calc*.

Анализ существа комплексной оценки эффективности устойчивого развития транспортных систем показал, что методики расчёта внутренней нормы рентабельности и чистого дисконтированного дохода могут служить исходными аналогами для построения методики комплексной оценки.

Комплексный результат в стоимостном выражении R_{Σ} предлагается оценивать согласно следующей зависимости:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= NPV + E_{ecol} + S_{soc} = \\ &= -IC + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t} - E_0 + \\ &+ \sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+i)^t} - S_0 + \sum_{t=1}^N \frac{S_t}{(1+i)^t}, \end{aligned} \quad (1)$$

где NPV – чистый дисконтированный доход (интернальный экономический результат инвесторов и хозяйствующих субъектов транспортной системы), тыс. руб.;

E_{ecol} – стоимостное выражение дисконтированного суммарного экстернального экологического результата, тыс. руб.;

S_{soc} – стоимостное выражение дисконтированного суммарного социального результата, тыс. руб.;

$t = 0, 1, 2, \dots, N$ – условный номер расчётного периода времени (например, года; нулевым периодом считается начало инвестиций в реализацию проекта развития транспортную систему);

i – ставка дисконтирования;

CF_t – суммарный поток наличности в период инвестиций с условным номером t (алгебраическая сумма всех притоков и оттоков денежных средств в этом периоде), тыс. руб.;

IC – инвестиции, произведённые в нулевом периоде, тыс. руб.;

E_0 – суммарные затраты экологических ресурсов, произведённые для реализации проекта в нулевом периоде времени в стоимостном выражении, тыс. руб.;

S_0 – суммарные затраты социальных ресурсов, производимые для реализации проекта в нулевом периоде времени в стоимостном выражении, тыс. руб.;

E_t – суммарный дисконтированный поток экологических ресурсов в период времени t в стоимостном выражении, тыс. руб.;

S_t – суммарный дисконтированный поток социальных ресурсов в период времени t в стоимостном выражении, тыс. руб.

При этом:

$$\begin{aligned} E_{ecol} &= \sum_{m=0}^M E_{(t=0),m} \cdot d_m + \sum_{t=1}^N \sum_{m=0}^M E_{t,m} \cdot d_m = \\ &= \sum_{t=0}^N \sum_{m=0}^M E_{t,m} \cdot d_m; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} S_{soc} &= \sum_{m=0}^M S_{(t=0),m} \cdot f_m + \sum_{t=1}^N \sum_{m=0}^M S_{t,m} \cdot f_m = \\ &= \sum_{t=0}^N \sum_{m=0}^M S_{t,m} \cdot f_m, \end{aligned} \quad (3)$$

где $E_{(t=0),m}$ – расход экологического ресурса вида $m = (1, 2, \dots, M)$ в нулевом периоде, представленный в натуральных единицах учёта;

$E_{t,m}$ – расход экологического ресурса вида $m = (1, 2, \dots, M)$ в периодах времени $t = (1, 2, \dots, N)$, представленный в натуральных единицах учёта;

d_m – стоимостная оценка учитываемой единицы экологического ресурса вида $m = (1, 2, \dots, M)$;

$S_{(t=0), m}$ – расход социального ресурса вида $f = (1, 2, \dots, F)$ в нулевом периоде, представленный в натуральных единицах учёта;

$S_{t, m}$ – расход социального ресурса вида $f = (1, 2, \dots, F)$ в периодах времени $t = (1, 2, \dots, N)$, представленный в натуральных единицах учёта;

f_m – стоимостная оценка учитываемой единицы социального ресурса вида $f = (1, 2, \dots, F)$.

Рассмотренная методика расчёта комплексной эффективности позволяет оценить совокупные результаты, получаемые при эксплуатации транспортных организаций и систем, а также проектов их совершенствования. Методика также даёт возможности для поэтапного перехода к использованию идеи налога Пигу, что обеспечит обратные связи между общественно значимыми эффектами и налогообложением хозяйствующих субъектов. Это позволит перейти от меркантилистской экономики, нацеленной на получение прибыли инвестором, к экономике устойчивого развития в интересах настоящего и будущих поколений.

Разработка методологии оценки эффективности устойчивого развития актуализирует проведение исследований и разработок. По нашим оценкам, для разработки перечней основных экологических и социальных индикаторов устойчивого развития, методик их научно обоснованного расчёта и методик стоимостной оценки получаемых эффектов должно быть выполнено более 100 научных работ экономической направленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный подход к формированию методологии оценки эффективности работы транспортных организаций и систем, а также проектов их совершенствования в соответствии с концепцией устойчивого развития выдвигает в число актуальных направлений для прикладных научных исследований и разработок следующие задачи:

- структурирование перечней типовых экологических и социальных эффектов, результаты учёта которых надлежит применять при определении комплексной эффективности;

- разработка методологии учёта воздействия работы транспортных организаций и систем на экологические и социальные эффекты;

- экономическое, технологическое и правовое обоснования стоимостных оценок каждого из учитываемых экологических и социальных изменений для перевода получаемых результатов в стоимостное выражение соответствующих эффектов;

- создание системы мониторинга исходной информации для выполнения расчётов эффективности;

- правовая легитимация результатов учёта, собираемых системой мониторинга и методик расчёта комплексной эффективности;

- подготовка специалистов для аппарата управления транспорта и органов исполнительной власти с учётом инновационных изменений, сопряжённых с переходом к устойчивому развитию транспортной отрасли;

- поэтапная трансформация правовой основы для осуществления стимулирования хозяйствующих субъектов в соответствии с принципами налога Пигу (главным образом в сферах гражданского, бюджетного и налогового законодательства).

ЛИТЕРАТУРА

1. ООН. Генеральная Ассамблея. A/RES/70/1. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблей 25 сентября 2015 года «Преобразование нашего мира: Повестка в области устойчивого развития на период до 2030 года». [Электронный ресурс]: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf. Доступ 18.03.2020.

2. Вернадский Н. И. Биосфера и ноосфера. – М.: Айрис-Пресс, 2004. – 576 с.

3. Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. – М.: Молодая гвардия, 1990. – 351 с.

4. May, A., Boehler-Baedeker, S., Delgado, L., Durlin, T., Enache, M., van der Pas, J.-W. Appropriate national policy frameworks for sustainable urban mobility plans. Eur. Trans. Res. Rev., January 2017, Vol. 9, Iss. 1:7, pp. 6–16. DOI: 10.1007/s12544-017-0224-1.

5. May, A. D., Shepherd, S. P., Timms, P. M. Optimal Transport Strategies for European Cities. Transportation, June 2000, Vol. 27, Iss. 3, pp. 285–315. DOI: 10.1023/A:1005274015858.

6. Spirin, I., Zavyalov, D., Zavyalova, N. Globalization and development of sustainable public transport systems. 16th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences. University of Zilina (Slovakia). The Faculty of Operation and Economics of Transport and Communication, Department of Economics. Proceedings. Part 5. 5th–6th October 2016, pp. 2076–2084.



7. Boden, T. A., Marland, G., Andres, R. J. Global, Regional and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Centre, Oak Ridge National Laboratory, United States Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee, USA. [Электронный ресурс]: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=467885>. Доступ 18.03.2020.
8. Лекция Генерального секретаря ООН Антониу Гутериша в память о Нельсоне Манделе: «Борьба с пандемией неравенства: новый общественный договор для новой жизни». 18 июля 2020 г. Размещена на сайте ООН. [Электронный ресурс]: <http://www.unic.ru/press/lektsiya-generalnogo-sekretarya-v-pamyat-nelsona-mandele-borba-s-pandemiei-neravenstva-novyi>. Доступ 18.03.2020.
9. ООН. Генеральная Ассамблея. A/CONF.226/PC.1/5. 26 июля 2014 г. Резолюция подготовительного комитета для Конференции по жилью и устойчивому городскому развитию (Хабитат-III). Размещена на сайте ООН. [Электронный ресурс]: <http://new.pdfm.ru/35konferenciya/94493-1-naci-y-generalnaya-assambleya-distr-general-july-2014-russian-original-english-podgotovitelniy-komitet-dlya.php>. Доступ 18.03.2020.
10. Аналитический обзор ВЦИОМ от 18 июля 2019 года. Высшее образование: социальный лифт, или потерянное время? ВЦИОМ. [Электронный ресурс]: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9808>. Доступ 18.03.2020.
11. Спирин И. В., Гришаева Ю. М., Глазачев С. Н., Савосина М. И., Шумилов Ю. В. Устойчивое развитие урбанизации // Астраханский вестник экологического образования. – 2019. – № 6 (54). – С. 75–85.
12. Спирин И. В., Матанцева О. Ю., Гришаева Ю. М., Савосина М. И. Устойчивое развитие транспортного комплекса города: методология, проблемы, решения // Материалы XII Международной научной конф. «Управление развитием крупномасштабных систем MLS2019». – М.: Ин-т проблем управления РАН им. В. А. Трапезникова. – 2019. – С. 715–716. [Электронный ресурс]: https://mlsd2019.ipu.ru/proceedings_2/675-682.pdf. Доступ 18.03.2020.
13. Гришаева Ю. М., Матанцева О. Ю., Спирин И. В., Савосина М. И., Ткачева З. Н., Васин Д. В. Устойчивое развитие городского транспорта: опыт и актуальные задачи // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13. – № 4. – С. 24–46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46.
14. Kauf, S. City logistics – a Strategic Element of Sustainable Urban Development. Transportation Research Procedia, December 2016, pp. 158–164. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.016.
15. Sustainable Development in Russia. Ed. S. Bobylev and R. Perelet. Berlin–St. Petersburg. Russian-German Environmental Information Bureau, 2013, 203 p. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/305434769_Sustainable_Development_in_Russia. Доступ 18.03.2020.
16. ООН. Конференция Хабитат-III. Цели с области устойчивого развития. Сайт ООН. [Электронный ресурс]: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/habitat3>. Доступ 18.03.2020.
17. Аткинсон Э. А., Банкер Р. Д., Каплан Р. С., Юнг М. С. Управленческий учёт / Пер. с англ. – СПб.: ООО Диалектика, 2019. – 880 с.
18. Матанцева О. Ю. Основы экономики автомобильного транспорта: Учеб. пособие. – М.: Юстици-информ, 2020. – 288 с.
19. Spirin, I. V., Matantseva, O. Yu., Grishaeva, Yu. M. The strategy of sustainable development of urban transport. Proceedings of the International Scientific Conf. «Far East Con» (ISCFEC-2020). Advanced in Economics: Management Research, 128, pp. 2624–2628. DOI: <http://doi.org/10.2991/aebmr.k.200312.369>.
20. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, Бразилия, 3–14 июня 1992 г. – RIO 2012. [Электронный ресурс]: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml. Доступ 18.03.2020.
21. Саммит по устойчивому развитию (ВСУР), или встреча на высшем уровне ОНГ Земли 2002, Йоханнесбург, Южная Африка, 26 августа – 4 сентября 2002 г. – RIO+10. [Электронный ресурс]: <https://helpiks.org/8-10197.html>. Доступ 18.03.2020.
22. Итоговый документ международной конференции ООН «Будущее, которого мы хотим». Рио-де-Жанейро, Бразилия. 19 июня 2012 г. – RIO+20. A/CONF.216/L.1. [Электронный ресурс]: http://www.ecopolis.ru/upload/File/Bulletins/B_61.pdf. Доступ 18.03.2020.
23. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 25 октября 2015 г. «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». [Электронный ресурс]: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf. Доступ 18.03.2020.
24. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН от 10 мая 2018 года «К заключению Всемирного пакта о защите окружающей среды». 14 мая 2018 г. [Электронный ресурс]: <https://undocs.org/pdf?symbol=ru/a/res/72/277>. Доступ 18.03.2020.
25. Айти-Нагойская декларация по образованию в интересах устойчивого развития. Всемирная конференция ЮНЕСКО по образованию в интересах устойчивого развития, Aichi-Nagoya, Japan, 2014. [Электронный ресурс]: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002310/231074r.pdf>. Доступ 18.03.2020.
26. Россия в цифрах 2020: Крат. стат. сб. / Росстат. – М., 2020. – 550 с. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12993>. Доступ 18.03.2020.
27. ОАО «РЖД». Государственная тарифная политика: результаты деятельности. Годовой отчёт ОАО «РЖД» за 2012 год. [Электронный ресурс]: <http://ar2012.rzd.ru/>. Доступ 18.03.2020.
28. Персианов В. А., Беднякова Е. Б. К вопросу финансирования общественного транспорта // Вестник университета. – 2013. – № 13. – С. 91–97.
29. Barfod, M. B., Leleur, S., Gudmundsson, H., Sorensen, C. H., Greve, C. Promoting Sustainability through National Transport Planning. European Journal of Transport and Infrastructure Research, June 2018, Vol. 18, Iss. 3, pp. 250–261. [Электронный ресурс]: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/150060828/Paper_1_Promoting_sustainability_through_national_transport_planning.pdf. Доступ 18.03.2020.
30. ГОСТ Р ИСО 9000:2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (с поправкой ИУС N10-2016). – М.: Стандартинформ, 2019. [Электронный ресурс]: <http://docs.ctnd.ru/document/1200124393>. Доступ 18.03.2020.
31. Пигу А. Экономическая теория благосостояния / Пер. с англ. В 2 т. – М.: Прогресс, 1985. – Т. 1. – 512 с.; Т. 2. – 454 с.
32. Шеремет А. Д. История и перспективы развития кафедральной научной школы комплексного анализа деятельности организаций // Сб. статей Международной научной конференции «Ломоносовские чтения-2016: Экономическая наука и развитие университетских научных школ» / Под ред. А. А. Аузана, В. В. Герасименко. – М., 2016. – С. 1419–1428.



Assessment of Effectiveness of Sustainable Transport Development



Savosina, Maria I., JSC NIIAT, Moscow, Russia.*

Maria I. SAVOSINA

ABSTRACT

The traditional assessment of efficiency of operations and of development projects of transport systems is based on a mercantilist approach that considers efficiency of activities according to the «cost-income-profit of economic entities» pattern. In this case, non-systemic, external results are usually not considered, while they can be many times higher in value terms than the internal results obtained by economic entities. External results are often seen outside the realm of purely economic relations. This is especially evident in the infrastructure sector, the material basis of which is formed by transport and logistics. To some extent a crisis of economic doctrine has arisen. An ecological crisis is being observed due to unrestrained anthropogenic activity. The concentration of people and production activities in cities has become the cause of the urbanization crisis. Growing inequality has led to an exacerbation of social contradictions. As a result, mankind has faced a complex crisis of civilization. Sustainable development was recognized as the main means of resolving the crisis. Sustainable transport development being primarily an infrastructure field of activity, serves as the foundation for building sustainable development of the economy and social sphere. The sustainable

development goals set by the world community under the auspices of the UN can only be achieved through the comprehensive assessment of effectiveness of management decisions (cumulative accounting of all internalities and externalities). Transport has become a pioneer in sustainable development of territories and cities. The approach to a comprehensive assessment of effectiveness of sustainable development determines the reform of economic and fiscal relations in the future according to the principle of the Pigou tax.

The objective of this article is to explore ways to improve assessment of effectiveness and methodology of sustainable development of transport organizations and transport systems. The article substantiates the relevance and directions of improving the methodology for a comprehensive assessment of the results of transport activities and presents analytical models for a comprehensive assessment of its effectiveness. The promising tasks for continuation of research and development are associated with justification and legal legitimization of the use of cost estimates of various external results of improving transport, as well as with development of a system for monitoring of information necessary for a comprehensive assessment of sustainable transport development.

Keywords: transport, efficiency, assessment, sustainable development, methodology.

*Information about the author:

Savosina, Maria I. – Ph.D. student of JSC Research Institute of Road Transport (JSC NIIAT), Moscow, Russia, spirina.mi@gmail.com.

Article received 18.03.2020, accepted 24.04.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 50.

Background. At present, probability and frequency of crises of various nature are increasing. The scale of such crises can be so significant that a global threat to development of civilization could arise. The deterioration of the ecological situation, aggravation of social problems, and the crisis of urbanism are well known factors. The rapid development of information technology (IT) has exacerbated the problem of professional readiness of personnel to work in a cognitive production environment. Traditionally used methods of economic management showed that they have constraints: the mercantilist concept of management, based on the economic interests of the investor and production workers, operating in the categories «cost—income—profit», came into conflict with socially significant interests and humanistic ideals. The current situation in the broad sphere of social relations actualizes the need to search for new approaches to development of anthropomorphic activity and for other methods for assessing effectiveness of production, economic and social activities able to comprehensively consider all the kinds of final results and interests of people and society. The UN member states, including Russia, adopted the 2030 Agenda for Sustainable Development on September 25, 2015, which includes 17 goals aimed at eliminating inequalities, poverty, preserving natural resources and ensuring human well-being. The agenda sets 169 tasks and indicators (indices) to assess the achievement of goals [1].

For objective reasons, the transport sector of the national economy was among the pioneers on the path of sustainable development.

The *objective* of this article is to study and present the results of developments in the field of methodology for assessing effectiveness of sustainable development of transport organizations and transport systems.

Global crises in the system of public relations

The global exacerbation of contradictions between the unrestrained anthropogenic activity, on the one hand, and stability of the environment, as well as the balance of social relations, on the other hand, was predicted

more than 100 years ago by the founders of the noospheric doctrine, who were *douard Louis Emmanuel Julien Le Roy* (1870–1954), *Pierre Teilhard de Chardin* (1881–1955), Russian scientists academician *V. I. Vernadsky* (1863–1945) and academician *N. N. Moiseev* (1917–2000), and their disciples [2; 3]. At present, predictions of negative consequences of uncontrolled anthropogenic activity are coming true, which has begun to threaten the existence of civilization.

The ecological crisis has led to climate change on the planet, to threat of a shortage of clean water, accelerated extinction of species and a reduction in the population of flora and fauna, irreversible geological shifts, pollution of significant areas of land and free water. The growth rate of emissions of harmful substances outstrips the growth rate of the world's population. For example, from 1960 to the present, carbon emissions have increased by 4,5 times with a population growth of 20 %. Particularly serious pollution is observed in urban areas. Cities are point sources, concentrators of unacceptable environmental pollution: more than 70 % of GDP is created in cities; this consumes up to 80 % of the energy produced; emissions of toxic substances into the atmosphere of cities make up about 85 % of their total volume. The resolution of the problems that caused the ecological crisis largely depends on implementation of a balanced transport policy [4–7].

The aggravation of social relations occurs due to uneven socio-economic development of society in different countries, deepening gap between rich and poor, residual influence of antagonistic class and racial «theories», gender inequality, provision of social guarantees blurred in common words, shortcomings in development of culture, medicine and education. At present, according to the UN Secretary General A. Guterres, a pandemic of inequality has arisen and a complex crisis is developing, and efforts of all countries should be directed to overcome its manifestations [8].

Attracting investments into the economy and social sphere, leveling the differences between different groups of the population and implementation of the concept of «smart cities» provide the potential for resolving many social contradictions [9].

Insufficient quality of training of specialists and the lack of decent jobs for them led to a decline in the prestige of education, while it is the main means of building a modern cognitive economy of knowledge. According to a survey of citizens, although higher education contributes to career growth, in Russia it does not have a significant impact on material well-being. Education is becoming less accessible, and there are fewer people willing to pay for education [10].

The urbanization crisis is closely related to environmental, social and economic crises. Cities occupy only 1 % of the land, but more than half of people live in them (in Russia, about 74 %), and by 2050 it is predicted that the share of urban inhabitants of the planet will exceed 70 % [11; 12].

The growth of settlements has always generated a request for creation of new types and systems of transport that provide a reasonable time for transportation of people and timely delivery of goods to consumers.

Currently, motorization of the population has led to insoluble traffic congestion and a decrease in quality of transportation services for passengers by public transport. Streets and roads in large European cities occupy an average of 10 % of the territory (20 % in Moscow) of scarce and expensive urban land. For comparison, the specific area of the city's territory occupied by a bus passenger is about 40 times smaller than that of a passenger car [13–15].

Time spent on daily travel by urban residents is increasing up to the limit allowed by sanitary and psychological standards. This significantly reduces quality of life in cities.

The traditional potential of methods for solving urbanization problems has exhausted itself, therefore, in order to find innovative ways of developing urban systems, the UN Conference on Housing and Sustainable Urban Development «Habitat III» was held on September 17 and 18, 2014 in New York [9; 16].

The general patterns of emergence of economic crises have been studied by Keynesian and neo-Keynesian economic schools. Against the background of environmental and social crises, a crisis of the *economic doctrine* based on predominant consideration of the interests of investors and

business entities began to manifest itself. These persons always proceed from their commercial interests. Such interests are usually called internal (i.e. internal) results. An example of an internal result is the profit made. But when implementing business projects, there are also results manifested in the environment which is external to investors and economic entities. First, external effects are manifested through their environmental and social aspects. Often, external results, called externalities, in terms of value, are many times higher than internal results. The uneven development of markets for various goods, the use of «free» resources and the lack of clearly specified rights to resources of various nature, and the out-of-market reproduction of human capital are considered the primary reasons for emergence of externalities [17–19].

The theoretical basis for integrated accounting of internalities and externalities (positive and negative) can be the use of the so-called Pigou tax (Arthur Cecil Pigou, 1877–1959) [9]. The Pigou tax provides for legislative establishment of penalties when an economic entity exceeds the current mandatory standards of possible negative impact of a business project on the environment and the social sphere (if appropriate, on other public relations as well). These charges are made from profit and go to the budget. On the contrary, if an economic entity proves that it carried out its activities with less negative consequences compared to the established standards, then it has the right to receive incentive payments from the budget or the corresponding exemption from established taxes (tax benefits) from the budget.

Currently, tax revenues to the budgets of the Russian Federation, its constituent entities and municipalities are depersonalized, and distribution of these funds for implementation of state and municipal obligations is in no way tied to the corresponding tax flows. Thus, the potential feedback between the performance results of tax residents and incentives to achieve socially significant results are not used in the system of taxation. The introduction of the Pigou tax will require a reform of tax legislation, and will provide an opportunity to activate this feedback, which will



significantly increase the regulatory role of taxes for the social and economic development of the country.

Sustainable development and the role of transport in its implementation

Global crises are sources of concern of the world community, the scientific community, and politicians in all the countries. Through the efforts of almost all UN members, and under the auspices of that global organization several representative conferences were prepared and held, at which the concept of sustainable development was formed. The final documents were adopted [20–24].

Concern for preserving the environment is also in the field of vision of the world community: on December 12, 2012, the Paris Agreement was adopted in accordance with the UN Framework Convention on Climate Change of December 12, 2012 (the application of this agreement in Russia was legitimized by the decree of the Government of the Russian Federation of September 23, 2019). The directions of development of educational activities for the purpose of sustainable development are defined in the UNESCO declaration [25].

Established in the scientific community and in political circles, the phrase «sustainable development» in its literal translation to Russian does not quite adequately convey the semantic content of the corresponding concept. Sustainable development (also called harmonious development) is understood as a balanced process of economic and social transformations, exploration of natural resources, in which investments, scientific and technological progress, institutional changes and personal development are mutually coordinated in order to preserve the natural heritage in the interests of ensuring a decent quality of life of the present and future generations. The classical approach to sustainable development is based on the triad: economy–ecology–social balance. Sustainable development presupposes adoption of managerial decisions aimed at achieving the optimal (rational) combination of the elements of this triad. Comparison of the concepts of noospherism and sustainable development shows that sustainable development is a dynamic interpretation of the noospheric approach, its practical implementation [13].

As follows from the above, implementation of sustainable development of urbanized spaces is most relevant [3–8]. According to the basic principle of urban planning, founded by the great architect and urbanist of 20th century *Le Corbusier* (1887–1965, named at the birth *Charles-Edouard Jeanneret-Gris*), no city can grow faster than its transport develops [13].

By analogy, it is fair to extend this principle to mainline modes of transport that transport passengers and goods outside urban areas, since in this case transport performs the same type of logistics functions, being the material basis of the infrastructure of the economy and social sphere. Mainline transport also has an impact on the environment, in connection with which numerous international conventions and acts of national legislation have been adopted. Therefore, development of the world economy, development of the economy and social sphere of the country and its regions cannot proceed faster than development of mainline transport.

Transport has now become a pioneer in implementing sustainable development. The dominant role of transport in sustainable development is not accidental, as it is explained by a complex of objective reasons:

- transport carries out transportation of almost all citizens and serves all commercial and non-commercial organizations, public and municipal sectors. Therefore, transport directly affects the interests of everyone;
- transport refers to capital and labor-intensive industries (in Russia the economic activity «Transportation and storage» attracts about 24 % of fixed assets and 7,3 % of employees occupied in the national economy [26]);
- transport component in the final price of Russian domestic products, according to expert estimates, is approximately twice as high as in some countries (no statistical record of this indicator is kept). For example, for railway transportation of goods, the share of logistics costs in Russia's GDP is about 20–24 %, and in some other countries is about 10 % [27].
- this reduces competitiveness of domestic producers, also taking into account that their products are not yet deeply processed (such products are much cheaper than complex technical products and products of deep processing, as a result of which the transport component significantly affects the final price of products);

- urban transport has a significant impact on the urban environment, ranked first among various suppliers of these pollutants in terms of carbon and greenhouse gas emissions into the atmosphere of cities. Lands of the cities used for transport infrastructure take 10–20 % of the scarce urban area, «sealed» with a road surface [13];

- transport and construction of the routes are financed from the budget, which makes it necessary to carefully assess the effectiveness of spending the corresponding funds. The share of budget funding for urban route passenger transport covers almost 40 % of the costs of transport organizations [28]. Large-scale projects for development of transportation routes are also being implemented due to participation of the budget in their financing;

- road transport (road and urban ground electric transport in aggregate) is the most dangerous man-made source of harm to human life and health;

- for transport, the use of innovative technologies is especially effective (electric traction and regenerative braking, IT, IoT (Internet of Things), transport telematics, control automation, etc.), which produces a noticeable impact on the quality of transport services while reducing the overall costs of carriers.

Significant scientific and practical results in the field of sustainable development of urban transport have been obtained in Europe. The European has developed guidelines for implementing sustainable development in urban and suburban areas. The development of urban transport must be carried out in accordance with *Sustainable Urban Mobility Plans* (SUMPs). The plans are developed based on general principles and approaches, considering national legislation. The analysis of fulfillment of SUMPs is carried out according to 20 evaluation criteria [4; 6; 13; 14; 29].

In Russia, sustainable development planning is carried out considering European experience [6; 13; 19]. The main efforts are aimed at implementation of transport planning with state and municipal support for passenger transportation on regular routes. The legal basis for such support is established by the Federal Law of July 13, 2015 No. 220-FZ «On organization of regular transportation of passengers and luggage by road and urban land electric transport in the Russian Federation and

on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation». The development of planning documents for regular transportation is entrusted to the executive authorities.

Currently, transport planning, in fact, is limited to development of lists of routes for regular transportation followed by their division into routes with regulated and unregulated tariffs. For the first of these two groups of routes, the executive authorities set tariffs and corresponding budget surcharges for carriers. Fares for travel and baggage on routes with non-regulated fares are set by the carriers themselves.

Methodology for assessing efficiency of sustainable transport development and topical tasks of its improvement

Efficiency (form Latin word *effectivus*) characterizes the ratio of results to the costs of achieving them, that is, it is a relative characteristic. The effect expresses the achieved result in absolute form [30].

Economic effects and efficiency can be considered as universal measures of utility, and also serve as equivalents of non-economic effects and efficiency. For comparability of equivalents of effects and efficiency of different nature, cost estimates of costs and benefits are used. For example, reduction in travel time of passengers as a result of improved transport performance may be subject to passenger-hour valuation. We emphasize that when using value estimates, there is no question of trading the corresponding useful result. Therefore, it is necessary to distance the value estimates of something from the economic categories of value and price.

When determining the economic effect and efficiency, the results and resource costs are expressed in monetary terms, guided by the principles:

- comparability of indicators (bringing all indicators and standards used in the calculations to single basic conditions, including through discounting over time);

- independence of determining the results of implementation of various measures; the prospects of the comparison base, for which the indicators planned for the period (year) of implementation of the event are taken without considering the impact of the event in question.

Non-economic effects (externalities) are not taken into account in calculations of economic efficiency, since stakeholders who are recipients of such effects are not included into the group of investors and operators.



However, in practice, externalities that are the dominant (in terms of value) results of operation of transport systems. Numerous publications in the field of management use the concept of an organization's mission, which is usually referred to as meaningful social and environmental result. Despite the good intentions expressed in references to the mission of the organization, civil law requires that in the charters of all commercial organizations, the goal would be associated with the declared receipt of income, profit (but not the mission). Therefore, the mission of the organization serves as a «fig leaf» of the mercantilist goals of business executives.

The doctrine of externalities, as mentioned above, was developed by A. Pigou [31]. In Russia, this concept is being developed by many researchers. The leading position belongs to the scientific school created at Lomonosov Moscow State University by Professor A. D. Sheremet (1929–2020) [32]. External effects are now considered in practice. For example, Russian environmental legislation establishes payment for the use of natural resources, sanctions for excess emissions of pollutants, and presumption of environmental hazard for economic entities. This practice, according to the concept of sustainable development, will be constantly expanded by the legislator.

It is generally accepted to quantify the economic performance of investments: by the internal rate of return (actual rate of return on investment); by net present value (NPV) [17; 18]. The calculation of these performance indicators is automated in *Microsoft Excel* and *OpenOffice.org Calc* spreadsheets.

The analysis of the essence of a comprehensive assessment of efficiency of sustainable development of transport systems showed that the methods for calculating the internal rate of return and net present value can serve as initial analogs for constructing a comprehensive assessment methodology.

It is proposed to evaluate the complex result in value terms R_{Σ} according to the following dependence:

$$R_{\Sigma} = NPV + E_{ecol} + S_{soc} = -IC + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t} - E_0 + \sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+i)^t} - S_0 + \sum_{t=1}^N \frac{S_t}{(1+i)^t}, \quad (1)$$

where NPV is net present value (internal economic result of investors and economic entities of the transport system), thousand rubles (or other monetary units);

E_{ecol} is value of the discounted total external environmental result, thousand rubles;

S_{soc} is value of the discounted total social result, thousand rubles;

$t = 0, 1, 2, \dots, N$ is conditional number of the settlement period (for example, a year; zero period is beginning of investments in implementation of the transport system development project);

i is discount rate;

CF_t is total cash flow during the investment period with the conditional number t (the algebraic sum of all cash inflows and outflows during this period), thousand rubles;

IC are investments during zero period, thousand rubles;

E_0 is total cost of environmental resources incurred for implementation of the project during zero period of time in value terms, thousand rubles;

S_0 are total expenditures of social resources made for implementation of the project during zero period of time in value terms, thousand rubles;

E_t is total discounted flow of environmental resources during time period t in value terms, thousand rubles;

S_t is total discounted flow of social resource during time period t in value terms, thousand rubles.

At the same time:

$$E_{ecol} = \sum_{m=0}^M E_{(t=0),m} \cdot d_m + \sum_{t=1}^N \sum_{m=0}^M E_{t,m} \cdot d_m = \sum_{t=0}^N \sum_{m=0}^M E_{t,m} \cdot d_m; \quad (2)$$

$$S_{soc} = \sum_{m=0}^M S_{(t=0),m} \cdot f_m + \sum_{t=1}^N \sum_{m=0}^M S_{t,m} \cdot f_m = \sum_{t=0}^N \sum_{m=0}^M S_{t,m} \cdot f_m, \quad (3)$$

where $E_{(t=0),m}$ is consumption of an ecological resource of the form $m = (1, 2, \dots, M)$ during zero period, presented in natural accounting units;

$E_{t,m}$ is consumption of an ecological resource of the form $m = (1, 2, \dots, M)$ during time periods $t = (1, 2, \dots, N)$, presented in natural accounting units;

d_m is cost estimate of the considered unit of an ecological resource of the form $m = (1, 2, \dots, M)$;

$S_{(t=0), m}$ is consumption of a social resource of the form $f = (1, 2, \dots, F)$ during zero period, presented in natural accounting units;

$S_{t, m}$ is consumption of a social resource of the form $f = (1, 2, \dots, F)$ during time periods $t = (1, 2, \dots, N)$, presented in natural accounting units;

f_m is cost estimate of the considered unit of a social resource of the form $f = (1, 2, \dots, F)$.

The considered methodology for calculating the integrated efficiency allows evaluating the cumulative results obtained during operation of transport organizations and systems, as well as projects for their improvement. The methodology also provides opportunities for a phased transition to the use of the idea of the Pigou tax, which will provide feedbacks between socially significant effects and taxation of economic entities. This will enable the transition from a mercantilist economy aimed at generating profit for the investor to the sustainable development economy in the interests of present and future generations.

The development of a methodology for assessing the efficiency of sustainable development actualizes research and development. According to our estimates, in order to develop lists of the main environmental and social indicators of sustainable development, methods for their scientifically grounded calculation, and methods for valuation of the effects obtained, more than 100 research works in the economic field should be completed.

Conclusion. An integrated approach to development of a methodology for assessing the efficiency of transport organizations and systems, as well as projects for their improvement in accordance with the concept of sustainable development, puts forward the following tasks as topical areas for applied research and development:

- structuring lists of typical environmental and social effects, the results of which should be applied for determining integrated effectiveness;

- development of a methodology for accounting for the impact of transport organizations and systems on environmental and social effects;

- economic, technological and legal justification of the cost estimates of each of the environmental and social changes taken into account in order to transfer the results obtained into the value of the corresponding effects;

- development of a system for monitoring the initial information for performing efficiency calculations;

- legal legitimization of the accounting results collected by the monitoring system and methods for calculating integrated efficiency;

- training of specialists for administration of transport and executive authorities, taking into account the innovative changes associated with transition to sustainable development of the transport industry;

- gradual transformation of the legal framework for implementation of incentives for economic entities in accordance with the principles of the Pigou tax (mainly in the areas of civil, budgetary and tax legislation).

REFERENCES

1. UN. General Assembly. A/RES/70/1. Resolution adopted by the General Assembly on September 25, 2015 «Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development». [Electronic resource]: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf. Last accessed 18.03.2020.
2. Vernadsky, N. I. Biosphere and noosphere [*Biosfera i noosfera*]. Moscow, Ayris-Press, 2004, 576 p.
3. Moiseev, N. N. Man and noosphere [*Chelovek i noosfera*]. Moscow, Molodaya gvardiya, 1990, 351 p.
4. May, A., Boehler-Baedeker, S., Delgado, L., Durlin, T., Enache, M., van der Pas, J.-W. Appropriate national policy frameworks for sustainable urban mobility plans. *Eur. Trans. Res. Rev.*, January 2017, Vol. 9, Iss. 1:7, pp. 6–16. DOI: 10.1007/s12544-017-0224-1.
5. May, A. D., Shepherd, S. P., Timms, P. M. Optimal Transport Strategies for European Cities. *Transportation*, June 2000, Vol. 27, Iss. 3, pp. 285–315. DOI: 10.1023/A:1005274015858.
6. Spirin, I., Zavyalov, D., Zavyalova, N. Globalization and development of sustainable public transport systems. 16th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences. University of Zilina (Slovakia). The Faculty of Operation and Economics of Transport and Communication, Department of Economics. Proceedings. Part 5. 5th–6th October 2016, pp. 2076–2084.
7. Boden, T. A., Marland, G., Andres, R. J. Global, Regional and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Centre, Oak Ridge National Laboratory, United States Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee, USA. [Electronic resource]: <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=467885>. Last accessed 18.03.2020.
8. Lecture by UN Secretary-General António Guterres in memory of Nelson Mandela: «Tackling the pandemic of inequality: a new social contract for a new life». July 18, 2020 Posted on the UN website. [Electronic resource]: <http://www.unic.ru/press/lektiya-generalnogo-sekretarya-v-pamyat-o-nelson-mandela-65>



- borba-s-pandemiei-neravenstva-novyi. Last accessed 18.03.2020.
9. UN. General Assembly. A/CONF.226/PC.1/5. 26 July 2014 Resolution of the Preparatory Committee for the Conference on Housing and Sustainable Urban Development (Habitat 3). Posted on the UN website. [Electronic resource]: <http://new.pfdm.ru/35konferenciya/94493-1-nacy-generalnaya-assambleya-distr-general-july-2014-russian-original-english-podgotovitelnyi-komitet-dlya.php>. Last accessed 18.03.2020.
10. Analytical review of VTsIOM dated July 18, 2019. Higher education: a social lift, or wasted time? VTsIOM [Analiticheskiy obzor VTsIOM ot 18 iulya 2019 goda. Vysshee obrazovanie: sotsialnyi lift, ili poteryannoe vremya? VTsIOM]. [Electronic resource]: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9808>. Last accessed 18.03.2020.
11. Spirin, I. V., Grishaeva, Yu. M., Glazachev, S. N., Savosina, M. I., Shumilov, Yu. V. Sustainable development of urbanization [Ustoichivoe razvitiye urbanizatsii]. *Astrakhan bulletin of ecological education*, 2019, Iss. 6 (54), pp. 75–85.
12. Spirin, I. V., Matantseva, O. Yu., Grishaeva, Yu. M., Savosina, M. I. Sustainable development of the city's transport complex: methodology, problems, solutions [Ustoichivoe razvitiye transportnogo kompleksa goroda: metodologiya, problem, resheniya]. Proceedings of 12th International Scientific Conference «Management of development of large-scale systems MLSD2019». Moscow, Institute of Control Problems of the Russian Academy of Sciences n.a. V. A. Trapeznikov, 2019, pp. 715–716. [Electronic resource]: https://mlsd2019.ipu.ru/proceedings_2/675-682.pdf. Last accessed 18.03.2020.
13. Grishaeva, Yu. M., Matantseva, O. Yu., Spirin, I. V., Savosina, M. I., Tkacheva, Z. N., Vasin, D. V. Sustainable development of urban transport: experience and urgent tasks [Ustoichivoe razvitiye gorodskogo transporta: opyt i aktualnie zadachi]. *South of Russia: ecology, development*, 2018, Vol. 13, Iss. 4, pp. 24–46. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-4-24-46.
14. Kauf, S. City logistics – a Strategic Element of Sustainable Urban Development. *Transportation Research Procedia*, December 2016, pp. 158–164. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.11.016.
15. Sustainable Development in Russia. Ed. S. Bobylev and R. Perelet. Berlin–St. Petersburg. Russian-German Environmental Information Bureau, 2013, 203 p. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/publication/305434769_Sustainable_Development_in_Russia. Last accessed 18.03.2020.
16. UN. Habitat 3 Conference. Sustainable Development Goals. UN website. [Electronic resource]: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/habitat3>. Last accessed 18.03.2020.
17. Atkinson, E. A., Bunker, R. D., Kaplan, R. S., Jung, M. S. Management accounting [Upravlencheskiy uchyon. Transl. from English]. St. Petersburg, LLC Dialectica, 2019, 880 p.
18. Matantseva, O. Yu. Fundamentals of the economy of road transport: Study guide [Osnovy avtomobilnogo transporta: Ucheb. posobie]. Moscow, Yustitsinform publ., 2020, 288 p.
19. Spirin, I. V., Matantseva, O. Yu., Grishaeva, Yu. M. The strategy of sustainable development of urban transport. Proceedings of the International Scientific Conf. «Far East Con» (ISCFEC-2020). Advanced in Economics: Management Research, 128, pp. 2624–2628. DOI: <http://doi.org/10.2991/aebmr.k.200312.369>.
20. Rio de Janeiro Declaration on Environment and Development. Adopted by the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, June 3–14, 1992, RIO-2012. [Electronic resource]: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml. Last accessed 18.03.2020.
21. Summit on Sustainable Development (WSSD), or Earth ONG Summit 2002, Johannesburg, South Africa, 26 August–4 September 2002, RIO+10. [Electronic resource]: <https://helpiks.org/8-10197.html>. Last accessed 18.03.2020.
22. Outcome document of the UN international conference «The future we want», Rio de Janeiro, Brazil, June 19, 2012, RIO+20. A/CONF.216/L.1. [Electronic resource]: http://www.ecopolicy.ru/upload/File/Bulletins/B_61.pdf. Last accessed 18.03.2020.
23. Resolution of the UN General Assembly of October 25, 2015 «Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development». [Electronic resource]: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf. Last accessed 18.03.2020.
24. Resolution of the UN General Assembly of May 10, 2018 «Towards the conclusion of the Global Pact for the Protection of the Environment». May 14, 2018. [Electronic resource]: <https://undocs.org/pdf?symbol=ru/a/res/72/277>. Last accessed 18.03.2020.
25. Aichi Nagoya Declaration on Education for Sustainable Development. UNESCO World Conference on Education for Sustainable Development, Aichi-Nagoya, Japan, 2014. [Electronic resource]: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002310/231074r.pdf>. Last accessed 18.03.2020.
26. Russia in Figures 2020: Summary [Rossiya v tsifrakh 2020: Kratkiy sbornik statei]. Rosstat, Moscow, 2020, 550 p. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12993>. Last accessed 18.03.2020.
27. JSC Russian Railways. State tariff policy: performance results. Annual report of JSC Russian Railways for 2012 [OAO RZD. Gosudarstvennaya tarifnaya politika: rezulaty deyatelnosti. Godovoy otchet OAO RZD za 2012 god]. [Electronic resource]: <http://ar2012.rzd.ru/>. Last accessed 18.03.2020.
28. Persianov, V. A., Bednyakova, E. B. On the issue of financing public transport [K voprosu finansirovaniya obshchestvennogo transporta]. *Vestnik universiteta*, 2013, Iss. 13, pp. 91–97.
29. Barfod, M. B., Leleur, S., Gudmundsson, H., Sorensen, C. H., Greve, C. Promoting Sustainability through National Transport Planning. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, June 2018, Vol. 18, Iss. 3, pp. 250–261. [Electronic resource]: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/150060828/Paper_1_Promoting_sustainability_through_national_transport_planning.pdf. Last accessed 18.03.2020.
30. GOST [State Standard] R ISO 9000:2015. Quality management systems. Basic provisions and vocabulary (as amended by IUS N10-2016) [GOST R ISO 9000:2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnie polozheniya i slovar' (s popravkoi IUS N10-2016)]. Moscow, Standartinform publ., 2019. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/1200124393>. Last accessed 18.03.2020.
31. Pigou, A. Economic theory of welfare [Ekonomicheskaya teoriya blagosostoyaniya. Transl. from English]. In 2 volumes. Moscow, Progress publ., 1985. Vol. 1, 512 p.; Vol. 2, 454 p.
32. Sheremet, A. D. History and development prospects of the department scientific school of complex analysis of the activities of organizations [Istoriya i perspektivyy razvitiya kafedralnoi nauchnoi shkoly kompleksnogo analiza deyatelnosti organizatsii]. Collection of articles of International Scientific Conference «Lomonosov Readings-2016: Economic Science and Development of University Scientific Schools». Ed. by A. A. Auzan, V. V. Gerasimenko. Moscow, 2016, pp. 1419–1428. ●



ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА 68

Как вовремя заметить
риски напряжённо-
деформированного
состояния моста.



ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА И СЕВЕР 82

Эксплуатация
инфраструктурного
комплекса требует
повышенного внимания
к экосистеме и её факторам.

ЭЛЕКТРОВОЗЫ 102

Определить потребности
в ремонте по
текущему состоянию
изоляции помогает
ИК-фотоспектрометрия.

НАУКА И ТЕХНИКА • SCIENCE AND ENGINEERING



INFRASTRUCTURE 75

*How to timely reveal risks
following stress-strain state
of a bridge.*

THE NORTH AND THE RAILWAY 92

*Operation and maintenance
of track infrastructure suggests
the greatest attention to the
ecosystem.*



ELECTRIC LOCOMOTIVES 109

*IR-spectrophotometry helps
to assess current state of
insulation and to identify thus
need for maintenance and
repair.*



Напряжённо-деформированное состояние железобетонного путепровода под нагрузкой



Иван БОНДАРЬ



Михаил КВАШНИН



Динара АЛДЕКЕЕВА

Бондарь Иван Сергеевич – Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК), Алматы, Казахстан.

Кваشнин Михаил Яковлевич – Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК), Алматы, Казахстан.

Алдекеева Динара Танашибековна – Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК), Алматы, Казахстан.*

Балочные пролётные строения являются наиболее уязвимыми элементами мостовой системы, так как они подвергаются прямым воздействиям: подвижной нагрузки, природно-климатическим факторам (температурным и влажностным воздействиям, включая замораживание и оттаивание, усадку, влажность и др.). Появление дефектов конструкций моста в процессе эксплуатации неизбежно, поэтому перед инженерами-строителями вопрос усиления повреждённых конструкций мостов является актуальным и в настоящее время. В статье рассмотрены некоторые результаты расчётных значений и инструментальных измерений напряжённо-деформированного состояния

(НДС) железобетонных балочных пролётных строений железнодорожного путепровода под эксплуатационными нагрузками, при проходе различных единиц подвижного состава. Целью данных исследований является контроль напряжённо-деформированного состояния железнодорожного путепровода для выявления и устранения дефектов на ранних стадиях. Полученные результаты расчёта, выполненные методом конечных элементов (МКЭ) в программе ABAQUS/Standard, хорошо коррелируют с экспериментальными данными. Эти результаты могут использоваться при мониторинге состояния искусственных сооружений на магистральных линиях АО «НК «ҚТЖ».

Ключевые слова: железная дорога, путепровод, балочные пролётные строения, напряжённо-деформированное состояние.

*Информация об авторах:

Бондарь Иван Сергеевич – кандидат технических наук, сениор-лектор кафедры транспортного строительства Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК), Алматы, Казахстан, ivan_sergeevich_08@mail.ru.

Кваشнин Михаил Яковлевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортного строительства Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК), Алматы, Казахстан, kvashnin_mj55@mail.ru.

Алдекеева Динара Танашибековна – кандидат технических наук, доцент кафедры естественно-научных дисциплин Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (КазАТК), Алматы, Казахстан, aldekeeva69@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.11.2019, актуализирована 14.12.2019, принята к публикации 25.01.2020.

For the English text of the article please see p. 75.

Мостовое полотно является основным несущим элементом, который передаёт нагрузки поперечно опорам, таким как продольная балка, поперечные балки и стрингеры. Поскольку железобетонные балки моста подвергаются прямым воздействиям подвижной (транспортной) нагрузки, а также природно-климатическим факторам – замораживанию и оттаиванию, усадки и влажности, они являются одними из наиболее уязвимых элементов в мостах, где чаще всего появляются повреждения (дефекты), такие как трещины, сколы защитного слоя бетона и коррозия стальной арматуры. Кроме того, постоянные (реальные) нагрузки от перегруженных транспортных средств, которые часто встречаются на магистральных железнодорожных линиях Казахстана и России, приводят к серьёзному усталостному повреждению несущих железобетонных балок. Из-за таких ситуаций средний срок службы железобетонных балочных пролётных строений железнодорожных мостов резко сокращается, а расходы на содержание и техническое обслуживание мостов постоянно увеличиваются.

В конце прошлого века несколько стран, таких как Германия, США, Канада, Япония и Корея поняли, что срок службы железобетонных балок имеет решающее значение для всего моста. Были начаты исследования напряжённо-деформированного состояния балочных пролётных строений железобетонных мостов. Появление дефектов (сколов и трещин бетона, коррозии арматуры) конструкций моста в процессе эксплуатации неизбежно, поэтому перед инженерами-строителями вопрос усиления повреждённых конструкций мостов является актуаль-

ным и в настоящее время [1, с. 1705–1708; 2, с. 484–513; 3, с. 35–49].

В ряде стран принято производить мониторинг искусственных сооружений, своевременно устранять дефекты (повреждения) железобетонных балочных пролётных строений мостов и производить усиление их конструктивных элементов углеволокном или композитными материалами [4, с. 2769–780; 5, с. 258–266; 6, с. 302–310].

Далее приведены расчётные и экспериментальные результаты определения напряжённого состояния железобетонных балочных пролётных строений железнодорожного путепровода (рис. 1) под действием известных нагрузок (цепа – тепловоза ТЭМ-18 и вагона хоппер-дозатора для перевозки щебня, модель 19-9870; сплотки – из трёх тепловозов ТЭМ-18), при статических испытаниях путепровода.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТНОГО СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Выполнены расчёты напряжённого состояния элементов сооружения при заданных сочетаниях нагрузок (расчётных случаях) [7, с. 101–120].

Всего было рассмотрено 12 расчётных случаев:

1 случай – П0. «Натяжение арматуры блоков 23,6 м + собственный вес»;

2 случай – С1. «П0 + сцеп (середина локомотива над серединой ПС0–1)»;

3 случай – С2. «П0 + сцеп (середина вагона над серединой ПС0–1)»;

4 случай – С3. «П0 + сцеп (середина вагона над опорой № 1)»;

5 случай – С4. «П0 + сцеп (середина сцепа над серединой ПС1–2)»;

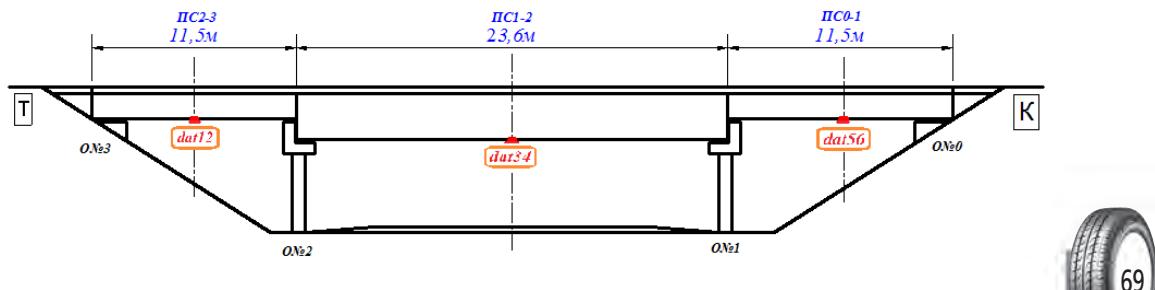


Рис. 1. Схема расположения тензорезисторов на пролётных строениях железнодорожного железобетонного путепровода, на 97 км ПК5+20, ПС0–1, ПС1–2, ПС2–3 – пролётные строения путепровода; dat 1, 2, 3, 4, 5, 6 – тензорезисторы FLM-60-11; O № 1, O № 2 – рамные, двухстоечные промежуточные опоры; O № 0, O № 3 – устои обсыпного типа (авторский).

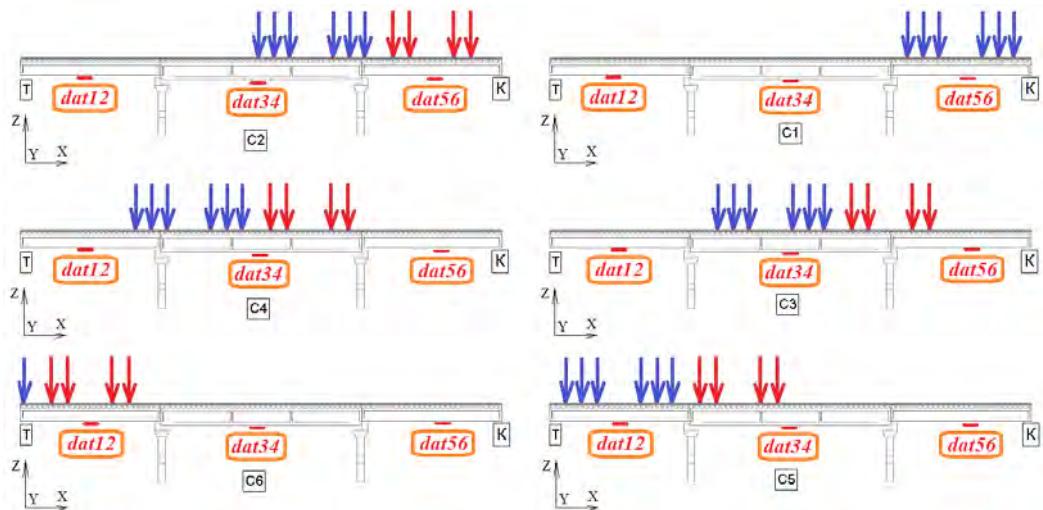


Рис. 2. Схемы временных нагрузок от сцепа «локомотив–вагон» (C1–C6), dat 1, 2, 3, 4, 5, 6 – тензорезисторы установленные на пролётных строениях путепровода; K, T – станции до и после путепровода (подготовлены авторами).



Рис. 3. Фотография установки сцепа «локомотив–вагон» на пролётное строение 0–1 (нагрузка C1) (сделана авторами).

6 случай – C5. «П0 + сцеп (середина сцепа над опорой № 2)»;

7 случай – C6. «П0 + сцеп (середина вагона над серединой ПС2–3)» (см. рис. 2, 3);

8 случай – L1. «П0 + сплотка (середина локомотива № 1 над серединой ПС2–3)»;

9 случай – L2. «П0 + сплотка (середина локомотива № 2 над опорой № 2)»;

10 случай – L3. «П0 + сплотка (5-я ось 2-го локомотива над серединой ПС1–2)»;

11 случай – L4. «П0 + сплотка (2-я ось 3-го локомотива над серединой ПС1–2)»;

12 случай – L5. «П0 + сплотка (2-я ось 3-го локомотива над серединой ПС0–1)» (см. рис. 4, 5).

Расчётная модель рассматриваемого искусственного сооружения составлена в программе ABAQUS/Standard. Результаты расчё-

тов представлены в виде значений деформаций в контрольных точках, полученных при помощи виртуальных датчиков (податливых стержневых элементов начальной длиной 60 мм с линейно-упругими свойствами стали), установленных на бетоне пролётных строений путепровода. Контрольные точки выбраны на нижнем поясе в серединных сечениях пролётных строений сооружения: «dat 1, 2» – датчики в середине пролётного строения ПС0–1; «dat 3, 4» – датчики в середине пролётного строения ПС1–2; «dat 5, 6» – датчики в середине пролётного строения ПС2–3 (где ПС0–1 – пролётное строение 11,5 м, со стороны станции K; ПС1–2 – пролётное строение 23,6 м; ПС2–3 – пролётное строение 11,5 м, со стороны станции T).

Результаты расчётов элементов сооружения при заданных нагрузках (C1–C6

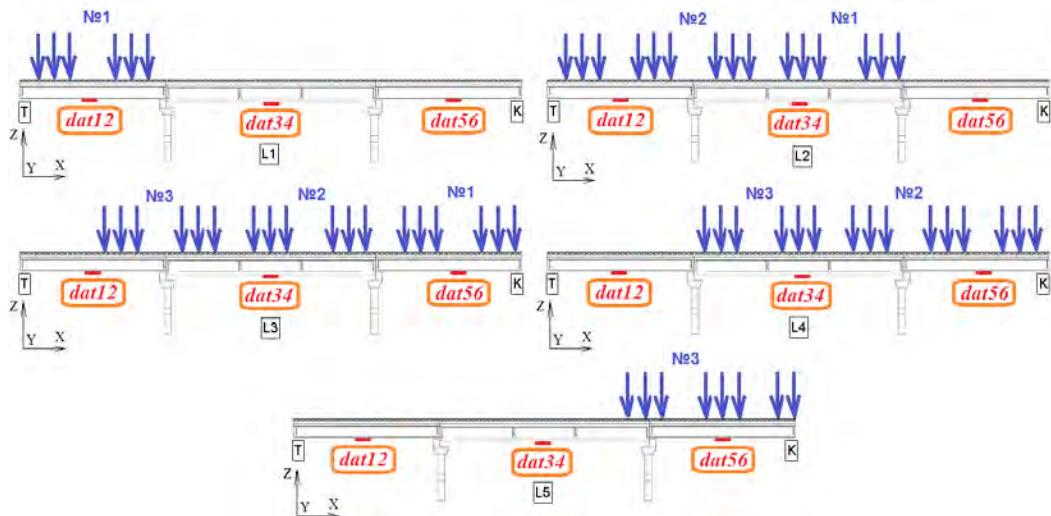


Рис. 4. Схемы временных нагрузок от сплотки «3 локомотива» (L1–L5), dat 1, 2, 3, 4, 5, 6 – тензорезисторы установленные на пролётных строениях путепровода; K, T – станции до и после путепровода (авторский).

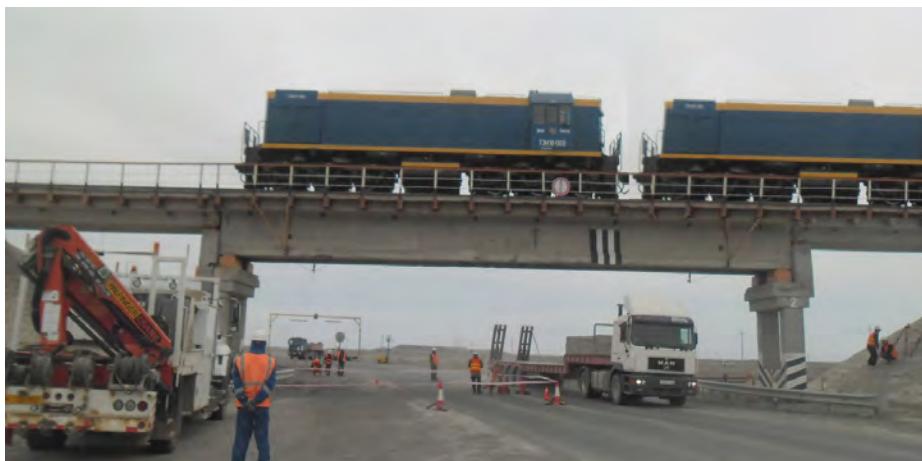


Рис. 5. Фотография установки сплотки «3 локомотива» на пролётное строение 1–2 (нагрузка L4) (сделана авторами).

и L1–L5), представлены в виде распределений напряжений в арматуре и бетоне блоков пролётных строений путепровода для расчётного случая П0 и в виде значений напряжений в контрольных точках и виртуальных датчиках для всех рассмотренных расчётных случаев, S_a – натяжение арматуры (табл. 1). Полученные расчётом данные согласуются с полученными экспериментально авторами [8, с. 163–166; 6, с. 64–67].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Натурные испытания однопутного железнодорожного путепровода через автомобильную дорогу в производственной зоне проводи-

лись весной 2018 года при помощи тензометрического программно-аппаратного комплекса (ТПАК) [10, с. 43–47]. Путепровод построен в 1988 году, по схеме: 11,5 + 23,6 + 11,5 м на 96 км ПК5–20 железнодорожной линии Кульсары–Тенгиз, из сборных железобетонных конструкций.

Тензорезисторы (dat 1, 2, 3, 4, 5, 6) установлены на каждом блоке пролётных строений в средней части (нечётные на правых блоках, чётные на левых блоках), также произведена защита наклеенных тензорезисторов от внешних воздействий окружающей среды с целью дальнейшего мониторинга в течение 8–10 лет.

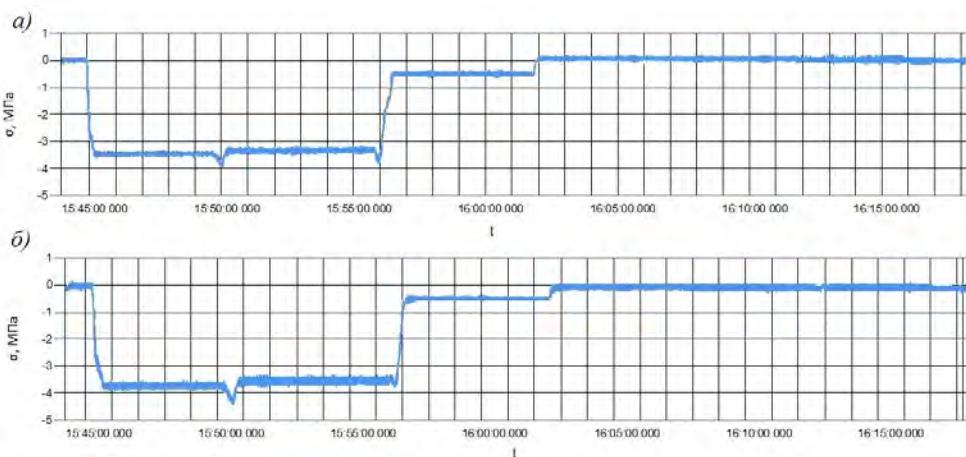
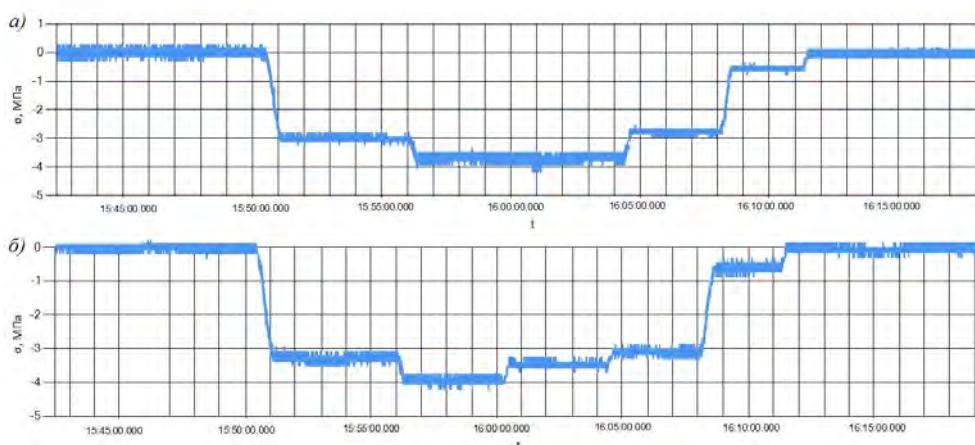




Таблица 1

Расчётные значения напряжений в контрольных точках пролётных строений путепровода

Расчётный случай	Напряжение, МПа			Приращение напряжения от временной нагрузки, МПа		
	dat12	dat34	dat56	dat12	dat34	dat56
S _a	0,00	-22,88	0,00	—	—	—
П0	3,17	-17,98	3,14	—	—	—
Сцеп – тепловоз ТЭМ-18 и вагон хоппер-дозатор						
C1	3,17	-17,98	7,75	0,00	0,00	4,61
C2	3,17	-14,65	6,34	0,00	3,33	3,21
C3	3,17	-14,01	6,57	0,00	3,97	3,43
C4	4,54	-14,10	3,14	1,37	3,88	0,00
C5	8,59	-14,76	3,14	5,41	3,22	0,00
C6	8,56	-17,16	3,14	5,39	0,82	0,00
Сплотка – из 3-х тепловозов ТЭМ-18						
L1	6,40	-17,98	3,14	3,23	0,00	0,00
L2	3,17	-17,98	7,41	0,00	0,00	4,27
L3	3,17	-14,09	8,61	0,00	3,89	5,47
L4	8,53	-14,25	7,35	5,35	3,73	4,21
L5	6,27	-14,50	6,16	3,10	3,48	3,02

Рис. 6. Диаграммы фибровых напряжений растянутой зоны ПС 0–1 (dat 5, 6, нагрузка С1):
а – в правом блоке; б – в левом блоке (построены авторами).Рис. 7. Диаграммы фибровых напряжений растянутой зоны ПС 1–2 (dat 3, 4, нагрузка С4):
а – в правом блоке; б – в левом блоке (построены авторами).

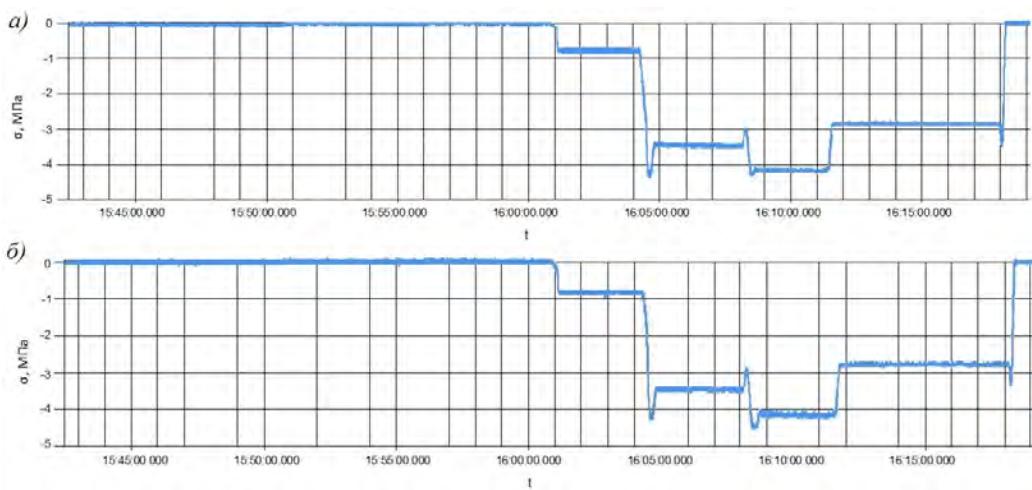


Рис. 8. Диаграммы фибровых напряжений растянутой зоны ПС 2–3 (dat 1, 2, нагрузка С6):
а – в правом блоке; б – в левом блоке (построены авторами).

Таблица 2

Фибровые напряжения от временных нагрузок сцепа «тепловоз ТЭМ-18 и вагон хоппер-дозатор» и сплотовки «из трёх тепловозов ТЭМ-18» (статические испытания)

Железнодорожный путепровод 11,5+23,6+11,5 м на 96 км ПК5–20						
Схема расстановки временной нагрузки	ПС 0–1		ПС 1–2		ПС 2–3	
	Правый блок dat 1	Левый блок dat 2	Правый блок dat 3	Левый блок dat 4	Правый блок dat 5	Левый блок dat 6
	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа	σ, МПа
Сцеп – тепловоз ТЭМ-18 и вагон хоппер-дозатор						
C1	3,71	3,90	0	0	0	0
C2	3,99	4,12	1,94	1,61	0	0
C3	1,54	1,59	3,37	2,97	0	0
C4	0	0	3,42	3,73	0,52	0,45
C5	0	0	1,63	1,75	3,70	3,46
C6	0	0	0	0	3,88	3,61
Сплотовка – из 3-х тепловозов ТЭМ-18						
L1	3,12	3,05	0,02	0,03	0,00	0,10
L2	0,07	0,08	0,03	0,04	3,02	3,06
L3	0,15	0,03	3,38	3,18	4,19	4,11
L4	4,12	4,15	3,26	3,19	3,99	3,96
L5	2,34	2,50	2,98	2,91	2,86	2,82

В качестве примера приведены диаграммы измеренных фибровых напряжений в растянутой зоне (нижняя часть ребра) в средней части железобетонных пролётных строений железнодорожного путепровода (рис. 6–8), возникающие при воздействии временных нагрузок от сцепа «тепловоз ТЭМ-18 и вагон хоппер-дозатор» (статические испытания, табл. 2). Подробное описание технической части (первичные и вто-

ричные преобразователи) и программного обеспечения используемого аппаратно-программного комплекса «ТЕНЗО» излагается в работе [11, с. 275–279].

Расчётные данные согласуются с экспериментальными данными, полученными на различных объектах на магистральных линиях АО «НК «КТЖ», приведённых в работах [12, с. 163–166; 13, с. 43–47; 14, с. 38–57; 15, с. 64–67; 16, с. 275–279].





ВЫВОДЫ

Из сравнения напряжений, полученных расчётным путём с применением метода конечных элементов, и напряжений, полученных при натурных испытаниях балочных железобетонных пролётных строений путепровода следует, что описание напряжённо-деформированного состояния пролётных строений железнодорожного путепровода вполне адекватно отражает воздействие нагрузки на пролётные строения и отклика конструкции на это воздействие. Полученные напряжения в балочных железобетонных пролётных строениях путепровода, можно использовать в расчётах подобных (типовых) балочных пролётных строений на сейсмостойкость и динамических расчётах устойчивости при увеличении эксплуатационной нагрузки на железнодорожные мосты.

Для определения фактического технического состояния конструкций и наиболее эффективной оценки надёжности конструкций мостов и установления соответствия между расчётной схемой и действительной работой искусственных сооружений необходимо осуществлять контроль изменения напряжённо-деформированного состояния искусственных сооружений под эксплуатационными нагрузками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nam, Jeong; Yoon, Soon; Moon, Hwan; Ok, Dong; Hong, Soon. Development of FRP-Concrete Composite Bridge Deck in Korea. Key Engineering Materials, January 2006, Vol. 326–328, pp. 1705–1708. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.326–328.1705>.
2. MacGregor, J. G. Safety and limit states design for reinforced concrete. Canadian Journal of Civil Engineering, December 1976, Vol. 3, Iss. 4, pp. 484–513. DOI: <https://doi.org/10.1139/176-055>.
3. Winter, G. Safety and Serviceability Provisions in the ACI Building Code. Concrete Design: U.S. and European Practices, American Concrete Institute, Detroit, 1979, Vol. 59, pp. 35–49. [Электронный ресурс]: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportalm/details/id/17764>. Доступ 14.12.2019.
4. Gibson, R. F. Modal vibration response measurements for characterization of composite materials and structures. Composites Science and Technology, 2000, Vol. 60, Iss. 15, pp. 2769–2780. [Электронный ресурс]: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/modal-vibration-response-measurements-for-characterization-of-arS6uW7WxP>. Доступ 14.12.2019.
5. Eamon, C.; Nowak, A. S. Effects of Edge-Stiffening Elements and Diaphragms on Bridge Resistance and Load Distribution. Journal of Bridge Engineering, September 2002, Vol. 7, Iss. 5, pp. 258–266. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2002)7:5(258).
6. Deniaud, C., Cheng, J. J. R. Reinforced Concrete T-Beams Strengthened in Shear with Fiber Reinforced Polymer Sheets. Journal of Composites for Construction. 2003, Vol. 7, Iss. 4, pp. 302–310. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2003)7:4(302).
7. Васильев А. И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов // Труды ЦНИИС. – 2002. – Вып. 208. – С. 101–120.
8. Квашнин М. Я., Буромбаев С. А., Бондарь И. С., Жангабылова А. М. Влияние вибродинамического воздействия локомотивов с высокими осевыми нагрузками на ж.д. путь и балочные ж.б. пролётные строения мостов // Труды XII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Чтения, посвящённые памяти профессора Г. М. Шахунянца. – М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – С. 163–166.
9. Бондарь И. С. Влияние подвижной нагрузки на деформации пролётного строения железнодорожного моста // Сб. трудов с Международным участием. Вып. 7 «Инженерные сооружения на транспорте». – М.: МГУПС (МИИТ), 2016. – С. 64–67.
10. Квашнин М. Я., Бондарь И. С., Рыстыголов П. А., Кыстаубаев С. Б. Экспериментальные исследования конструкций железнодорожных мостов, усиливаемых композитным материалом // Труды XVI научно-практ. конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МГУПС (МИИТ), 2015. – Т II. – С. 43–47.
11. Квашнин М. Я., Бондарь И. С., Жангабылова А. М. Мониторинг воздействия подвижного состава на балочные пролётные строения железнодорожных мостов // Материалы Международной научно-практ. конференции «Транспортная наука и инновации», посвящённой посланию Президента РК Н. А. Назарбаева «Нұрлы жол – путь в будущее». – Алматы: КазАТК, 2015. – С. 275–279.
12. Бондарь И. С., Буромбаев С. А., Алдекеева Д. Т. Расчёт напряжённо-деформированного состояния железнодорожных путепроводов // Мир транспорта. – 2019. – № 1. – С. 58–69.
13. Бондарь И. С. Измерение деформаций балочных пролётных строений мостов // Мир транспорта. – 2016. – № 6. – С. 36–51.
14. Буромбаев С. А., Квашнин М. Я. Диагностика и мониторинг искусственных сооружений магистральных линий АО «НК «ҚТЖ» // Вестник КазАТК. – 2016. – № 3. – С. 38–57.
15. Бондарь И. С., Квашнин М. Я., Алдекеева Д. Т., Зайцев А. А. Инструментальная диагностика металлических железнодорожных мостов // XV Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути». Чтения, посвящённые памяти профессора Г. М. Шахунянца. – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – С. 259–265.
16. Бондарь И. С., Алдекеева Д. Т., Нурахова А. К. Напряжённо-деформированное состояние железнодорожного путепровода под эксплуатационными нагрузками // Сб. научных трудов VII Международной научно-практ. конференции «Автомобильные дороги и транспортная техника: проблемы и перспективы развития» КазАДИ им. Л. Б. Гончарова. – Алматы, 2019. – С. 19–24.



Stress-Strain State of Reinforced Concrete Overpass under Load



Ivan S. BONDAR



Mikhail Ya. KVASHNIN



Dinara T. ALDEKEEVA

Bondar, Ivan S., Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (KazATC), Almaty, Kazakhstan.

Kvashnin, Mikhail Ya., Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (KazATC), Almaty, Kazakhstan.

Aldekeeva, Dinara T., Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (KazATC), Almaty, Kazakhstan.*

ABSTRACT

Beam spans are the most vulnerable elements of the bridge system, as they are exposed to direct effects of mobile load, environmental and climatic factors (temperature and humidity effects, including freezing and thawing, shrinkage, humidity, etc.). Appearance of defects of the structure is inevitable; therefore civil engineers face a topical problem of strengthening of damaged structures of bridges. The article discusses some results of calculated values and instrumental measurements of stress-strain state

(SSS) of reinforced concrete beam span structures of railway overpass under operational load caused by different rolling stock units. The objective of this study is to control stress-strain state of railway overpass for identification and elimination of defects at early stages. The calculation results obtained, carried out by finite-element method (FEM) in the program ABAQUS/Standard correlate well with experimental data. These results can be used for monitoring the state of artificial structures on main lines of JSC NC KTZ.

Keywords: railway, overpass, beam spans, stress-strain state.

*Information about the authors:

Bondar, Ivan S. – Ph.D. (Eng), Senior Lecturer at the Department of Transport construction of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (KazATC), Almaty, Kazakhstan, ivan_sergeevich_08@mail.ru.

Kvashnin, Mikhail Ya. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Transport construction of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (KazATC), Almaty, Kazakhstan, kvashnin_mj55@mail.ru.

Aldekeeva, Dinara T. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Natural sciences of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaev (KazATC), Almaty, Kazakhstan, aldekeeva69@mail.ru.

Article received 08.11.2019, revised 14.12.2019, accepted 25.01.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 68.

Abridge bed is the main load-bearing element that transfers loads transversely to supports, such as a longitudinal beam, transverse beams and stringers. Since the reinforced concrete beams of the bridge are directly affected by the moving (transport) load, as well as the natural and climatic factors – freezing and thawing, shrinkage and humidity, they are one of the most vulnerable elements in bridges, where damage (defects), such as cracks, chips of the protective layer of concrete and corrosion of steel reinforcement most often occur. In addition, constant (real) loads from overloaded vehicles, which are often found on the main railway lines of Kazakhstan and Russia, lead to serious fatigue damage to load-bearing reinforced concrete beams. Due to such situations, the average life of reinforced concrete beam spans of railway bridges is sharply reduced, and the cost of maintaining and technical services of bridges is constantly increasing.

At the end of the last century, several countries, such as Germany, the USA, Canada, Japan and Korea realized that the service life of reinforced concrete beams is crucial for the entire bridge, and studies of the stress-strain state of beam spans of reinforced concrete bridges began. The appearance of defects (chips and cracks in concrete, corrosion of reinforcement) of bridge structures during operation is inevitable, therefore, for civil engineers, the issue of strengthening of damaged bridge structures is still relevant [1, pp. 1705–1708; 2, pp. 484–513; 3, pp. 35–49].

In a number of countries, it is customary to monitor artificial structures, timely eliminate defects (damage) in reinforced concrete beam span structures of bridges, and

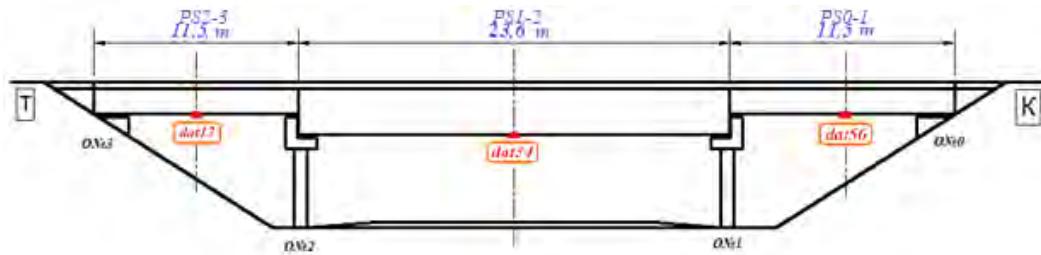
reinforce their structural elements with carbon fiber or composite materials [4, pp. 2769–780; 5, pp. 258–266; 6, pp. 302–310].

The following are the calculated and experimental results of determining the stress state of reinforced concrete beam spans of a railway overpass (Pic. 1) under the influence of known loads (a short train consisting of coupled TEM-18 locomotive and hopper-batcher car for crushed stone transportation, model 19–9870; triple-heading consisting of 3 diesel locomotives TEM-18), during static tests of the overpass.

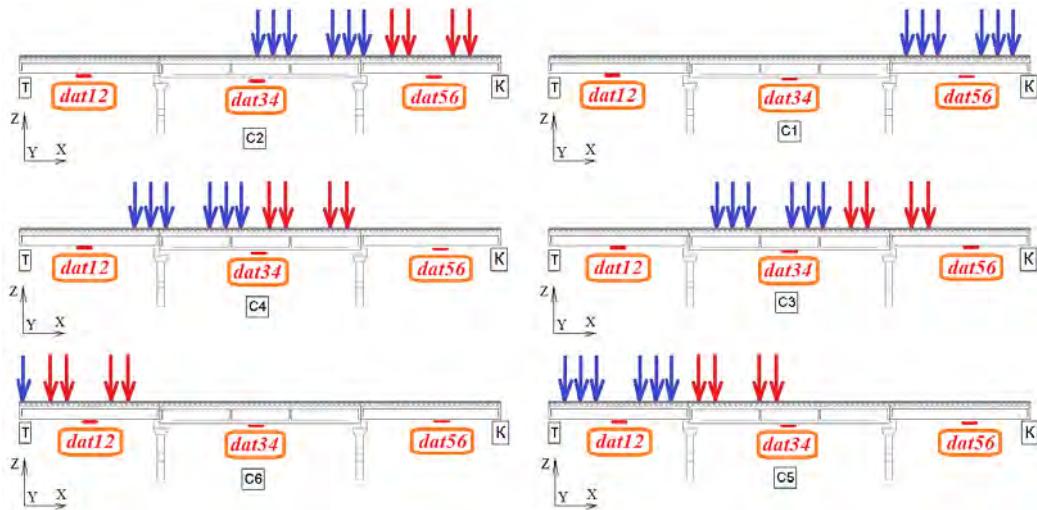
Static analysis results

The calculations of the stress state of the elements of the structure for given combinations of loads (design cases) were made [7, pp. 101–120].

In total, 12 design cases were considered: case 1 – P0. «Tension of reinforcement of blocks 23,6 m + dead weight»; case 2 – C1. «P0 + train (the middle of the locomotive is over the middle of PS0–1)»; case 3 – C2. «P0 + train (the middle of the car is above the middle of the PS0–1)»; case 4 – C3. «P0 + train (the middle of the car is above the support No. 1)»; case 5 – C4. «P0 + train (the middle of the train is over the middle of PS1–2)»; Case 6 – C5. «P0 + train (the middle of the train is above the support No. 2)»; case 7 – C6. «P0 + train (the middle of the car is above the middle of PS2–3)» (Pics. 2, 3); case 8 – L1. «P0 + triple-heading (the middle of the locomotive No. 1 is above the middle of PS2–3)»; case 9 – L2. «P0 + triple-heading (the middle of the locomotive No. 2 is above the support No. 2)»; case 10 – L3. «P0 + triple-heading (5th axis of the 2nd locomotive is above the middle of PS1–2)»; case 11 – L4. «P0 + triple-heading (2nd axis of the 3rd locomotive is above the middle of



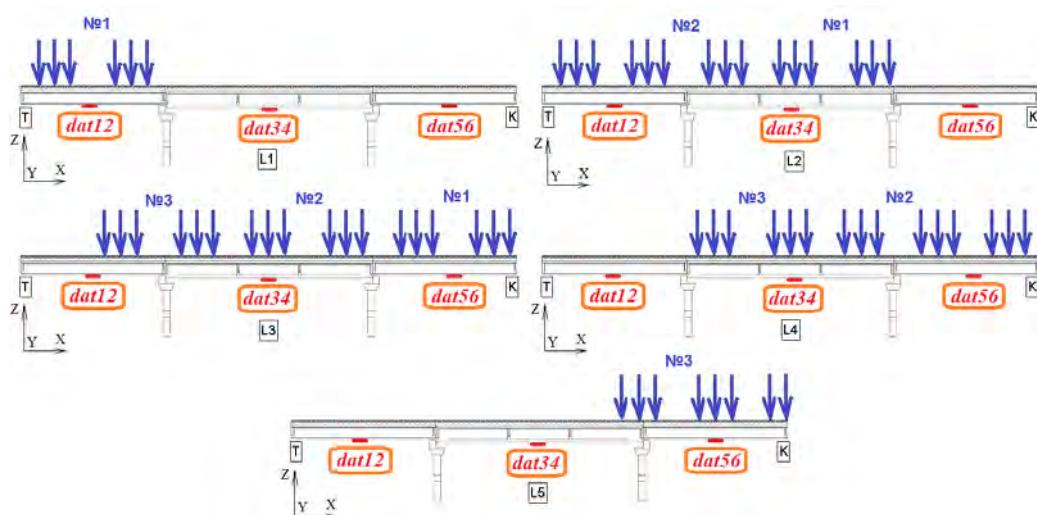
Pic. 1. Layout of resistance strain gages on span structures of railway reinforced concrete overpass, at 97 km PK5+20, PS0-1, PS1-2, PS2-3 – span structures of the overpass; dat 1, 2, 3, 4, 5, 6 – resistance strain gages FLM-60-11; O No. 1, O No. 2 – frame, two-rack intermediate supports; O No. 0, O No. 3 – foundations of talus type (authors' picture).



**Pic. 2. Schemes of temporal loads from the train «locomotive–car» (C1–C6),
dat 1, 2, 3, 4, 5, 6 – resistance strain gages installed on span structures of the overpass;
K, T – stations before and after the overpass (authors' picture).**



Pic. 3. Photo of installation of the train «locomotive–car» on a span structure 0–1 (load C1) (authors' photo).



Pic. 4. Schemes of temporal loads from the triple-heading (L1–L5), dat 1, 2, 3, 4, 5, 6 – tensile strain gages installed on span structures of the overpass; K, T – stations before and after the overpass (authors' picture).



Pic. 5. Authors' photo of installation of the triple-heading on a span structure 1-2 (load L4).

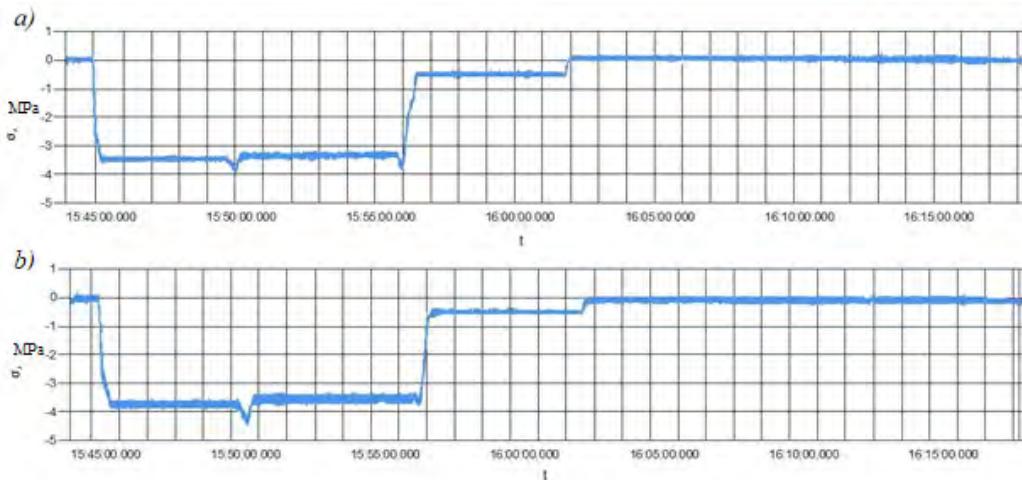
PS1–2»; case 12 – L5. «P0 + triple-heading (2nd axis of the 3rd locomotive is above the middle of PS0–1» (Pics. 4, 5).

The calculation model of the artificial structure under consideration is compiled in the program ABAQUS/Standard. The calculation results are presented in the form of

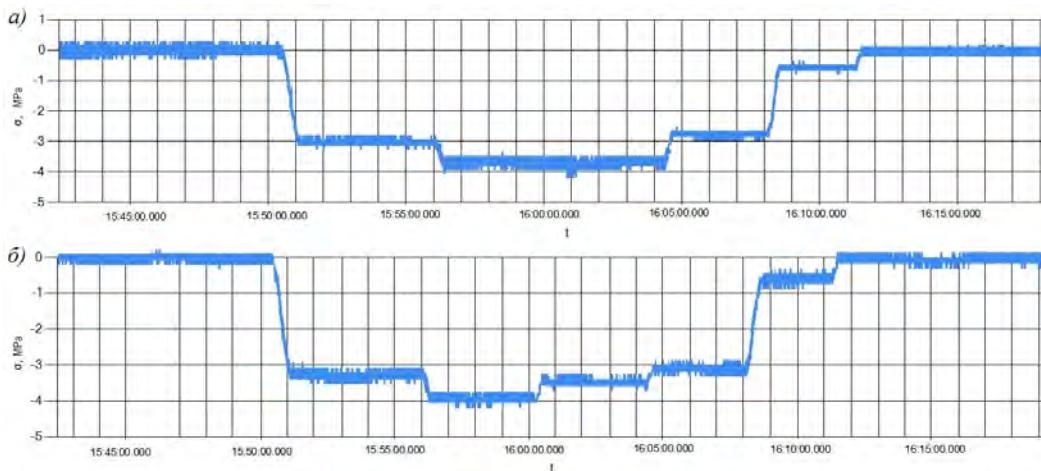
strain values at control points obtained using virtual sensors (ductile rod elements with an initial length of 60 mm with linearly elastic properties of steel) mounted on concrete overpass structures. Control points were selected on the lower belt in the middle sections of the span structures of the structure:

Table 1
Calculation values of tensions in the control points of span structures of the overpass

Calculation case	Tension, MPa			Increase of tension from the temporal loading, MPa		
	dat12	dat34	dat56	dat12	dat34	dat56
S _a	0,00	-22,88	0,00	–	–	–
P0	3,17	-17,98	3,14	–	–	–
Train of diesel locomotive TEM-18 and hopper-batcher car						
C1	3,17	-17,98	7,75	0,00	0,00	4,61
C2	3,17	-14,65	6,34	0,00	3,33	3,21
C3	3,17	-14,01	6,57	0,00	3,97	3,43
C4	4,54	-14,10	3,14	1,37	3,88	0,00
C5	8,59	-14,76	3,14	5,41	3,22	0,00
C6	8,56	-17,16	3,14	5,39	0,82	0,00
Triple-heading: locomotives TEM-18						
L1	6,40	-17,98	3,14	3,23	0,00	0,00
L2	3,17	-17,98	7,41	0,00	0,00	4,27
L3	3,17	-14,09	8,61	0,00	3,89	5,47
L4	8,53	-14,25	7,35	5,35	3,73	4,21
L5	6,27	-14,50	6,16	3,10	3,48	3,02



**Pic. 6. Diagrams of fibre tensions of the stretched zone PS0-1 (dat 5, 6, load C1):
a – in the right block; b – in the left block (authors' picture).**



**Pic. 7. Diagrams of fibre tensions of the stretched zone PS1-2 (dat 3, 4, load C4):
c – in the right block; b – in the left block.**

«dat 1, 2» – sensors in the middle of the span structure PS0–1; «dat 3, 4» – sensors in the middle of the span structure PS1–2; «dat 5, 6» – sensors in the middle of the span structure PS2–3 (where PS0–1 – span structure 11,5 m, from the side of the station K; PS1–2 – span structure 23,6 m; PS2–3 – span structure 11,5 m from the side of the station T).

The results of calculations of structural elements at given loads (C1–C6 and L1–L5) are presented in the form of stress distributions in the reinforcement and concrete of blocks of the span structures of the overpass for the design case P0 and in the form of voltage values at control points and virtual sensors for all considered design cases, S_a – tension of the reinforcement (Table 1). The data obtained by

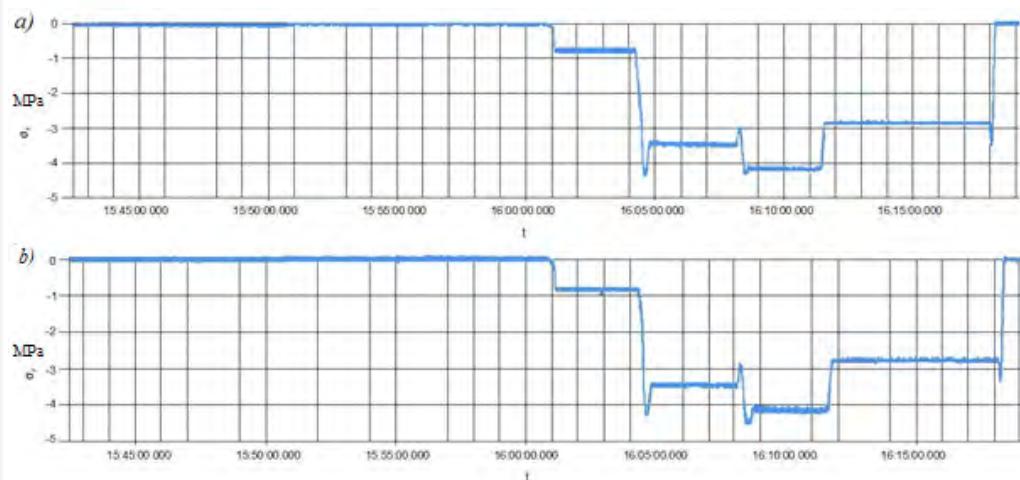
the calculation are consistent with those obtained experimentally by the authors [8, pp. 163–166; 6, pp. 64–67].

Results of the experimentally obtained data

Model tests of single-gauge railway overpass through a motorway in a productive zone, were conducted in spring of 2018, through a strain-gage hardware-software complex (TPAK) [10, pp. 43–47]. An overpass is built in 1988 according to the scheme: 11,5+23,6+11,5 m on 96th km of PK5–20 of railway line Kulsary–Tengiz, from collapsible reinforce-concrete constructions.

Resistance strain gages (dat 1, 2, 3, 4, 5, 6) are installed on every block of span in the middle part (odd number on right blocks, even on the left blocks), protecting of glued on





**Pic. 8. Diagrams of fibre tensions of the stretched zone of PS2-3 (dat 1, 2, load C6):
a – in the right block; b – in the left block.**

resistance strain gages is similarly produced from external influences of environment with the purpose of further monitoring during 8–10.

As an example, the diagrams of the measured fibre stresses in the stretched zone (lower part of the edge) in the middle part of the reinforced

concrete span structures of the railway overpass (Pics. 6–8), arising under the influence of temporary loads from the train «TEM-18 locomotive and hopper-batcher car» (Static tests, Table 2) are shown. A detailed description of the technical part (primary and secondary converters) and the software of the used

Table 2
Fibre tensions from temporal loads from the train «diesel locomotive TEM-18 and hopper-batcher car» and the «triple-heading consisting of 3 diesel locomotives TEM-18» (static tests)

Railway overpass 11,5+23,6+11,5 m on the 96 th km of PK5–20						
Scheme of arrangement of temporal load	PS0–1		PS1–2		PS2–3	
	Right block dat 1	Left block dat 2	Right block dat 3	Left block dat 4	Right block dat 5	Left block dat 6
	σ , MPa	σ , MPa	σ , MPa	σ , MPa	σ , MPa	σ , MPa
Train of a diesel locomotive TEM-18 and hopper-batcher car						
C1	3,71	3,90	0	0	0	0
C2	3,99	4,12	1,94	1,61	0	0
C3	1,54	1,59	3,37	2,97	0	0
C4	0	0	3,42	3,73	0,52	0,45
C5	0	0	1,63	1,75	3,70	3,46
C6	0	0	0	0	3,88	3,61
Triple-heading consisting of 3 diesel locomotives TEM-18						
L1	3,12	3,05	0,02	0,03	0,00	0,10
L2	0,07	0,08	0,03	0,04	3,02	3,06
L3	0,15	0,03	3,38	3,18	4,19	4,11
L4	4,12	4,15	3,26	3,19	3,99	3,96
L5	2,34	2,50	2,98	2,91	2,86	2,82

TENZO hardware-software complex is described in [11, pp. 275–279].

The calculated data are consistent with experimental data obtained at various facilities on the main lines of JSC NC KTZ, given in [12, pp. 163–166; 13, pp. 43–47; 14, pp. 38–57; 15, pp. 64–67; 16, pp. 275–279].

Conclusions

From a comparison of the stresses obtained by calculation using the finite element method and the stresses obtained during field tests of beam reinforced concrete spans of the overpass, it follows that the description of the stress-strain state of the spans of the railway overpass quite adequately reflects the effect of the load on the spans and the response of the structure to this impact. The obtained stresses in the beam reinforced concrete span structures of the overpass can be used in the calculations of similar (typical) beam span structures for seismic resistance and dynamic stability calculations with an increase in the operational load on the railway bridges.

In order to determine the actual technical state of structures and the most effective assessment of reliability of bridge structures and to establish correspondence between the design scheme and the actual operation of artificial structures, it is necessary to monitor changes in the stress-strain state of artificial structures under operational loads.

REFERENCES

1. Nam, Jeong; Yoon, Soon; Moon, Hwan; Ok, Dong; Hong, Soon. Development of FRP-Concrete Composite Bridge Deck in Korea. *Key Engineering Materials*, January 2006, Vol. 326–328, pp. 1705–1708. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.326–328.1705>.
2. MacGregor, J. G. Safety and limit states design for reinforced concrete. *Canadian Journal of Civil Engineering*, December 1976, Vol. 3, Iss. 4, pp. 484–513. DOI: <https://doi.org/10.1139/l76-055>.
3. Winter, G. Safety and Serviceability Provisions in the ACI Building Code. Concrete Design: U.S. and European Practices, American Concrete Institute, Detroit, 1979, Vol. 59, pp. 35–49. [Electronic resource]: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/17764>. Last accessed 14.12.2019.
4. Gibson, R. F. Modal vibration response measurements for characterization of composite materials and structures. *Composites Science and Technology*, 2000, Vol. 60, Iss. 15, pp. 2769–2780. [Electronic resource]: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/modal-vibration-response-measurements-for-characterization-of-arS6uW7WxP>. Last accessed 14.12.2019.
5. Eamon, C., Nowak, A. S. Effects of Edge-Stiffening Elements and Diaphragms on Bridge Resistance and Load Distribution. *Journal of Bridge Engineering*, September 2002, Vol. 7, Iss. 5, pp. 258–266. DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0702(2002)7:5(258).
6. Deniaud, C., Cheng, J. J. R. Reinforced Concrete T-Beams Strengthened in Shear with Fiber Reinforced Polymer Sheets. *Journal of Composites for Construction*, 2003, Vol. 7, Iss. 4, pp. 302–310. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2003)7:4(302).
7. Vasiliev, A. I. Probabilistic assessment of the residual resource of the physical service life of reinforced concrete bridges. [Veroiatnostnaya otsenka ostatochnogo resursa fizicheskogo sroka sluzhby zhelezobetonnykh mostov]. *Trudy TsNIIS*, 2002, Iss. 208, pp. 101–120.
8. Kvashnin, M. Ya., Burombaev, S. A., Bondar, I. S., Zhangabylova, A. M. Influence of the vibrodynamic effects of locomotives with high axial loads on the railway track and beam reinforced concrete bridge spans [Vliyanie vibrodynamiceskogo vozdeistviya lokomotivov s vysokimi osevymi nagruzkami na zh.d. put' i balochnie zh.b. proletniy stroeniya mostov]. Proceedings of 12th International Scientific and Technical Conference «Modern problems of designing, building and operating a railway track». Readings dedicated to the memory of Professor G. M. Shakhunyants. Moscow, MGUPS (MIIT) publ., 2015, pp. 163–166.
9. Bondar, I. S. Influence of mobile load on deformations of the span structure of a railway bridge [Vliyanie podvizhnoi nagruzki na deformatsii proletnogo stroeniya zhelezodorozhnykh mostov]. Collection of works with international participation. Vol. 7 «Engineering facilities in transport». Moscow, MGUPS (MIIT), 2016, pp. 64–67.
10. Kvashnin, M. Ya., Bondar, I. S., Rystygulov, P. A., Kystabaev, S. B. Experimental studies of construction of railway bridges reinforced with composite material [Ekspertimentalnie issledovaniya konstruktsii zhelezodorozhnykh mostov, usilivaemykh kompozitnym materialom]. Proceedings of 16th scientific and practical conference «Traffic Safety». Moscow, MGUPS (MIIT) publ., 2015, Vol. 2, pp. 43–47.
11. Kvashnin, M. Ya., Bondar, I. S., Zhangabylova, A. M. Monitoring the effects of rolling stock on beam spans of railway bridges [Monitoring vozdeistviya podvizhnogo sostova na balochnie proletnie stroeniya zhelezodorozhnykh mostov]. Proceedings of International scientific and practical conference «Transport Science and Innovations», dedicated to the message of the President of the Republic of Kazakhstan N. A. Nazarbayev «Nurly Zhol – the path to the future». Almaty, KazATC, 2015, pp. 275–279.
12. Bondar, I. S., Burombaev, S. A., Aldekeeva, D. T. Calculation of Stress-Strain State of Overpasses. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 1, pp. 58–69.
13. Bondar, I. S. Measurement of Deformation of Beam Spans of Bridges. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 6, pp. 36–51.
14. Burombaev, S. A., Kvashnin, M. Ya. Diagnostics and monitoring of artificial structures of main lines of JSC NC KTZ [Diagnostika i monitoring iskusstvennykh sooruzhenii magistralnykh linii AO NK KTZ]. *Vestnik KazATK*, 2016, Iss. 3, pp. 38–57.
15. Bondar, I. S., Kvashnin, M. Ya., Aldekeeva, D. T., Zaitsev, A. A. Instrumental diagnostics of metal railway bridges [Instrumental'naya diagnostika metallicheskikh zhelezodorozhnykh mostov]. 15th International Scientific and Technical Conference «Modern Problems of Designing, Building and Operation of a Railway Track». Readings dedicated to the memory of Professor G. M. Shakhunyants. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2018, pp. 259–265.
16. Bondar, I. S. Aldekeeva, D. T., Nurakhova, A. K. The stress-strain state of a railway overpass under operational loads [Napryazheno-deformirovannoe sostoyanie zhelezodorozhnyogo puteprovoda pod ekspluatatsionnymi nagruzkami]. Proceedings of 7th International scientific and practical conference «Roads and transport equipment: problems and development prospects» KazADI n.a. L. B. Goncharov. Almaty, 2019, pp. 19–24.





Факторы, оказывающие влияние на развитие продольных профильных деформаций земляного полотна в криолитозоне



Владимир ШАПРАН



Зульфия ФАЗИЛОВА

Шапран Владимир Владимирович – ОАО «РЖД», Санкт-Петербург, Россия.
Фазилова Зульфия Тельмановна – Российский университет транспорта, Москва, Россия*.

В перспективе до 2025 года на полигоне Северной железной дороги прогнозируется увеличение объёмов работы на 28,4 %, что связано со строительством Северного широтного хода. При этом значительная часть Северной железной дороги характеризуется сложными природно-климатическими условиями: вечной мерзлотой, полигонально-жильными льдами, заторфованностью территории, резкими перепадами температур, значительными объёмами осадков в виде снега. В условиях планируемого роста грузона-пряжённости диагностика земляного полотна в зоне распространения грунтов со слабой несущей способностью на фоне глобального изменения климата носит ключевой характер.

Статья посвящена вопросам обследования земляного полотна, расположенного в криолитозоне. Результаты диагностики состояния железнодорожного пути позволяют прогнозировать состояние объектов железнодорожной инфраструктуры, производить категорирование

просадок земляного полотна по степени опасности и разрабатывать мероприятия по его стабилизации.

Целью работы является изучение факторов, влияющих на процессы деградации земляного полотна, расположенного в криолитозоне.

Методы работы основаны на натурных обследованиях «больных» мест земляного полотна и статистических формах анализа продольных профильных деформаций (просадок) пути.

Результатом проведённой работы является исследование влияния ряда факторов, на развитие деформаций земляного полотна, расположенного в криолитозоне. В дальнейшем планируется на основе результатов диагностики состояния железнодорожного пути производить прогнозирование многолетнемёрзлого состояния объектов железнодорожной инфраструктуры, производить категорирование просадок земляного полотна по степени опасности и разрабатывать мероприятия по его стабилизации.

Ключевые слова: железная дорога, криолитозона, моренный рельеф, термокарст, сезонное протаивание грунтов, супфозия грунтов, профильные неровности, радарограмма, равноупругость пути.

*Информация об авторах:

Шапран Владимир Владимирович – инженер 1-й категории информационно-аналитического отдела Санкт-Петербургского центра диагностики и мониторинга устройств инфраструктуры – Октябрьской дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Октябрьской железной дороги – филиала открытого акционерного общества «Российские железные дороги», Санкт-Петербург, Россия, shaprandi@gmail.com.

Фазилова Зульфия Тельмановна – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортного строительства Российского университета транспорта, Москва, Россия, fazil_1905@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 12.11.2019, принята к публикации 21.02.2020.

For the English text of the article please see p. 92.

В перспективе до 2025 года на полигоне Северной железной дороги прогнозируется увеличение объёмов грузоперевозок на 28,4 %. При этом наибольшее увеличение перевозок ожидается на участках с теплотягой – 165,5 % к имеющимся на сегодняшний день объёмам, что связано со строительством Северного широтного хода (рис. 1). В условиях планируемого роста грузонапряжённости диагностика земляного полотна в зоне распространения грунтов со слабой несущей способностью на фоне глобального изменения климата носит ключевой характер.

Воркутинский промышленный район расположен на окраине вечномерзлого массива Евразии и относится к области распространения вечномерзлых грунтов.

В результате воздействия различных факторов как природного, так и техногенного характера при эксплуатации линейных сооружений (земляного полотна), возникают продольные профильные деформации (просадки) пути, которые способствуют дополнительному развитию продольных и поперечных сил, действующих как на ходовую часть подвижного состава, так и на железнодорожный путь [1–5].

Целью работы является изучение факторов, влияющих на процессы деградации земляного полотна, расположенного в криолитозоне.

Методы работы основаны на натурных обследованиях «больных» мест земляного полотна и статистических формах анализа

продольных профильных деформаций (просадок) пути.

На настоящий момент значительное внимание уделяется техническому состоянию земляного полотна, качеству проводимых натурных осмотров и анализу итогов работы диагностических средств.

Однако, несмотря на множество статистических форм анализа, каждое место деформаций уникально по набору и степени влияния различных факторов, которые условно можно разделить на явные и неявные.

Так, при проведении натурных обследований мест продольных профильных деформаций в качестве явных факторов принято считать: обводнение основания земляного полотна по причине отсутствия стока поверхностных вод, завышенная крутизна откосов земляного полотна и отсутствие его обочины, прохождение участков, имеющих переменную жёсткость (например, подходы к мостам).

К неявным факторам можно отнести:

- особенности рельефа местности, его складочность, экспозицию и крутизну склонов, поперечный уклон местности, наличие несквозных таликов;
- равнouпругость пути (различная мощность щебёночного, старого щебёночного, асбестового и песчаного балластов, образовавшаяся при проведении ремонтов и выправочных работ);
- наличие скоплений поверхностных вод, расположенных в верховой части насыпи, возведённой на косогоре (супфозия грунтов тела насыпи);

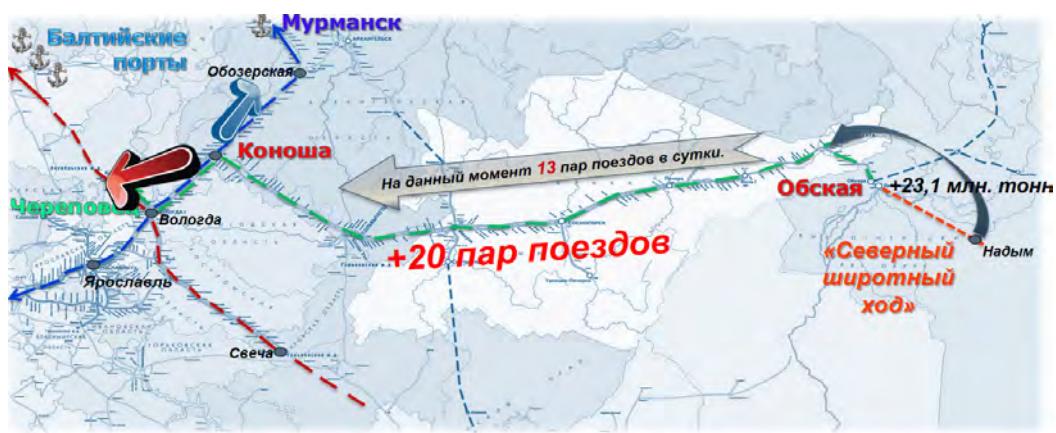


Рис. 1. Схема развития Северного широтного хода и увеличения поездной нагрузки (из доклада первого заместителя начальника Северной железной дороги на тему «Технология работы локомотивов и локомотивных бригад, развитие инфраструктуры локомотивного комплекса в условиях развития Северного широтного хода и подходов к портам Северо-Западного бассейна», г. Ярославль 31.08.2018 г.).

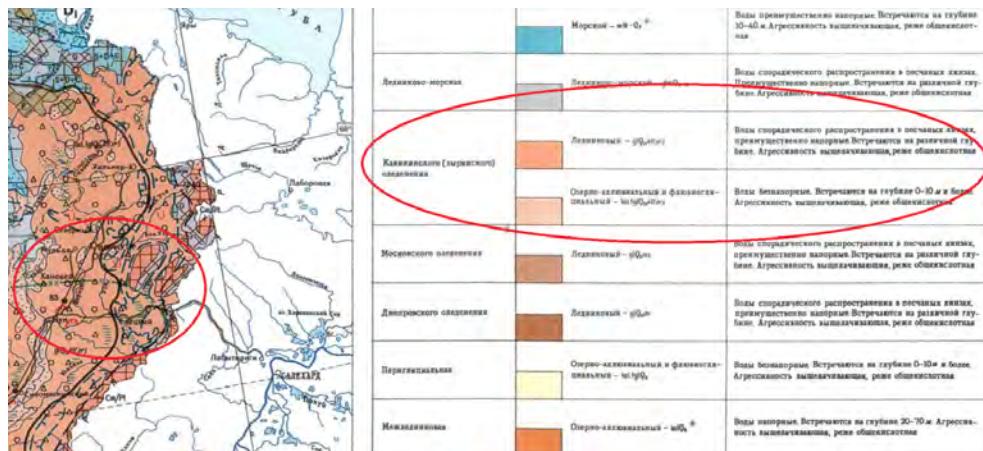


Рис. 2. Фрагмент схематической инженерно-геологической карты Воркутинского района Республики Коми (Схематическая инженерно-геологическая карта Коми АССР и Ненецкого национального округа Архангельской области, автор З. М. Дзениш, Министерство геологии СССР, Ухтинское территориальное геологическое управление, 1966 год).

- нарушение мохового и торфяного покровов и, как следствие, ранимость «мёрзлых» грунтов;
- влажность грунтов, застои воды в различных понижениях рельефа, в том числе в канавах для отвода воды при наличии в них перемычек;
- отепляющее воздействие снежного покрова в различных частных случаях.

Прежде чем рассмотреть влияние неявных факторов на деформативность земляного полотна железнодорожного пути, обратим внимание на геологическую историю севера территории Республики Коми.

Рассматриваемые горные породы относятся к формации Зырянского оледенения (далее – ЗО) [6–8]. Отложения области ЗО представлены широко развитыми ледниками образованием (моренами), а также водно-ледниками (песками, гравием) и озёрно-ледниками (глинами, песками) отложениями, объединёнными в Зырянский надгоризонт верхнего плейстоцена четвертичной системы. Зырянские морены сложены суглинками, содержащими большое количество валунов. В них встречаются осадки с морской микрофауной, захваченные льдом с шельфа Карского моря и прибрежной суши. Мощность морен 30–50 м. В ледниковых отложениях позднезырянского оледенения сохранился реликтовый погребённый лёд.

В приледниковой области ЗО распространены аллювиально-озёрные и озёрные (подпрудные) тонкослоистые ленточные

глины, супеси, пески с растительными остатками.

Гидрогеологическая характеристика воды: для ледникового комплекса – спорадического (единичного, отдельного) распространения в песчаных линзах, преимущественно напорные, встречаются на различной глубине, агрессивность выщелачивающая, реже обще кислотная; для озёрно-аллювиального – воды безнапорные, встречаются на глубине 0–10 м и более, агрессивность выщелачивающая, реже – обще кислотная [6; 9].

Для области ЗО характерен моренный рельеф (холмисто-грядовый, холмисто-западинный), а также рельеф друмлин, представляющий собой вытянутые холмы, состоящие из материала отложенной морены, имеющие размеры 900–2000 м в длину, 180–460 м в ширину и 15–45 м в высоту (рис. 3).

Влияние рельефа. Железнодорожный путь исходя из условий минимальных объёмов земляных работ, как правило, проходит вдоль пойменных участков рек.

Так, на рис. 3 представлен участок железнодорожного пути направления Кеноша–Воркута. Преимущественный уклон местности в сторону пойменной части реки Воркута, где путь проходит по её древним высоким террасам. В соответствии с существующими нормами проектирования водопропускных сооружений, водопропускная труба (на рассматриваемом участке) отсутствует, однако в ре-



Рис. 3. Участок железнодорожного пути, проходящий по друмлинному рельефу (спутниковая фотосъёмка <https://www.google.ru/maps/>).

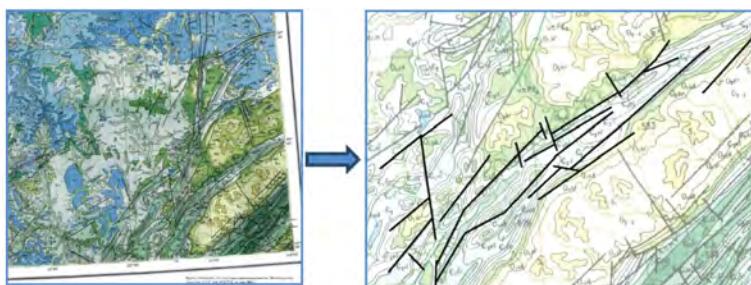


Рис. 4. Фрагмент государственной геологической карты и слой «Линеаменты» в ГИС (ресурс сети Интернет «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» <http://www.geokarta.ru/>).

зультате стока воды, скапливающейся в местах складок друмлинного (частично полигонального) рельефа и развития термокарста, образуются озёра, непосредственно примыкающие к телу насыпи. В результате происходит переувлажнение грунтов основания земляного полотна. При наличии значительного поперечного уклона местности происходит медленная фильтрация воды через тело насыпи (сопровождаемая супфозией грунтов).

Однако не всегда в подобных местах объёмы стока воды достаточны для образования озёр, в большинстве случаев при пересечении железнодорожного пути ложбинами, где земляное полотно представлено высокими насыпями 6–12 и более метров, не происходит визуально различимого скопления воды. Описываемые неровности местности, как правило, сильно застают низкорослой растительностью (ёрником), что оказывает отепляющее влияние на состояние «мёрзлых» пород в данных местах (условно назовём их «линеоменты», рис. 4).

В сочетании со значительной мощностью четвертичных отложений, которые в рассматриваемом районе могут достигать 100 метров, наблюдается развитие несквозных таликов, как следствие, в основании тела высоких насыпей грунты находятся как в талом, так и крайне переувлажнённом состоянии. Это было наглядно подтверждено при обустройстве мест пересечений пути и газопровода в 2010–2011 гг., когда в зимний период у основания насыпи был вскрыт водный горизонт. Значительная часть продольных профильных деформаций, расположенных в рассматриваемом районе, проходит по подобным участкам рельефа.

Равноупругость пути. В ходе эксплуатации железнодорожного пути в местах постоянных деформаций производятся работы по его машинизированным выправкам. В результате длительной эксплуатации и многочисленных «подъёмок» верхняя часть насыпи имеет слоистую структуру, которая снизу вверх представлена: основными грунтами тела насыпи, далее слой старого песчано-гравийного балласта, ста-



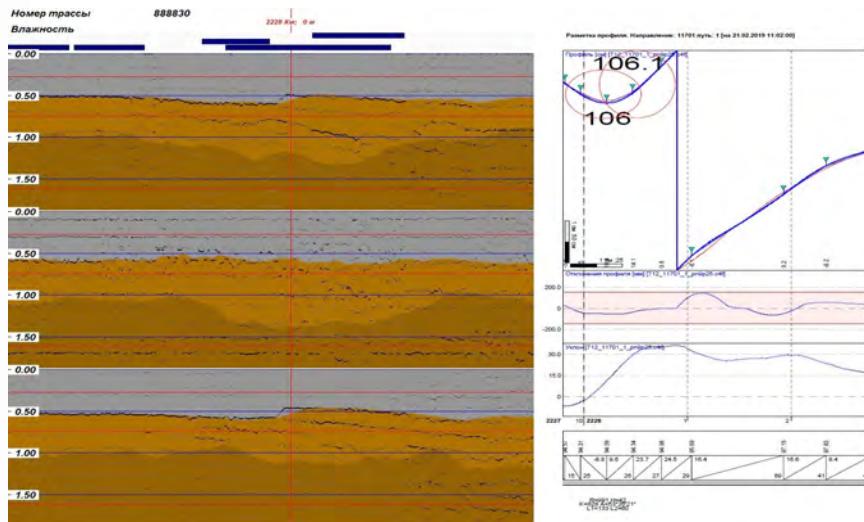


Рис. 5. Радарограмма грунтов, совмешённая с разметкой продольного профиля пути (фронт капитального ремонта 2009 года).

рого асбестового балласта и верхней части слоем чистого балласта. При равномерном срезе бульдозером верхнего слоя загрязнённого щебня (в ходе капитального ремонта пути) обнажается прослойка старого уплотнённого асбеста (который тактильно можно сравнить с асфальтом). При машинизированной выпрямке осадок (лощин) пути слоистая структура нарушается.

Современные путеобследовательские комплексы позволяют производить георадарное зондирование и профилирование деформативных мест земляного полотна. Методики интерпретации данных георадарного профилирования и малоглубинной сейсмомагнитографии, разработанные в ДВГУПС [2–3], позволяют получить многослойную модель глубинного разреза земляного полотна и основания с непрерывным распределением прочностных и деформационных характеристик грунтов [12], выделенными зонами неоднородностей как в поперечных профилях, так и в объёмной постановке.

На рис. 5 представлена радарограмма грунтов (данные ДКС Интеграл) [13], совмешённая с разметкой продольного профиля участка пути (фронт капитального ремонта 2009 года). В левой части рисунка (радиограмме) по оси пути и левой обочине наблюдается местное проникновение старого асбестового балласта в слой основных грунтов тела насыпи. Синие полосы в верхней части георадарного зондирования

указывают на переувлажнённое состояние грунтов. Залегание грунтов в поперечной плоскости неравномерно. На правой части рис. 5 данный участок представлен разметкой продольного профиля (данные ЦНИИ-4) [14], где можно наблюдать продольную профильную деформацию пути протяжённостью 120 м и значением деформации 0,250 м.

К неявным факторам (способствующим возникновению продольных профильных деформаций насыпей, возведённых на косогоре) можно отнести наличие понижений, заполненных водой и расположенных в верховой части насыпи (суффозия грунтов тела насыпи). В связи с этим особое внимание при проведении натурных осмотров насыпи при её расположении на косогоре следует уделять наличию бассейнов водосбора, непосредственно примыкающих к её телу (рис. 6).

В результате образующегося водного рукава происходит суффозия грунтов (вынос мелких частиц грунта), которая может повлечь внезапные деформации земляного полотна, либо оседание одной или обеих рельсовых нитей различной интенсивности [9; 11]. Так, в июне прошлого года на 2195-м километре перегона Сейда–Чум наблюдалось интенсивное оседание правой рельсовой нити (рис. 7), что повлекло за собой ограничение скорости движения поездов: в первые сутки до 25 км/час, а в последующие трое суток – до 40 км/час.



Рис. 6. Данные видеокамеры вагона путеизмерителя ПС067 (из архива данных Воркутинской дистанции пути Северной дирекции инфраструктуры, видеофайл обзорной камеры вагона-путеизмерителя ПС067, июнь 2019 года).

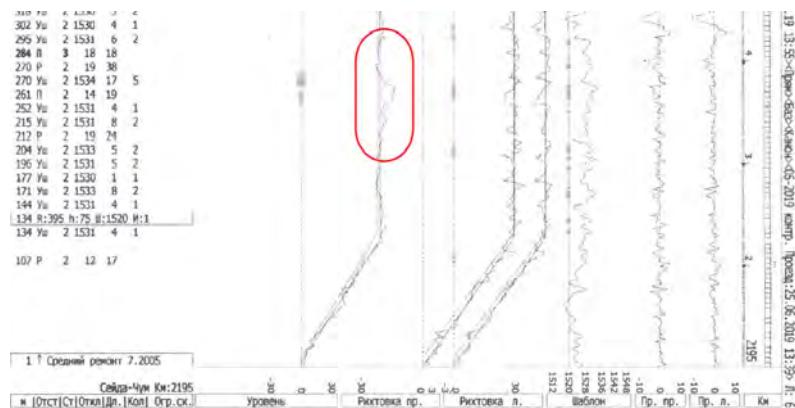


Рис. 7. Графическая диаграмма вагона путеизмерителя (из архива данных Воркутинской дистанции пути Северной дирекции инфраструктуры, графическая диаграмма вагона-путеизмерителя ПС067, июнь 2019 года).

Влага. Коэффициент теплопроводности дисперсных пород возрастает с увеличением их влажности, поскольку теплопроводность воды и льда выше, чем воздуха. Таким образом, глубина промерзания-протаивания пород с увеличением влажности будет уменьшаться [8; 10]. Общая зависимость изменения глубины сезонного промерзания и оттаивания пород от их влажности представлена на рис. 8.

Начальная часть графика показывает некоторое увеличение глубины сезонного промерзания и протаивания с увеличением влажности от 0 до некоторой величины W_{hz} . В этом интервале влага не замерзает при отрицательной температуре, и породы остаются немерзлыми (охлаждёнными). С увеличением влажности выше W_{hz} воз-

растает доля фазовых переходов в общем теплообороте породы, и глубина их промерзания и протаивания уменьшается.

Важное значение в формировании мощности слоя сезонного промерзания (или протаивания) имеет *температурная сдвиг-ка*, которая представляет собой разность температур между поверхностью горных пород и подошвой сезоннопромерзающего (протаивающего) слоя. Температурная сдвигка возникает за счёт увеличения теплопроводности пород при их переходе из талого в мёрзлое состояние; чем больше льдистость мёрзлой породы, тем больше различие коэффициентов теплопроводности. Это явление объясняется тем, что теплопроводность льда примерно в четыре раза выше теплопроводности воды. Отме-

Рис. 8. Изменение глубины сезонного промерзания и оттаивания в зависимости от влажности грунта [по 9, А. В. Бойцов].

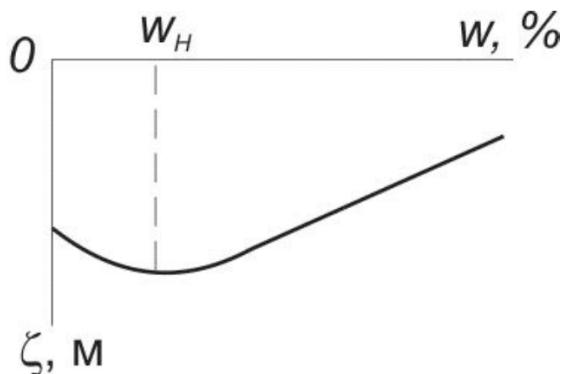
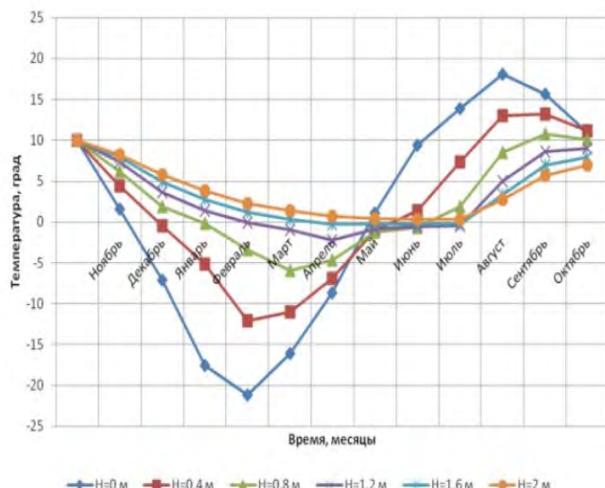


Рис. 9. Распределение температуры по месяцам на глубине $H_1 = 0$ м; $H_2 = 0,4$ м; $H_3 = 0,8$ м; $H_4 = 1,2$ м; $H_5 = 1,6$ м; $H_6 = 2,0$ м [по 10, С. А. Кудрявцев, А. В. Кажарский].



чено также, что чем дисперснее порода (при одинаковой влажности), тем коэффициент теплопроводности меньше и меньше соотношение λ_m / λ_t .

Понижение среднегодовой температуры пород на подошве слоя сезонного промерзания приводит к сокращению глубины сезонного промерзания пород, что подтверждается данными исследования Дальневосточного государственного университета путей сообщения [10], рис. 9.

На пологих дренируемых склонах и водоразделах, в зоне аэрации, сложенной песками мелкой и средней крупности, в начале интенсивного промерзания грунтов количество влаги близко к значению величины максимальной молекулярной влагоёмкости и не превышает 4–5 % от объёма породы. В летний сезон, особенно в период инфильтрации талых снеговых вод, влажность грунтов возрастает в 2–3 раза, в соответствии с этим резко увеличивается коэффициент теплопроводности при неизменной величине фазовых переходов. Это явление приводит, во-первых,

к быстрому промерзанию верхней части геологического разреза и, во-вторых, к формированию *положительной температурной сдвиги* на подошве деятельного слоя [7].

Количественная оценка деформаций пылеватого суглинка тугопластичной консистенции, связанных с морозным пучением и оттаиванием, приведённая в работе [10], показала, что за годичный цикл при уровне грунтовых вод от 1 до 2,5 м от дневной поверхности влажность увеличивается на 68 %, а сопротивление сдвигу глинистого грунта снижается в пять раз.

Мхи и торфяники. Трудно представить большеземельскую тундру без мхов, лишайников и торфяников. Однако их влияние на состояние «мёрзлых» грунтов недооценено. В ходе техногенного воздействия в полосе отвода железнодорожных земель (работа землеройной техники, вездеходные дороги) происходит нарушение растительного покрова. Работы по рекультивации в большинстве случаев не производятся, при разработке траншей различного назна-

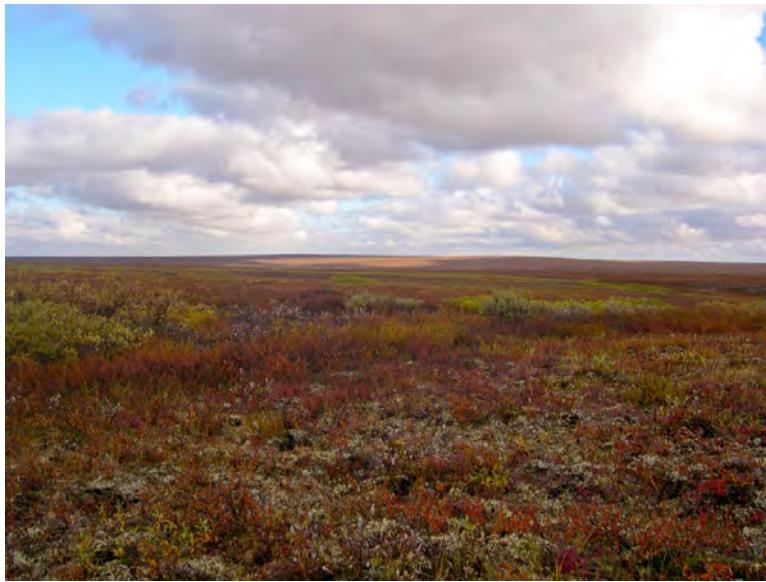


Рис. 10. Моховой покров большеземельской тундры (фото автора В. В. Шапран, 2018 год).

чения их укрепление и утепление их сечения не производятся.

Так мёрзлые толщи и растительность, развиваясь во времени, реагируют на изменение друг друга. Растительные сообщества во многих случаях являются хорошими индикаторами термического и влажностного состояния почвы, и это обстоятельство широко используется при мерзлотной съёмке. Часто уничтожение растительности приводит к повышению летних температур горных пород и глубины сезонного протаивания, что способствует усилению криогенных процессов, в первую очередь термокарста, термоэрозии и заболачиваемости. Нарушение теплового режима работы грунтов основания насыпи приводит к их деформациям.

Среди напочвенных покровов особенно высока охлаждающая роль влажных мхов (рис. 10). Дело в том, что в талом состоянии коэффициент теплопроводности мха в несколько раз меньше, чем мёрзлом. Следовательно, зимой под таким покровом грунты остывают достаточно интенсивно, а летом слабо прогреваются. Моховые покровы мощностью 15–20 см приводят к сокращению глубины сезонного протаивания в 2–3 раза по сравнению с оголённой поверхностью и снижению на несколько градусов среднегодовой температуры пород [6; 9].

Подобным образом ведёт себя торфяной покров. Коэффициент теплопровод-

ности торфа в талом состоянии, как правило, в два раза ниже, чем в мёрзлом. При определённом влажностном режиме торфяника различие теплопроводностей может отличаться в разы. Поэтому даже при среднегодовой положительной температуре на поверхности торфа подстилающие грунты могут находиться в мёрзлом состоянии [9].

Снег. Снежный покров формируется практически повсеместно в районах, где встречаются мёрзлые породы. Влияние его на радиационно-тепловой баланс поверхности весьма велико и многообразно. Прежде всего, снег увеличивает альbedo дневной поверхности, повышая её отражательную способность в несколько раз. Это приводит к уменьшению поглощения лучистой энергии и к понижению средних годовых температур пород. Кроме того, к существенному сокращению приходной части теплового баланса приводят затраты тепла на таяние снега и частичное испарение талых вод. Тающий снег в течение некоторого времени поддерживает на поверхности нулевую температуру, что препятствует прогреванию почвы, несмотря на положительную температуру воздуха. Отсюда следует охлаждающее влияние снежного покрова. В то же время снежный покров, обладающий малой теплопроводностью, как теплоизолятор, предохраняет почву от зимних теплопотерь и выступает



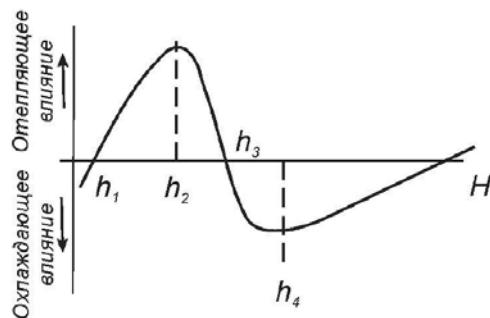


Рис. 11. Изменение влияния снежного покрова на температурный режим подстилающих пород в зависимости от его мощности [по 9, А.В. Бойцов].

как отепляющий фактор. Чем выше теплоизоляционные свойства снега в зимний период, тем больше его отепляющее влияние на почвогрунты. Таким образом, главными факторами, определяющими влияние снежного покрова на температурный режим поверхности, являются высокое альbedo и теплоизолирующая роль снега.

Исследование влияния снежного покрова на температурный режим подстилающих пород в зависимости от его мощности, результаты которого приведены на рис. 11, показало, что если снег имеет малую мощность (до h_1), то преобладает его роль как отражателя солнечных лучей, и такой мало мощный покров оказывает охлаждающее воздействие на грунты. При увеличении мощности снежного покрова от h_1 до h_2 преобладает его отепляющее влияние. При дальнейшем росте мощности снега от h_2 до h_3 большое количество тепла расходуется на его таяние в весенний период, продолжающееся значительное время при положительной температуре воздуха. Поэтому отепляющая роль снежного покрова постепенно снижается, и, в конечном итоге, он становится охлаждающим фактором для горных пород (от h_3 до h_4), что максимально проявляется на участках, где снег не успевает стаять в тёплый период года. Дальнейшее накопление снега приводит к формированию многолетних снежников, температурный режим на подошве которых зависит от различных факторов природной среды, в том числе и от притока глубинного тепла [9; 11].

В целом для регионов, где развиты многолетнемерзлые толщи или наблюда-

ется устойчивое сезонное промерзание грунтов, снежный покров является отепляющим фактором. В области сезонного промерзания при снятии или отсутствии снежного покрова наблюдается значительное увеличение глубины зимнего промерзания горных пород. В области распространения многолетнемерзлых толщ при наличии сливающейся мерзлоты, уменьшение мощности снега ведёт, с одной стороны, к снижению среднегодовой температуры пород, а, следовательно, и некоторому снижению глубины пропаивания, а с другой, к увеличению амплитуды колебаний температуры поверхности пород и, поэтому, – к увеличению этой глубины. Таким образом, снятие или отсутствие снежного покрова мало изменяет летние теплообороты в грунтах, которые в основном и определяют глубину их пропаивания. По данным натурных наблюдений установлено, что увеличение мощности снежного покрова на 5–15 см приводит к повышению среднегодовой температуры пород на 1°C. Поэтому при достаточной мощности снежного покрова горные породы могут иметь положительную температуру в районах, где наблюдаются низкие среднегодовые температуры воздуха. Данная проблема наиболее актуальна для рассматриваемого региона, где постоянный мощный снежный покров наблюдается с октября по май. Земляное полотно представлено высокими насыпями, проходящими по открытым тундро-вым территориям, данное обстоятельство способствует скоплению значительных объёмов снега. В отдельных случаях насыпи полностью засыпаны снегом и образовываются «снежные выемки» (рис. 12).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, можно сказать, что железнодорожный путь стал неотъемлемой частью экосистемы арктического края. Сама тундра представляет собой уникальную зону природы, для которой характерно наличие вечной мерзлоты, заливание почвы речными водами в период паводка и полное отсутствие древесной растительности, что создаёт определённые трудности при эксплуатации инфраструктурного комплекса.



**Рис. 12. Разделка снежной выемки с использованием машины ФРЭЗ
(фото автора В. В. Шапран, 2015 год).**

Анализ многочисленных факторов, влияющих на возникновение и развитие деформаций по земполотну, пролегающему в криолитозоне, показал, что каждое место деформации должно рассматриваться и изучаться индивидуально. Порой из множества выявленных факторов трудно определить ключевой, оказывающий максимальное влияние на развитие отступлений. Результаты анализов должны быть сведены в каталог для дальнейшего категорирования деформаций.

В дальнейшем планируется на основе результатов диагностики состояния железнодорожного пути производить прогнозирование многолетнемерзлого состояния объектов железнодорожной инфраструктуры, производить категорирование просадок земляного полотна по степени опасности и разрабатывать мероприятия по его стабилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луцкий С. Я., Шепитко Т. В., Черкасов А. М. Технологический мониторинг сооружения земляного полотна на высокотемпературной мерзлоте. // Сб.: II Международный симпозиум земляного полотна в холодных регионах. Материалы симпозиума / Под ред. А. Л. Исакова и Ц. К. Лю. – 2015. – С. 41–48.

2. Стоянович Г. М., Пупатенко В. В., Сухобок Ю. А. Опыт комплексного геофизического обследования объектов железнодорожной инфраструктуры // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 1. – С. 282–287.

3. Пупатенко В. В., Паженцев Я. В. Комплексное обследование насыпей в Якутии // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 9. – С. 25–26.

4. Fazilova, Z. T., Shapran, V. V. Operation of civil and linear facilities of railway transport in Arctic zone. Proceedings of the 2018 International Conference «Quality

Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS2018, 2018, pp. 207–211.

5. Loktev, A., Fazilova, Z., Zaytsev, A., Borisova, N. Analytical modeling of the dynamic behavior of the railway track in areas of variable stiffness. Proc. TRANSOILCOLD. Series: Lecture Notes in Civil Eng. Ed A. Petriaev and A. Konop, Vol. 1, pp. 165–172.

6. Шполянская Н. А. Плейстоцен-голоценовая история развития криолитозоны Российской Арктики «глазами» подземных льдов. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. – 344 с.

7. Бабкин Е. М., Хомутов А. В., Дворников Ю. А., Хайруллин Р. Р., Бабкина Е. А. Изменение рельефа торфяника с вытаивающим полигонально-жильным льдом в северной части Пур-Тазовского междуречья // Проблемы региональной экологии. – 2018. – Т. 4. – С. 115–119.

8. Станиловская Ю. В., Мерзляков В. П., Сергеев Д. О., Хименков А. Н. Оценка опасности полигонально-жильных льдов для линейных сооружений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2014. – № 4. – С. 367–378.

9. Бойцов А. В. Геокриология и подземные воды криолитозоны: Учеб. пособие. – Тюмень, ТюмГНГУ, 2011. – 178 с.

10. Кудрявцев С. А., Кажарский А. В. Численное моделирование процесса морозного пучения и оттаивания в зависимости от скорости промерзания грунтов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 2. – С. 105–110.

11. Фазилова З. Т., Шапран В. В., Скворцов О. В. Профильные деформации земляного полотна в условиях вечной мерзлоты // Путь и путевое хозяйство. – 2018. – № 11. – С. 22–24.

12. Roman, L. T., Tsarapov, M. N., Kotov, P. I., Volokhov, S. S., Motenko, R. G., Cherkasov, A. M., Shtein, A. I., Kostousov, A. N. Manual on the determination of physical and mechanical properties of freezing, frozen and thawing dispersed soils (KDУ, University Book), 2018, 188 p. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-111>.

13. Архив данных Воркутинской дистанции пути Северной дирекции инфраструктуры.

14. Архив данных Воркутинской дистанции пути Северной дирекции инфраструктуры, выходные формы ДКИ Интеграл.





Factors Influencing Development of Longitudinal Profile Deformations of the Roadbed in the Permafrost Zone



Vladimir V. SHAPRAN



Zulfia T. FAZILOVA

Shapran, Vladimir V., JSC Russian Railways,
St. Petersburg, Russia.
Fazilova, Zulfia T., Russian University of Transport,
Moscow, Russia*.

ABSTRACT

Up to 2025 operations at the network of the Northern Railway (a subsidiary of JSC Russian Railways) may increase according to forecasts by 28.4 %, which is associated with construction of the Northern latitudinal railway. At the same time, a significant part of the Northern Railway is characterized by difficult climatic conditions: permafrost, polygonal-vein ice, peat bog areas, sharp temperature drops, significant amounts of precipitation in the form of snow. In the context of the planned increase in cargo intensity, the diagnostics of the roadbed in the zone of distribution of soils with weak bearing capacity against the backdrop of global climate change is of key character.

The article is devoted to survey of the roadbed located in the permafrost zone. The results of diagnostics of the state of the railway track make it

possible to forecast the state of railway infrastructure facilities, to categorize subsidence of the roadbed according to the degree of danger, and to develop measures for its stabilization.

The objective of the work is to study the factors affecting degradation of the roadbed located in the permafrost zone.

The methods of the work are based on field examinations of «sick» places of the roadbed and statistical forms of analysis of longitudinal profile deformations (subsidence) of the track.

The result of this work is the study of influence of a number of factors on development of deformations of the roadbed located in the permafrost zone. In the future, it is planned, based on the results of diagnostics of the state of the railway track, to forecast the permafrost state of railway infrastructure facilities, to categorize subsidence of the roadbed according to the degree of danger, and to develop measures to stabilize it.

Keywords: railway, cryolithozone, moraine topography, thermokarst, seasonal thawing of soils, soil suffusion, profile irregularities, radarogram, track equal-elasticity.

*Information about the authors:

Shapran, Vladimir V. – engineer of the analytics and information section of St. Petersburg Centre for Diagnostics and Monitoring of Infrastructure Facilities of Oktyabrskaya Infrastructure Direction, a Structural Unit of Oktyabrskaya Railway, a subsidiary of JSC Russian Railways, St. Petersburg, Russia, shaprandi@gmail.com.

Fazilova, Zulfia T. – Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Transport Construction of Russian University of Transport, Moscow, Russia, fazil_1905@mail.ru.

Article received 12.11.2019, accepted 21.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 82.

Background. In the future, up to 2025, an increase in cargo volumes by 28,4 % is forecasted at the Northern Railway operating ground. At the same time, the largest increase in transportation is expected in areas with diesel traction – 165,5 % of currently available volumes, which is associated with construction of the Northern latitudinal railway (Pic. 1). In the context of the planned increase in cargo intensity, the diagnostics of the roadbed in the zone of distribution of soils with weak bearing capacity against the backdrop of global climate change is of key character.

Vorkuta industrial region is located on the outskirts of the permafrost massif of Eurasia and belongs to the area of distribution of permafrost soils.

As a result of influence of various factors, both natural and technogenic in operation of linear structures (roadbed), longitudinal profile deformations (subsidence) of track arise, which contribute to additional development of longitudinal and transverse forces affecting both the running gear of rolling stock and railway track [1–5].

The *objective* of the work is to study the factors affecting degradation of the roadbed located in the permafrost zone.

The *methods* of the work are based on field examinations of «sick» places of the roadbed and statistical forms of analysis of longitudinal profile deformations (subsidence) of the track.

Results. Currently, considerable attention is paid to the technical state of the roadbed, quality of field examinations and analysis of the results of the work of diagnostic tools.

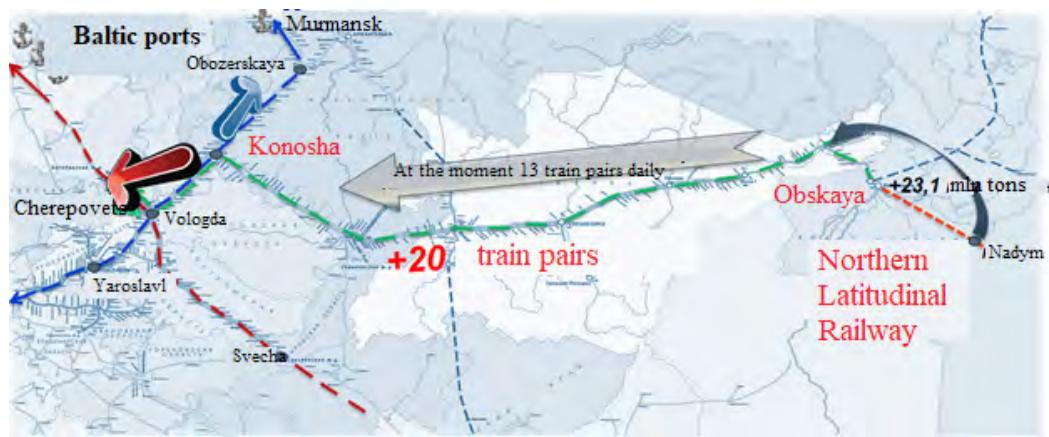
However, despite many statistical forms of analysis, each place of deformation is unique by the set and degree of influence of various factors, which can conditionally be divided into explicit and implicit ones.

So, when conducting field surveys of sites of longitudinal profile deformations, it is customary to consider as obvious factors: roadbed foundation flooding due to the lack of runoff of surface water, steepness of slopes of the roadbed and the absence of the roadside, sections with variable stiffness (for example, approaches to bridges)

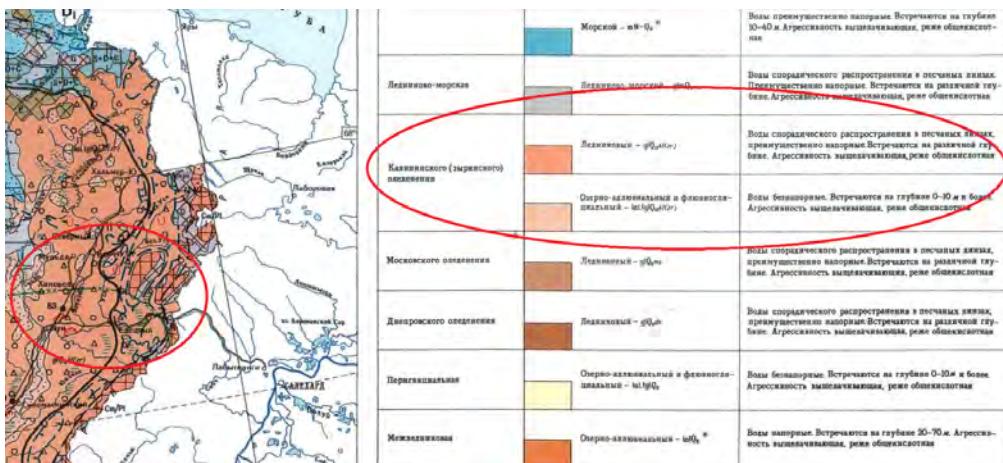
Implicit factors include:

- features of the terrain, its folding, exposure and steepness of slopes, the transverse slope of the terrain, presence of through taliks;
- equal elasticity of track (different power of crushed stone, old crushed stone, asbestos and sand ballasts, formed during repairs and straightening work);
- accumulations of surface water located at the upper part of the embankment erected on the slope (suffusion of soils of the body of the embankment);
- violation of moss and peat cover and, as a result, vulnerability of «frozen» soils;
- soil humidity, water stagnation in various depressions, including in ditches for water drainage in the presence of dams in them;
- warming effect of snow in various special cases.

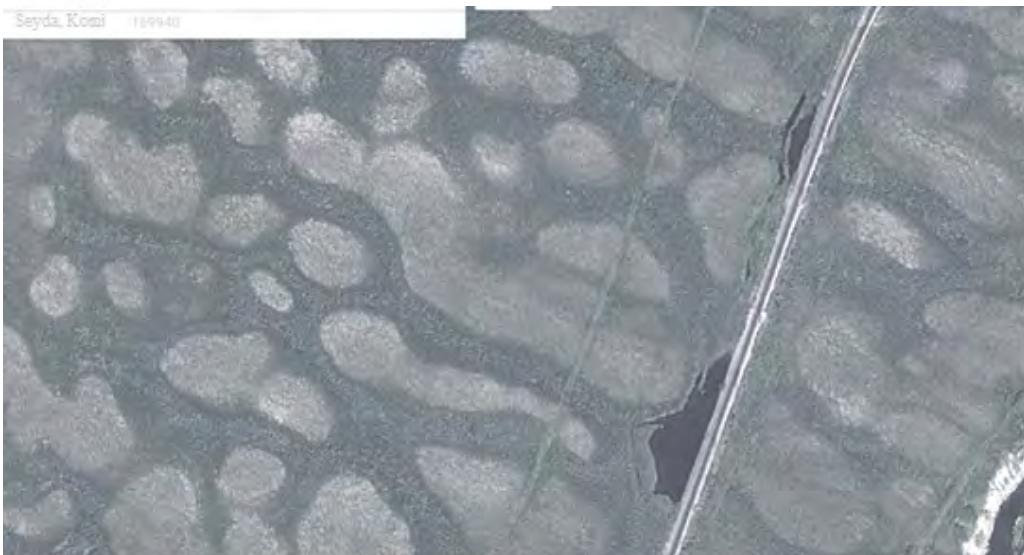
Before considering influence of implicit factors on deformability of the roadbed of the railway track, we pay attention to the geological history of the north of the territory of Komi Republic.



Pic. 1. Scheme for development of the Northern latitudinal railway and increase in train load (from the report of the First Deputy Head of the Northern Railway on the topic «Locomotive and locomotive crew work technology, development of the locomotive facilities following the development of the Northern latitudinal railway and approaches to the ports of the North-Western basin», Yaroslavl 31.08.2018).



Pic. 2. Fragment of the view of schematic engineering-geological map of Vorkuta district of Komi Republic (Schematic engineering-geological map of Komi ASSR and Nenets national district of Arkhangelsk region, author Z. M. Dzenish, Ministry of Geology of the USSR, Ukhta territorial geological administration, 1966).



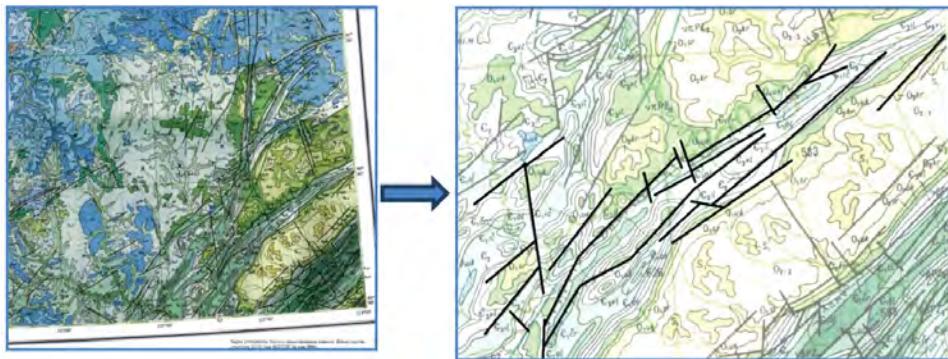
Pic. 3. A section of the railway track passing through the drumline relief (satellite imagery
<https://www.google.ru/maps/>.

The rocks under consideration belong to formation of Zyryansk glaciation (hereinafter – ZG) [6–8]. The sediments of ZG region are represented by widely developed glacial formations (moraines), as well as water-glacial (sands, gravel) and lake-glacial (clays, sands) sediments, combined into Zyryansk super horizon of the Upper Pleistocene of the Quaternary system. Zyryansk moraines are composed of loams containing a large number of boulders. They contain sediments with marine microfauna trapped in ice from the Kara Sea shelf and coastal land. The moraine thickness is 30–50 m. Relict buried ice has been preserved in the

glacial deposits of the Late Zyryansk glaciation.

In the subglacial region of ZG, alluvial-lacustrine and lacustrine (dammed) thin-layered ribbon clays, sandy loams, and sands with plant debris are common.

Hydrogeological characteristics of water: for the glacial complex – sporadic (single, separate) distribution in sandy lenses, mainly pressure lenses, occur at different depths, it is of leaching aggressiveness, less commonly acidic; for lacustrine-alluvial water, pressureless water is found at a depth of 0–10 m and more, it is of leaching aggressiveness, less commonly acidic [6; 9].



Pic. 4. A fragment of the state geological map and «Lineamenta» layer in GIS (Internet resource «Karpinsky All-Russian Scientific Research Geological Institute». [Electronic resource]: <http://www.geokarta.ru/>).

The moraine relief (hilly-ridge, hilly-lowland), as well as the Drumlin relief, which represents elongated hills consisting of deposited moraine material, measuring 900–2000 m in length, 180–460 m in width and 15–45 m in height (Pic. 3) is typical for ZG.

Relief influence. Railway track based on the conditions of minimal volumes of earthworks, as a rule, passes along the flood-lands sections of rivers.

So, Pic. 3 shows a section of Konosha–Vorkuta railway line. The predominant deviation of the terrain is towards the floodplain of the Vorkuta River, where the track passes through its ancient high terraces. In accordance with existing standards for designing culverts, there is no culvert (in the area under consideration), however, as a result of water flow accumulating in the places of folds of the drumlin (partially polygonal) relief and development of thermokarst, lakes are formed that are directly adjacent to the body of the embankment. As a result, waterlogging of the soil base of the roadbed occurs. In the presence of a significant transverse slope of the terrain, a slow filtration of water through the body of the embankment (accompanied by soil suffusion) occurs.

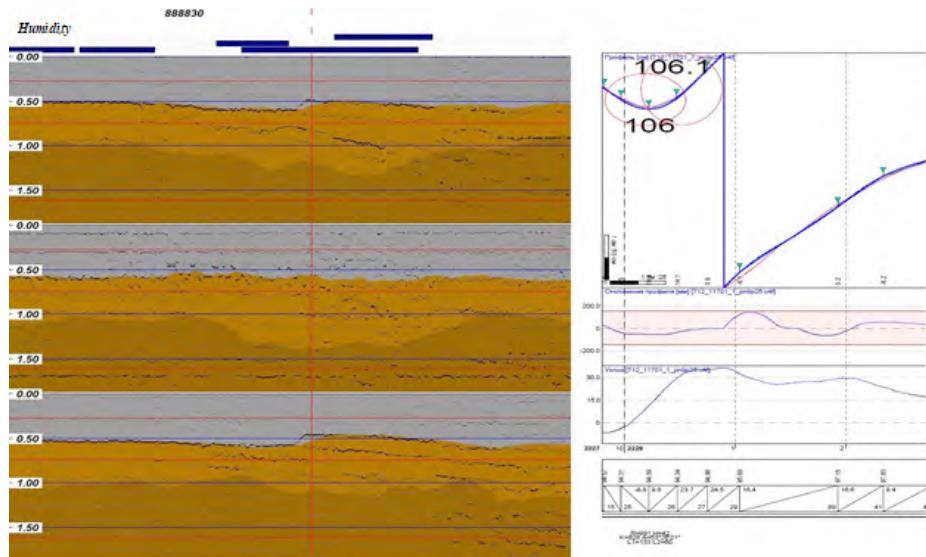
However, the volume of water runoff is not always sufficient in such places for formation of lakes, in most cases when the railway crosses the ravines, where the roadbed is represented by high embankments of 6–12 meters or more, there is no visually distinguishable accumulation of water. The described irregularities in the terrain, as a rule, are heavily overgrown with stunted vegetation (dwarf), which has a warming effect on the state of «frozen» rocks in these places (we will conditionally call them «lineaments», Pic. 4).

In combination with a significant thickness of the Quaternary sediments, which can reach 100 meters in the area under consideration, development of open taliks is observed, as a result, the soils in the base of the body of high embankments are both in a thawed and extremely waterlogged state. This was clearly confirmed when arranging intersections of the track and the gas pipeline in 2010–2011, when a water horizon was opened at the base of the embankment in winter. A significant part of the longitudinal profile deformations located in the region under consideration passes through similar sections of the relief.

Track equal elasticity. During operation of the railway track in places of constant deformation, work is carried out on its mechanized straightening. As a result of long-term operation and numerous «elevations», the upper part of the embankment has a layered structure, which is presented from bottom to top by: main soils of the embankment body, then a layer of old sand and gravel ballast, old asbestos ballast and the upper part with a layer of clean ballast. If the bulldozer cuts evenly over the top layer of contaminated crushed stone (during the course of track repair), a layer of old compacted asbestos (which can be tactilely compared with asphalt) is exposed. With a mechanized straightening of sediment (hollows) of the track, the layered structure is broken.

Modern track-examination systems allow georadar sounding and profiling of deformative sites of the roadbed. The methods of interpreting georadar profiling data and shallow seismic tomography developed at Far Eastern State Transport University (FESTU) [2–3] make it possible to obtain a multilayer model of the deep section of the roadbed and foundation





Pic. 5. Radarogram of soils, combined with marking of the longitudinal profile of the track (overhaul in 2009).

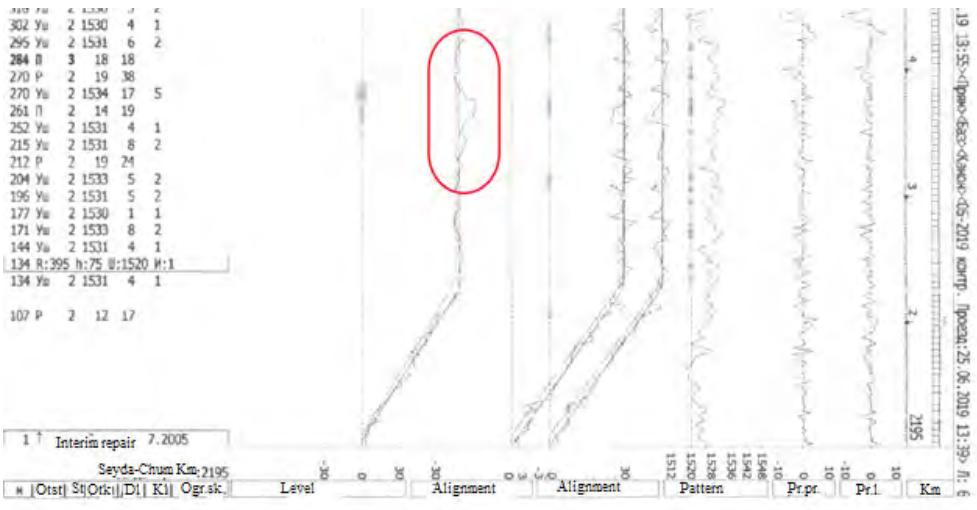


Pic. 6. Data from the video camera of PS067 track-measuring car (from the archive of Vorkuta Track Division of the Northern Directorate of Infrastructure, video file of the surveillance camera of PS067 track-measuring car, June 2019).

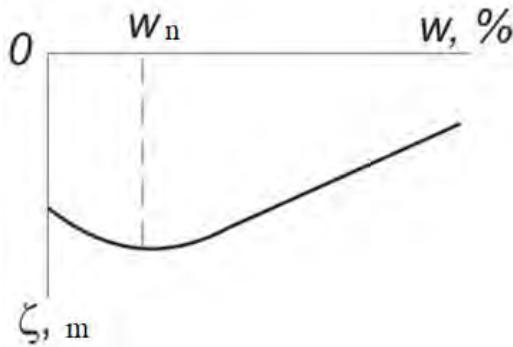
with a continuous distribution of strength and deformation characteristics of soils [12], identified by areas of heterogeneity both in transverse profiles and in volumetric design.

Pic. 5 shows a radarogram of soils (data from DCS Integral) [13], combined with marking of the longitudinal profile of the track section (overhaul of 2009). In the left part of

the picture (radiogram) along the track axis and the left roadside, local penetration of old asbestos ballast into the layer of the main soils of the body of the embankment is observed. The blue stripes in the upper part of georadar sounding indicate a waterlogged state of the soil. The occurrence of soils in the transverse plane is uneven. On the right side of Pic. 5, this



Pic. 7. Graphical chart of the track-measuring (geometry) car (from the archive of Vorkuta Track Division of the Northern Directorate of Infrastructure, graphical chart of the track-measuring car PS067, June 2019).



Pic. 8. Change in the depth of seasonal freezing and thawing depending on soil humidity [based on [9], A. V. Boytsov].

section is represented by marking of the longitudinal profile (TsNII-4 data) [14], where it is possible to observe the longitudinal profile deformation of a track with a length of 120 m and a deformation value of 0.250 m.

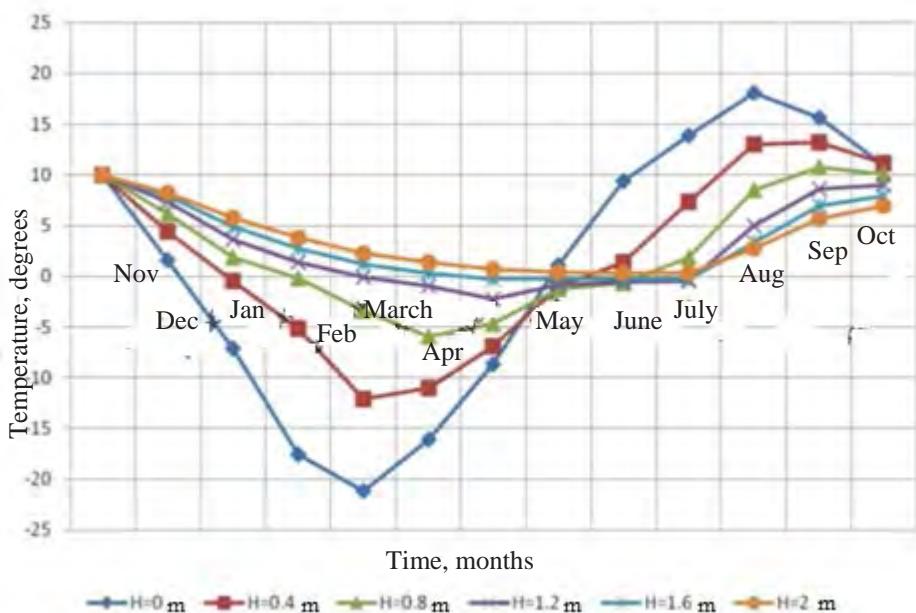
Implicit factors (contributing to occurrence of longitudinal profile deformations of embankments erected on the slope) include the presence of depressions filled with water and located at the upper part of the embankment (suffusion of the soil body of the embankment). In this regard, special attention when conducting field surveys of the embankment when it is located on a slope should be given to the presence of catchment basins directly adjacent to its body (Pic. 6).

As a result of the water arm being formed, soil suffusion (removal of small soil particles) occurs, which can lead to sudden deformation of the roadbed, or subsidence of one or both

rail lines of different intensity [9; 11]. So, in June 2019, on the 2195th kilometer of Seyda-Chum haul, intensive subsidence of the right rail line was observed (Pic. 7), which entailed a limitation of speed of trains: on the first day to 25 km/h, and on the next three days – up to 40 km/h.

Humidity. The thermal conductivity coefficient of dispersed rocks increases with increasing humidity, since the thermal conductivity of water and ice is higher than that of air. Thus, depth of freezing-thawing of rocks with increasing humidity will decrease [8; 10]. The general dependence of changes in the depth of seasonal freezing and thawing of rocks on their humidity content is presented in Pic. 8.

The initial part of the graph shows a slight increase in the depth of seasonal freezing and thawing with an increase in humidity from 0 to



Pic. 9. Monthly temperature distribution at a depth of $H1 = 0$ m; $H2 = 0,4$ m; $H3 = 0,8$ m; $H4 = 1,2$ m; $H5 = 1,6$ m; $H6 = 2,0$ m [based on [10], S. A. Kudryavtsev, A. V. Kazharsky].

a certain value of W_{nz} . In this interval, humidity does not freeze at a negative temperature and the rocks remain unfrozen (chilled). With increasing humidity above W_{nz} , the proportion of phase transitions in the total heat circulation of the rock increases, and the depth of their freezing and thawing decreases.

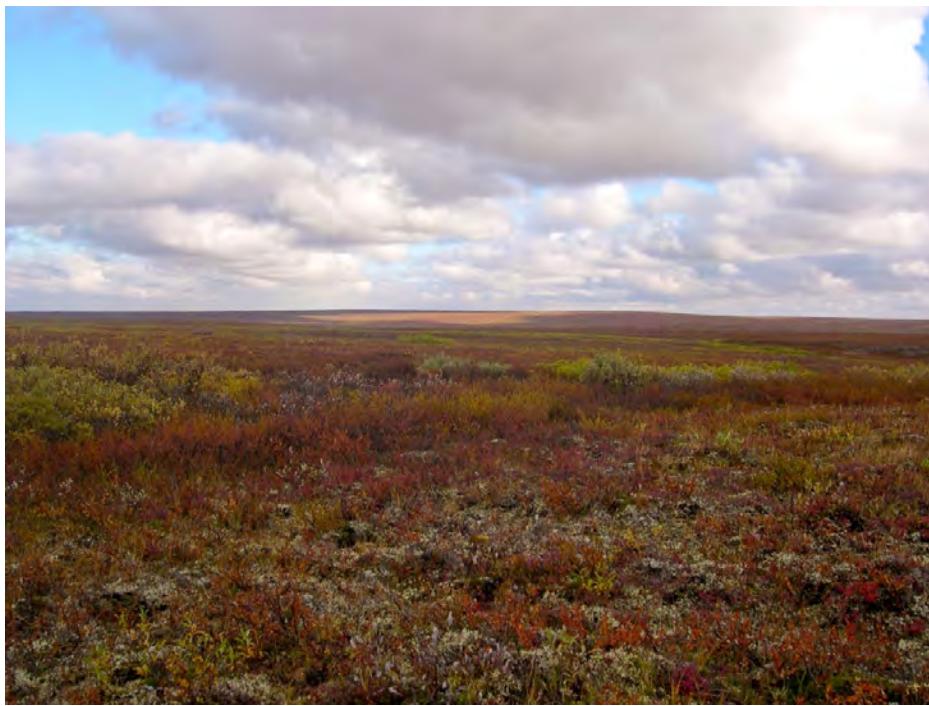
Of great importance in formation of the thickness of the layer of seasonal freezing (or thawing) is the temperature shift, which is the temperature difference between the surface of the rocks and the base of the seasonally freezing (thawing) layer. Thermal shift occurs due to an increase in thermal conductivity of rocks during their transition from a thawed to frozen state; the greater is ice content of frozen rocks, the greater is the difference in thermal conductivity coefficients. This phenomenon is explained by the fact that the thermal conductivity of ice is about four times higher than the thermal conductivity of water. It was also noted that the more dispersed is the rock (at the same humidity), the lower is the thermal conductivity coefficient and the smaller $\lambda m / \lambda t$ ratio.

Lowering the average annual temperature of the rocks at the bottom of the seasonal thawing layer leads to a decrease in the depth of seasonal thawing of rocks, which is confirmed by the research data of the FESTU [10], Pic. 9.

On the gentle drained slopes and watersheds, in the aeration zone, composed of fine and medium-sized sands, at the beginning of intensive soil freezing, the amount of humidity is close to the value of the maximum molecular moisture capacity and does not exceed 4–5 % of the rock volume. In the summer season, especially during the period of snowmelt infiltration, soil humidity content increases by 2–3 times, in accordance with this, the thermal conductivity coefficient sharply increases with a constant value of phase transitions. This phenomenon leads, firstly, to rapid thawing of the upper part of the geological section and, secondly, to formation of a positive temperature shift at the bottom of the active layer [7].

Quantitative assessment of deformation of dusty loam of a refractory texture associated with frost heaving and thawing given in [10] showed that for a one-year cycle at a groundwater level of 1 to 2.5 m from the day surface, humidity increases by 68 %, and the resistance to shift of clay soil is reduced by five times.

Mosses and peat bogs. It is difficult to imagine Bolshezemelsky tundra without mosses, lichens and peat bogs. However, their influence on the state of «frozen» soils is underestimated. During the technogenic impact in the right of way of railway lands (work of earthmoving equipment, all-terrain roads),



Pic. 10. Moss cover of the Bolshezemelsky tundra (photo by V. V. Shapran, 2018).

vegetation cover is disturbed. Recultivation works in most cases are not carried out, when developing trenches for various purposes, their strengthening and warming of their cross-section are not performed.

So the frozen strata and vegetation, developing in time, react to changing of each other. Plant communities in many cases are good indicators of thermal and humidity conditions of the soil, and this circumstance is widely used in permafrost surveys. Often, destruction of vegetation leads to an increase in summer temperatures of rocks and the depth of seasonal thawing, which contributes to strengthening of cryogenic processes, primarily thermokarst, thermoerosion and waterlogging. Violation of the thermal regime of the soil of the base of the body of the embankment leads to its deformations.

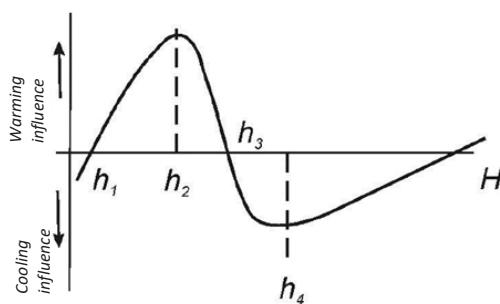
Among the soil covers, the cooling role of wet mosses is especially high (Pic. 10). The fact is that in the thawed state, the thermal conductivity coefficient of moss is several times less than in frozen state. Therefore, in winter, under such a cover, the soils cool off quite intensively, and in the summer they warm up slightly. Moss covers with a thickness of 15–20 cm lead to a reduction in the depth of seasonal

thawing by a factor of 2–3 compared with the exposed surface and to a few degrees lower average annual temperature of the rocks [6; 9].

The peat cover behaves in a similar manner. The thermal conductivity coefficient of peat in the thawed state, as a rule, is two times lower than in the frozen one. Under a certain humid regime of the peat bog, the difference in thermal conductivities can differ significantly. Therefore, even with an average annual positive temperature on the surface of peat, underlying soils can be in a frozen state [9].

Snow. Snow cover is formed almost everywhere in areas where frozen rocks are found. Its influence on the radiation-thermal balance of the surface is very large and diverse. First of all, snow increases the albedo of the surface, increasing its reflectivity several times. This leads to a decrease in absorption of radiant energy, and to a decrease in the average annual temperature of the rocks. In addition, a significant reduction in the incoming part of the heat balance is caused by heat consumption for melting snow and partial evaporation of melt water. Melting snow maintains a zero temperature on the surface for some time, which prevents the soil from warming up despite the positive air





Pic. 11. Change in the effect of snow cover on the temperature regime of underlying rocks depending on its thickness [[9], A. V. Boytsov].



Pic. 12. Cutting of a snow hole using a FRES machine (photo by V. V. Shapran, 2015).

temperature. From here follows the cooling effect of the snow cover. At the same time, snow cover, which has low thermal conductivity, as a heat insulator, protects the soil from winter heat loss and acts as an insulating factor. The higher are heat-insulating properties of snow in winter, the greater is its warming effect on the soil. Thus, the main factors determining influence of snow cover on the surface temperature are the high albedo and the heat-insulating role of snow.

Study of the effect of snow cover on the temperature regime of underlying rocks depending on its thickness, the results of which are shown in Pic. 11, showed that if snow has a low power (up to h_1), then its role as a reflector of sunlight predominates, and such a low-power cover has a cooling effect on soils. As the thickness of the snow cover increases from h_1 to h_2 , its warming effect prevails. With a further increase in snow thickness from h_2 to h_3 , a large amount of heat is spent on its melting in the spring, which lasts a considerable time at a positive air temperature. Therefore, the

warming role of the snow cover is gradually decreasing and, ultimately, it becomes a cooling factor for rocks (from h_3 to h_4), which is most evident in areas where snow does not have time to melt in the warm season. Further accumulation of snow leads to formation of perennial snowfields, the temperature regime on the sole of which depends on various environmental factors, including the influx of deep heat [9; 11].

In general, for regions where permafrost strata are developed or stable seasonal freezing of soils is observed, snow cover is an insulating factor. In the field of seasonal freezing with removal or absence of snow cover, a significant increase in the depth of winter freezing of rocks is observed. In the area of permafrost distribution in the presence of merging permafrost, a decrease in snow thickness leads, on the one hand, to a decrease in the average annual temperature of the rocks, and, consequently, to a certain decrease in thawing depth, and, on the other hand, to an increase in the amplitude of fluctuations in the temperature of the rock surface, and therefore – to increase in this depth.

Thus, removal or absence of snow cover does little to change in summer heat exchange in soils, which mainly determines the depth of their thawing. According to field observations, it was found that an increase in the thickness of the snow cover by 5–15 cm leads to an increase in the average annual temperature of the rocks by 1°C. Therefore, with sufficient snow cover, rocks can have a positive temperature in areas where low average annual air temperatures are observed. This problem is most relevant for the region under consideration, where a constant thick snow cover is observed from October to May. The roadbed is represented by high embankments passing through open tundra territories, this fact contributes to accumulation of significant amounts of snow. In some cases, the embankments are completely covered with snow and «snow holes» are formed (Pic. 12).

Conclusion. Summing up, we can say that the railway has become an integral part of the ecosystem of the Arctic region. The tundra itself is a unique zone of nature, which is characterized by the presence of permafrost, soil flooding by river waters during the flood period and the complete absence of woody vegetation, which creates certain difficulties in operation of the infrastructure.

The analysis of many factors that influence the occurrence and development of deformations along the roadbed that lies in the permafrost zone showed that each place of deformation should be considered and studied individually. It is sometimes difficult to determine the key factor that has the maximum impact on development of deviations from the many factors identified. The results of the analysis should be compiled into a catalog for further categorization of deformations.

In the future, it is planned, based on the results of diagnostics of the condition of the railway track, to forecast the permafrost state of railway infrastructure facilities, to categorize subsidence of the roadbed according to the degree of danger, and to develop measures to stabilize it.

REFERENCES

1. Lutsky, S. Ya., Shepitko, T. V., Cherkasov, A. M. Technological monitoring of construction of the roadbed on high-temperature permafrost soil [Tekhnologicheskiy monitoring sooruzheniya zemlyanogo polotna na vysokotemperaturnoi merzloite]. *Proceedings of 2nd International symposium of roadbed in cold regions*. Ed. by A. L. Isakov and C. K. Liu, 2015, pp. 41–48.
2. Stoyanovich, G. M., Pupatenko, V. V., Sukhobok, Yu. A. Experience in a comprehensive geophysical survey of railway infrastructure facilities [Opyt kompleksnogo geofizicheskogo obsledovaniya ob'ektor zheleznodorozhnoi infrastruktury]. *Sovremennie tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye*, 2012, Iss. 1, pp. 282–287.
3. Pupatenko, V. V., Pazhentsev, Ya. V. Comprehensive survey of embankments in Yakutia [Kompleksnoe obsledovaniye nasypей v Yakutii]. *Put' i putevoe khozyaistvo*, 2009, Iss. 9, pp. 25–26.
4. Fazilova, Z. T., Shapran, V. V. Operation of civil and linear facilities of railway transport in Arctic zone. Proceedings of the 2018 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS2018, 2018, pp. 207–211.
5. Loktev, A., Fazilova, Z., Zaytsev, A., Borisova, N. Analytical modelling of the dynamic behavior of the railway track in areas of variable stiffness. *Proc. TRANSOILCOLD. Series: Lecture Notes in Civil Eng.* Eds. A. Petriaev and A. Konon, Vol. 1, pp. 165–172.
6. Shpolyanskaya, N. A. The Pleistocene-Holocene history of development of the permafrost zone of the Russian Arctic with the «eyes» of underground ice [Pleistotsen-golotsenovaya istoriya razvitiyu kriolitozony Rossiiskoi Arktiki «glazami» podzemnykh ldom]. Izhevsk, Institute for Computer Research, 2015, 344 p.
7. Babkin, E. M., Khomutov, A. V., Dvornikov, Yu. A., Khairullin, R. R., Babkina, E. A. Change in the relief of peat with melting polygonal vein ice in the northern part of Pur-Taz interfluvie [Izmenenie rel'efa torfyanika s vytavivushchim poligonalno-zhilnym ldom v severnoi chasti Pur-Tazovskogo mezhdurechiya]. *Problemy regionalnoi ekologii*, 2018, Vol. 4, pp. 115–119.
8. Stanilovskaya, Yu. V., Merzlyakov, V. P., Seregin, D. O., Khimenkov, A. N. Assessment of danger of polygonal vein ice for linear structures [Otsenka opasnosti poligonalno-zhilnykh ldom dlya lineinykh sooruzhenii]. *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidroreologiya. Geokriologiya*, 2014, Iss. 4, pp. 367–378.
9. Boytsov, A. V. Geocryology and groundwater of permafrost zone: Study guide [Geokriologiya i podzemnie vody kriolitozony: Ucheb. posobie]. Tyumen, Tsogu, 2011, 178 p.
10. Kudryavtsev, S. A., Kazharsky, A. V. Numerical modelling of the process of frost heaving and thawing depending on the rate of freezing of soils [Chislennoe modelirovaniye protsessa moroznogo pucheniya i ottaivaniya v zavisimosti ot skorosti promerzaniya gruntu]. *Sovremennie tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye*, 2012, Iss. 2, pp. 105–110.
11. Fazilova, Z. T., Shapran, V. V., Skvortsov, O. V. Profile deformations of the roadbed in permafrost [Profilnie deformatsii zemlyanogo polotna v usloviyakh vechnoi merzloty]. *Put' i putevoe khozyaistvo*, 2018, Iss. 11, pp. 22–24.
12. Roman, L. T., Tsarapov, M. N., Kotov, P. I., Volokhov, S. S., Motenko, R. G., Cherkasov, A. M., Shtein, A. I., Kostousov, A. N. Manual on the determination of physical and mechanical properties of freezing, frozen and thawing dispersed soils. KDU, University Book publ., 2018, 188 p. DOI: <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-1-2-111>.
13. Archive of data of Vorkuta Track Division of the Northern Directorate of Infrastructure [Arkhiv dannykh Vorkutinskoi distantsii puti Severnoi direktssi infrastruktury]. Data archive of Vorkuta Track Division of the Northern Directorate of Infrastructure, output forms of DCI Integral [Arkhiv dannykh Vorkutinskoi distantsii puti Severnoi direktssi infrastruktury, vykhodnie dannie formy DKI Integral].





Новые подходы к оценке состояния изоляционного материала тяговых электродвигателей электровозов



Терегулов Олег Александрович – ОАО «РЖД», Москва, Россия*.

Олег ТЕРЕГУЛОВ

Повышение эффективности функционирования железнодорожного транспорта в сфере грузовых и пассажирских перевозок, снижение эксплуатационных расходов в настоящее время непосредственно связаны с расходами на содержание и восстановление тягового подвижного состава. Оптимизация эксплуатационных расходов возможна на основе перехода от планово-предупредительной системы ремонта тягового подвижного состава, основанной на оценке среднестатистического уровня его технического состояния без учёта особенностей полигона эксплуатации, к системе ремонта и обслуживания по фактическому техническому состоянию, объективно определяемому на основе создания и внедрения бортовых, переносных и стационарных средств технического диагностирования узлов и агрегатов, формирования банка данных о текущем состоянии электровозов и их узлов.

Энергосиловые установки относятся к базовым элементам и узлам конструкций тягового подвижного состава. Надёжность и ресурс тяговых электродвигателей электровозов, особенно изоляции обмоток, не отвечает современным требованиям, а существующие системы диагностики состояния изоляции обмоток не позволяют обеспечить необходимый уровень выявления отказов на ранней стадии. Для качественного определения категории износа изоляционного материала разработаны новые подходы на основе метода ИК-спектрофотометрии по относительному коэффициенту пропускания электромагнитного излучения в газовой атмосфере, отводимой от обмотки тягового электродвигателя, что является основой для создания и внедрения бортовой системы автоматизированного мониторинга текущего состояния изоляции электродвигателя и оценки остаточного ресурса.

Ключевые слова: железная дорога, электровоз, тяговые электродвигатели, оценка текущего состояния, изоляционный материал, повышение надёжности.

*Информация об авторе:

Терегулов Олег Александрович – Первый заместитель начальника Департамента технической политики ОАО «РЖД», Москва, Россия, teregulovo@center.rzd.ru

Статья поступила в редакцию 05.02.2020, принятая к публикации 28.04.2020.

For the English text of the article please see p. 109.

Железнодорожный транспорт играет важнейшую роль в стабильном, поступательном развитии промышленного комплекса, является основой для реализации программ долгосрочного развития экономического потенциала. Сегодня одной из наиболее актуальных задач является создание условий для повышения эффективности функционирования железнодорожного транспорта в сфере грузовых и пассажирских перевозок, снижения эксплуатационных расходов, повышения производительности труда.

Вопросам повышения эффективности функционирования железнодорожного транспорта, оптимизации направлений применения различных видов тяги с учётом перспектив развития грузоперевозок уделяется особое внимание в работе [1]. Авторы в контексте основной темы исследования подчёркивают непосредственную связь между эффективностью функционирования железнодорожного транспорта, его поступательным развитием и адаптивностью подвижного состава с учётом конкретных условий эксплуатации.

Решающим фактором повышения эффективности работы железнодорожного транспорта в современных условиях является совершенствование технологических процессов эксплуатации и ремонта тягового подвижного состава, решение проблем повышения надёжности, снижения эксплуатационных расходов.

Данные подходы используются не только на российских железных дорогах, но и являются предметом обсуждения и внедрения на железных дорогах Европы и мира. Так, в работе [2] авторы рассматривают пути увеличения эффективности силовых агрегатов на примерах локомотивов 2М62 и ТЕР-70, повышения их надёжности, снижения эксплуатационных затрат на основе внедрения системы контроля параметров функционирования тягового двигателя.

Одним из приоритетных направлений совершенствования отечественной системы содержания, технического обслуживания и ремонта электровозов в настоящее время является ремонт и обслуживание по техническому состоянию, для этого необходимо обосновать ресурс базовых элементов и узлов. Наиболее перспективными мероприятиями по реализации программы повышения

эффективности эксплуатации тягового подвижного состава являются: создание и внедрение систем диагностики на основе применения бортовых, переносных и стационарных средств технического диагностирования узлов и агрегатов; формирование банка данных о текущем состоянии электровозов и их узлов с целью обеспечения перехода на систему технического обслуживания и ремонта локомотивов с учётом фактического состояния.

Результаты экономического анализа функционирования парка тягового подвижного состава свидетельствуют о значительной зависимости себестоимости всех видов перевозок от затрат на техническое содержание и ремонт тягового подвижного состава. Структурный анализ расходов железнодорожного транспорта показывает, что удельный вес эксплуатационных затрат достигает 18–20 % от общей себестоимости перевозок [3]. В настоящее время при существующей системе технического содержания и ремонта тягового подвижного состава, затраты на восстановление за период от начала эксплуатации до постановки локомотива на капитальный ремонт в 3,5–4,0 раза превышают его первоначальную стоимость [4]. На сети дорог ежесуточно на всех плановых видах ремонта и обслуживания (без учёта ТО-2) находится около 1700 локомотивов, в том числе около 100 локомотивов находятся на заводских видах ремонта. Таким образом, ежесуточно на техническое обслуживание и ремонты отвлекается до 13,5 % эксплуатируемого парка ОАО «РЖД».

В настоящее время планово-предупредительная система ремонта тягового подвижного состава ОАО «РЖД» основана на оценке среднестатистического уровня его технического состояния. Зачастую оценка текущего технического состояния элементов конструкции и определение необходимого вида и объёма ремонтных работ зависят от квалификации персонала, технического оснащения и наличия диагностического оборудования. Как следствие, дефекты выявляются по внешним признакам (повышенный люфт, шум, вибрация, нагрев, износ и т.п.).

К базовым элементам и узлам конструкции тягового подвижного состава можно отнести: энергосиловые установки, ходовые части и др. Статистический анализ оценки





текущего состояния свидетельствует о том, что надёжность и ресурс тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов, особенно изоляции обмоток, не отвечает современным требованиям. Существующие системы диагностики состояния изоляции обмоток ТЭД не позволяют обеспечить необходимый уровень выявления отказов на ранней стадии.

Как показала практика, система поддержания надёжности изоляции по пробегу не является оптимальной. Условия эксплуатации тяговых электродвигателей не являются одинаковыми для разных регионов страны, следовательно, неодинаково происходит и старение изоляции, и не всякий двигатель с пробегом 1600 тыс. км обязательно нуждается в замене обмотки. Иногда оказывается достаточным более дешёвый средний ремонт ТЭД, то есть чистка, пропитка и сушка изоляции обмотки. Таким образом, объективная оценка реального состояния изоляции обеспечит продление её срока службы без снижения надёжности работы с меньшими затратами.

Целью исследования является анализ применения метода ИК-спектрофотометрии по относительному коэффициенту пропускания электромагнитного излучения в газовой атмосфере, отводимой от обмотки тягового электродвигателя, в качестве основы для создания и внедрения бортовой системы автоматизированного мониторинга текущего состояния изоляции электродвигателя и оценки остаточного ресурса. Использовались *методы структурного экономического анализа, статистического анализа, экспериментальные методы спектрофотометрии*.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В эксплуатации изоляция электрооборудования тягового подвижного состава подвергается широкому спектру воздействий. К ним относятся: температура обмоток, амплитуда и частота вибрации, электрические перенапряжения, электродинамические воздействия от электрического тока, влажность воздуха, наличие в окружающей среде едких паров и пыли. Они инициируют в изоляции сложные процессы, следствием которых является постепенное ухудшение её электрических свойств, именуемое старением [5]. Под воздействием различных факто-

ров и нагрузок в материалах диэлектрика происходят физико-химические процессы, которые приводят к разрушению изоляционного материала и последующим отказам изоляции обмоток электрических машин в виде электрического пробоя и межвитковых замыканий. Однако в большинстве случаев последствия старения могут быть устранены путём восстановительного ремонта изоляции [6].

Процессы старения ограничивают срок службы изоляционных конструкций [7; 8]. Поэтому при разработке, изготовлении и в процессе эксплуатации оборудования высокого напряжения должны предусматриваться меры, снижающие темпы старения изоляции до такого уровня, при котором обеспечивается требуемый срок службы изоляционных конструкций – 20–30 лет и более [9; 10]. Основные закономерности старения изоляции и методов её профилактических испытаний рассмотрены в [11–13].

В процессе эксплуатации в результате передачи электрической изоляции различных видов энергии происходит существенное изменение первоначальных свойств. Различают следующие виды старения изоляции – электрическое, механическое и тепловое. Кроме того, на текущее состояние и интенсивность процессов старения существенное влияние могут оказывать воздействие внешней среды, повышенная влажность и загрязнение.

Известно, что электрический пробой твёрдых диэлектриков происходит преимущественно по следующим причинам [13]:

1) механические – механическое разрушение, а именно развитие микротрещин, ослабляющих электрическую прочность диэлектрика. С целью повышения эксплуатационной надёжности ТЭД должны быть обеспечены высокие механические свойства изоляционных материалов обмоток полюсов и якоря, необходимых для сохранения электрической прочности изоляции, морозостойкости и нагревостойкости как в процессе изготовления ТЭД, так и в процессе длительной эксплуатации, когда обмотки подвержены влиянию контрастных температур, значительным центробежным и электродинамическим воздействиям, тряске, вибрациям и ударам [14];

2) тепловые – изменение свойств и структуры диэлектрика, возрастание тепловой

электропроводности. Тепловые процессы играют решающую роль в изменении свойств и характеристик элементов, в процессах их разрушения и старения. Темпы теплового старения изоляции определяются скоростями химических реакций, зависящими от температуры. Обычно полагают, что срок службы при тепловом старении обратно пропорционален скорости химических реакций, которые связаны с температурой уравнением Аррениуса. Отсюда получается правило Монтзингера (правило восьми градусов) [14];

3) электрические – импульсные перенапряжения, ионизация с процессом вырывания электронов из атомов, молекул и ионов. При нахождении материала диэлектрика в высокотемпературном поле происходит частичное разложение материала, которое идёт тем интенсивнее, чем выше температура. С течением времени происходит постепенное увеличение пористости изоляционного материала. Это приводит к возникновению местных электрических неоднородностей, сказывающихся на изменении локальной диэлектрической проницаемости, что, в свою очередь, приводит к возникновению местных перенапряжений при наложении на изоляционный материал переменного электрического поля [14].

Анализ данных по отказам ТЭД показал, что наибольшее негативное влияние на прочность витковой изоляции обмоток оказывает тепловое старение в процессе эксплуатации. В работах [15; 16] авторы указывают, «что многие физико-химические процессы, связанные с возникновением отказов витковой изоляции, являются термически активируемыми процессами, т.е. интенсивность протекания процессов увеличивается с повышением температуры». В то же время причиной разрушения изоляционного материала ТЭД – появления пористости и расщепления, является воздействие механических нагрузок, в частности, вибрации.

При рассмотрении механизмов распада материала электроизоляции тяговых электродвигателей НБ-418К6 установлено, что при-

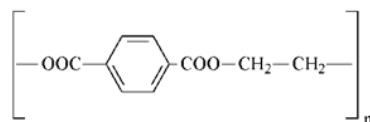


Рис. 1. Структурная формула плёнки из полимера полиэтилентерефталата.

чиной электрического пробоя обмоток тяговых электродвигателей является термическая и термоокислительная деструкция, приводящая к механическому разрушению электроизоляции с образованием трещин в ней и карбонизации (обугливанию) электроизоляции, которая сопровождается резким падением её электрического сопротивления.

Электроизоляция «Элмикатерм 524019», используемая в тяговых электродвигателях НБ418-К6, представляет собой композицию, состоящую из слюдяной бумаги (28 % вес), ткани из стеклянного волокна и полиэтилентерефталатной плёнки (вместе 32–52 % вес), склеенной между собой и пропитанных электроизоляционным лаком или компаундом (20–40 % вес). При её термическом и термоокислительном разрушении в первую очередь страдает её органическая составляющая.

Основу электроизоляции «Элмикатерм-524019» составляет плёнка из полимера полиэтилентерефталата (лавсана) (рис. 1).

При нагревании наблюдается в основном гомолитический (радикальный) разрыв связей С-О, как наименее прочных (рис. 2).

Процесс термоокислительной деструкции полиэтилентерефталата интенсивно протекает при температурах 170–220°C. Наличие воздуха способствует значительной деструкции изоляции, что сопровождается пожелтением и интенсивным выделением таких газообразных продуктов, как ацетальдегид, угарный и углекислый газ (рис. 3).

В ИК-спектре выделяющихся летучих продуктов присутствуют соединения со связями С-О – простые и сложные эфиры, кислоты, альдегиды, ацетали. Именно появление в ИК-спектре данных соединений свидетельствует о начале разрушения по-

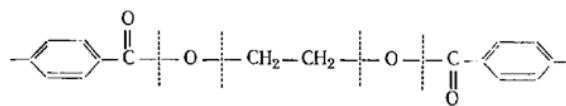


Рис. 2. Гомолитический (радикальный) разрыв связей С-О плёнки из полимера полиэтилентерефталата.

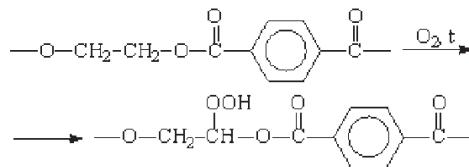


Рис. 3. Термоокислительная деструкция полиэтилентерефталата.

лимерной электроизоляции, а их исчезновение – о её полном разрушении. Проведённые исследования показали, что соединения с такими группами при термолизе рассматриваемой электроизоляции можно наблюдать в ИК-спектре в следующих диапазонах волновых чисел:

- C=O (сложноэфирная, кислотная) – 1770–1680 см⁻¹ (наблюдается система перекрывающихся пиков в данной области);
- C-O (простые и сложные эфиры, кислоты, ацетали) – 1300–1000 см⁻¹ (наблюдаются пики при 1038, 1065, 1125, 1155, 1169, 1241, 1295);
 - деформационные колебания C–C связей ароматических колец – 2000–1667 (наблюдается система слабых пиков) и 900–690 см⁻¹ (740, 812, 877);
 - соединения со связями, H-C= (например, этилен) – 1000–800 см⁻¹ (имеется пик при 937 см⁻¹);
 - соединения со связями C=C – 1500–1700 см⁻¹ (при ранних стадиях нагрева здесь имеется ряд интенсивных пиков).

На основе результатов анализа существующих в настоящее время технических средств установлено, что простые оптические датчики на ацетальдегид, метилдиоксолан и другие указанные соединения, работающие в условиях плотного фона паров других органических соединений, в настоящее время отсутствуют. Срок службы существующих промышленных электрохимических датчиков будет чрезвычайно коротким в результате протекания цепи специфических химических реакций в атмосфере газового выброса от нагретой изоляции тягового электродвигателя, работающего в реальных условиях с загрязнением от разложения нефтепродуктов, что способствует их интенсивному выходу из строя.

Таким образом, проведение анализа ИК-спектра выделяющихся летучих продуктов при термическом и термоокислительном разрушении электроизоляции целесообразно на основе использования специализиро-

ванного инфракрасного ИК-интерферометра, настроенного на частоту из набора перечисленных выше аналитических колебаний и также адаптированного к пробоотбору.

По результатам проведённых исследований установлена требуемая селективность анализа в ИК-диапазоне длин волн. Во всех экспериментах с аналитическими задачами применялась идентичная методика измерений, которая предусматривает введение газообразной пробы в газовую кювету после предварительной её прокачки чистым воздухом в течение 30 минут. Это позволило избежать влияния атмосферы от предыдущих измерений на последующие серии экспериментов.

К каждому новому измерению установка подходила в одинаковом стартовом состоянии. Это состояние контролировалось по пробной записи ИК-спектра пустой кюветы с прокачкой воздуха через пустой реактор печи. При удовлетворительном результате стартового контроля кюветной атмосферы, в камеру-реактор (рис. 4) вводился образец и начиналась запись серии спектров.

Для регистрации спектров использовался средний ИК-диапазон 5000–350 см⁻¹ как наиболее информативный для исследования молекулярной структуры органических соединений. Выбранное спектральное разрешение 2 см⁻¹ является стандартным для большинства исследований такого типа и определено как оптимальное в пробных измерениях.

На основании результатов проведённых измерений, полученных при выполнении описанных исследований, установлено, что термический распад органических соединений, входящих в состав рассмотренного изоляционного материала, сопровождаемый параллельным термолизом веществ – загрязнителей наружной оболочки обмоток ТЭД – имеет достаточно сложную кинетику с образованием большого количества различных продуктов в газовой фазе. Определять категорию износа изоляционного материала

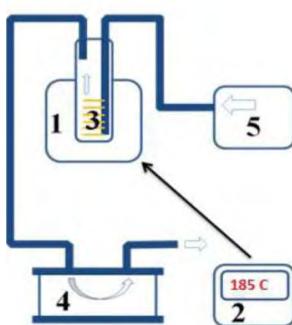


Рис. 4. Терморегулируемая приставка для исследования газообразных продуктов от изоляционного материала с калибровочной кюветой.

целесообразно методом ИК-спектрофотометрии по относительному коэффициенту пропускания электромагнитного излучения в газовой атмосфере, отводимой от обмотки ТЭД. Результаты исследований подтвердили, что измерения возможно проводить по разработанной методике, аналитическая часть которой базируется на оценке относительной интенсивности пика поглощения с максимумом в области $1150\text{--}950\text{ cm}^{-1}$, соответствующего возбуждению простых колебаний С-О в наиболее важных продуктах термолиза полимерной электроизоляции — простых и сложных эфирах, карбоновых кислотах, ацеталах.

С целью определения влияния степени износа изоляции обмоток ТЭД НБ-418К6 на интенсивность общего объема газового выброса, в том числе выброса углекислого газа, проведены исследования образцов изоляционного материала от главных полюсов разных тяговых электродвигателей НБ-418К6 электровоза, которые представляли собой комбинацию лавсановой ленты К-20 и слюдопластовой ленты Элмикатерм 0,1 x 20 и 0,13 x 30.

По спектрам всех образцов был сделан вывод о последовательном увеличении выброса углекислого газа в результате нагрева в силу запуска процесса окисления органических соединений, входящих в состав всех образцов. При этом общий объем газового выброса тем больше, чем ниже степень износа изоляции. Следует отметить большое количество водяного пара, выделяемого материалом всех образцов при рабочей температуре, — ему отвечают спектральные области с большим числом узких линий с центрами вблизи 3800 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} .

С целью выявления характерной контрольной компоненты были проведены экспе-

рименты по определению состава загрязняющих включений в эманирующих газах изоляции обмоток ТЭД. При сравнении результатов измерений образцов загрязненных образцов и образца с рабочей изоляцией с нового двигателя установлено, что основные закономерности в изменении интенсивностей линий и полос поглощения сохраняются. Однако отмечается появление и рост интенсивности новых линий поглощения, прежде всего в области $740\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$, что связано с появлением в газовой фазе замещенных производных бензола при термолизе углеводородов, входящих в состав смазочных масел. Схожие по химической природе продукты термолиза изоляции и грязи не дают возможности использовать область 740 cm^{-1} как аналитическую, то есть полоса 740 cm^{-1} непригодна для оценки категории исправности изоляции в реальных условиях.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что наиболее информативной и устойчивой к перекрытию с линиями поглощения грязи в применяемом диапазоне частот ИК-излучения является только широкая многокомпонентная полоса в области $1150\text{--}950\text{ cm}^{-1}$ с максимумом вблизи 1090 cm^{-1} . Форма данной полосы отстоит достаточно далеко от паразитных интенсивных линий поглощения, связанных с появлением загрязнений.

Анализ относительной интенсивности полосы поглощения газовой атмосферы при 1090 cm^{-1} от образцов изоляции с различной степенью износа свидетельствует о том, что положение максимума данной полосы и её интенсивность являются показателем состояния материала. В новом материале относительная интенсивность данной полосы максимальна, а центр её слегка сдвинут в низкочастотную область к значению



1070 см⁻¹. При наличии неисправности в изоляции интенсивность данной полосы мала, и она плохо различима на уровне фона, то есть отсутствует. В спектре образца с предпробойной или загрязнённой изоляцией интенсивность имеет близкую относительную интенсивность, но несколько разное отношение правой и левой компонент – 1080 и 1120 см⁻¹. На основании анализа экспериментальных данных установлено, что по интенсивности полосы поглощения газовой атмосферы можно выявлять не новый, но ещё рабочий двигатель.

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основании результатов измерений, полученных при выполнении описанных исследований, можно заключить, что термический распад органических соединений, входящих в состав изоляционного материала, сопровождаемый параллельным термолизом веществ-загрязнителей наружной оболочки обмоток ТЭД, имеет достаточно сложную кинетику с образованием большого количества различных продуктов в газовой фазе. Для качественного определения категории износа изоляционного материала целесообразно применять метод ИК-спектрофотометрии по относительному коэффициенту пропускания электромагнитного излучения в газовой атмосфере, отводимой от обмотки ТЭД. Информативное измерение необходимо выполнять по разработанной методике, аналитическая часть которой базируется на оценке относительной интенсивности пика поглощения с максимумом в области 1150–950 см⁻¹, соответствующего возбуждению простых колебаний С-О в наиболее важных продуктах термолиза полимерной электроизоляции – простых и сложных эфирах, карбоновых кислотах, ацеталиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. García-Garre, A., Gabaldón, A. Analysis, Evaluation and Simulation of Railway Diesel-Electric and Hybrid Units as Distributed Energy Resources. Electrical Engineering Area, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, Spain. Appl. Sci., 2019, Vol. 9, Iss. 17, 3605. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9173605>.
2. Liudvinavičius, L., Jastremskas, V. Modernization of Diesel-electric Locomotive 2M62 and TEP-70 Locomotives with Respect to Electrical Subsystem. 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017, Transportation Science and Technology, Procedia Engineering, 2017, Vol. 187, pp. 272–280. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.375.
3. Железнодорожный транспорт в Российской Федерации, СНГ и за рубежом: Обзор / ЦНИИТЭИ МПС. – М., 2001. – Вып. 28. – 131 с.
4. Загребельский А. М., Кадышев С. А., Ребрик Б. Н. Стоимость жизненного цикла электровоза // Железнодорожный транспорт. – 1998. – № 12. – С. 34–36.
5. Серебряков А. С. Методы и средства для диагностики изоляции электрических машин и аппаратов её защиты / Дис... док. техн. наук. – М.: МГУПС (МИИТ), 2000. – 438 с.
6. Базуткин В. В., Ларионов В. П., Пинталь Ю. С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для электроэнерг. спец. вузов / Ред. В. П. Ларионов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 463 с.
7. Исследование электрических характеристик внутренней изоляции высоковольтного электрооборудования. Испытания на срок службы и исследование старения изоляции силовых конденсаторов, кабелей, электрических машин, токопроводов и элегазовых КРУ 110–330 кВ: Отчёт о НИР (отчёт по этапу) / Науч.-исслед. ин-т по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения (НИИПТ); рук. В. И. Попков. – Л., 1984. – 45 с. – № ГР 01840079292. – Изв. № 02050005358.
8. Исследование путей совершенствования методов испытания и контроля изоляции электрических машин, трансформаторов, конденсаторов: отчёт о НИР (промежут.) / Новосиб. электротехн. ин-т связи (НИИС); рук. Ю. К. Горбунов. – Новосибирск, 1987. – 46 с. – № ГР 018500 65632. – Изв. № 02880914844.
9. Гольдберг О. Д. Испытания электрических машин: Учебник для вузов по спец. «Электрические машины». – М.: Высшая школа, 1990. – 254 с.
10. Гольдберг О. Д., Абдулаев И. М., Абияев А. Н. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей / Ред. О. Д. Гольдберг. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 159 с.
11. Гоффо Р. Физический смысл критерииов, характеризующих состояние высоковольтной изоляции электрических машин // ВНТИЦентр – 1193: 53979. – № 0689001388. – М., 1988. – 24 с. / Пер. ст.: Goffaux, R. Sur la signification physique de critères caractérisant l'état de l'isolation HAT de machines tournantes // Revue Générale de L'Electricité. – 1986. – Vol 2.
12. Давид П., Фазекаш Г., Хорват А. Характеристика термостойкости электрических изоляционных материалов и изоляций с учётом термогравиметрического индекса и стандартного температурного индекса // ВНТИ-Центр. – С-73674. – № 0690200209. – М., 1990. – 10 с.
13. Исмаилов Ш. К. Повышение ресурса изоляции обмоток электрических машин подвижного состава в условиях эксплуатации / Дис... док. техн. наук. – Омск, 2004. – 418 с.
14. Винокуров В. А., Попов Д. А. Электрические машины железнодорожного транспорта: Учебник. – М.: Транспорт, 1986. – 511 с.
15. Андреев Г. А., Воробьёв А. А., Кучин В. Д. Температурная зависимость электрической прочности ионных кристаллов при тепловом и электрическом пробое // Известия вузов. Физика. – 1957. – № 1. – С. 128–140.
16. Кучин В. Д. Зависимость электрической прочности ионных кристаллов от температуры при электронной форме пробоя // Известия вузов. Физика. – 1958. – № 2. – С. 114–120.

New Approaches to Assessing State of Insulating Material of Traction Electric Motors of Electric Locomotives



Teregulov, Oleg A., JSC Russian Railways, Moscow, Russia.*

Oleg A. TEREGULOV

ABSTRACT

Increasing the efficiency of functioning of railway transport in the field of cargo and passenger transportation, reducing operating costs are immediately related at present to the cost of maintaining and restoring traction rolling stock. Optimization of operating costs is possible on the basis of the transition from a scheduled preventive system of repair of traction rolling stock, based on assessment of the average statistical level of its technical condition without considering peculiarities of the operating range, to a system of repair and maintenance based on the actual technical condition, objectively determined on the basis of creation and implementation of onboard, portable and stationary means of technical diagnostics of units and assemblies, of development of a data bank on the current state of electric locomotives and their units.

Power plants belong to the basic elements and units of traction rolling stock structures. The reliability and service life of traction electric motors of electric locomotives, especially winding insulation, does not meet modern requirements, and the existing systems for diagnosing the state of winding insulation do not allow providing the required level of failure detection at an early stage. To qualitatively determine the wear category of the insulating material, new approaches have been developed. They are based on the method of IR spectrophotometry based on relative rate of transmittance of electromagnetic radiation in a gas atmosphere removed from the traction motor winding. This is the basis for development and implementation of onboard system for automated monitoring of the current state of the electric motor insulation and assessment of the residual resource.

Keywords: *railway, electric locomotive, traction motors, assessment of the current state, insulating material, reliability growth.*

*Information about the author:

Teregulov, Oleg A., First Deputy Head of the Department of Technical Policy of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, teregulovo@center.rzd.ru

Article received 05.02.2020, accepted 28.04.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 102.

Railway transport plays a crucial role for the stable, progressive development of the industrial economics, and is the basis for implementation of programs for long-term development of national economic potential. Today one of the most urgent tasks is to create conditions for increasing efficiency of railway transport in the field of cargo and passenger transportation, reducing operating costs, and increasing labour productivity.

The issues of increasing the efficiency of functioning of railway transport, optimizing the use of various types of traction, considering prospects for development of cargo transportation, are considered in work [1]. The authors, in the context of the main topic of the research, emphasize the relationship between the efficiency of functioning of railway transport, its progressive development, and adaptability of rolling stock, considering specific operating conditions.

The decisive factor in increasing efficiency of railway transport in modern conditions is linked to improvement of technological processes of operation and repair of traction rolling stock, to solution of the problems of increasing reliability, reducing operating costs.

These approaches are implemented on Russian railways, are subject to wide discussion and implementation on the railways of Europe and other regions. In [2], the authors consider ways to increase the efficiency of power units using the examples of locomotives 2M62 and TEP-70, increasing their reliability, reducing operating costs through the introduction of a system for monitoring the parameters of the traction motor.

Priority areas for improving the Russian domestic system of maintenance and repair of electric locomotives currently comprise repair and maintenance according to technical condition, for this it is necessary to assess both the current and the residual resource of basic elements and assemblies. The most promising measures for implementation of the program aimed at improving efficiency of traction rolling stock operation are creation and implementation of diagnostic systems based on the use of on-board, portable and stationary means of technical diagnostics of units and assemblies; development of a data bank on the current state of electric locomotives and their units in order to ensure transition to a system of

maintenance and repair of locomotives, considering their actual, current state.

The results of economic analysis of functioning of traction rolling stock fleet indicate a significant dependence of the prime cost of all types of transportation on the costs of technical maintenance and repair of traction rolling stock. The structural analysis of the costs of railway transport shows that the share of operating costs reaches 18–20 % of the total cost of transportation [3]. At present, with the existing system of technical maintenance and repair of traction rolling stock, the cost of maintenance for the period from beginning of operation to setting of the locomotive for overhaul is 3,5–4,0 times higher than its initial cost [4]. About 1700 locomotives on the railway network daily underwent all planned types of repair and maintenance (excluding TM-2 [technical maintenance of type 2]), including about 100 locomotives that were undergoing factory repairs. Thus, up to 13,5 % of the operated fleet of JSC Russian Railways was diverted daily for maintenance and repairs.

Currently, the preventive maintenance system for traction rolling stock of JSC Russian Railways is based on assessment of the average level of its technical condition. Often, the assessment of the current technical condition of structural elements and determination of the required type and volume of repair work depends on qualifications of employees, technical equipment, and availability of required diagnostic equipment. As a result, defects are detected by external signs (increased backlash, noise, vibration, heating, wear, etc.).

The basic elements and units of the structure of traction rolling stock include power plants, running gear, etc. The statistical analysis of assessment of the current state indicates that reliability and service life of traction electric motors (TEM) of electric locomotives, particularly of winding insulation, does not meet modern requirements. Existing systems for diagnostics of the state of insulation of windings of traction electric motors do not allow to provide the required level of failure detection at an early stage.

As practices have shown, the system for maintaining reliability of insulation using mileage indices is not optimal. The operating conditions of traction electric motors are not the same for different regions of the country, therefore, insulation aging is not the same, and

not every motor with a mileage of 1600 thousand km necessarily needs to be replaced with a winding. Sometimes a cheaper average repair of traction electric motors is sufficient, i.e. cleaning, impregnating and drying the winding insulation. Thus, an objective assessment of the real state of insulation will ensure extension of its service life without reducing reliability of operation but at a lower cost.

The *objective* of the research was to study the application of IR spectrophotometry method based on relative rate of transmittance of electromagnetic radiation in a gas atmosphere removed from the traction motor winding as a basis for development and implementation of onboard system for automated monitoring of the current state of the electric motor insulation and assessment of the residual resource, while the *methods* of structural economic analysis, statistical analysis, and experimental methods of spectrophotometry were used.

Results

In operation, insulation of traction rolling stock electrical equipment is exposed to a wide range of impacts. These include temperature of winding, vibration amplitude and frequency, electrical overvoltage, electrodynamic effects from electric current, air humidity, presence of corrosive vapors and dust in the environment. They initiate complex processes in insulation, the result of which is a gradual deterioration of its electrical properties, called aging [5]. Under the influence of various factors and loads, physicochemical processes occur in dielectric materials, which lead to destruction of the insulating material and subsequent failures of the insulation of windings of electrical machines in the form of electrical breakdown and turn-to-turn short circuits. However, in most cases, the effects of aging can be eliminated by restoration of the insulation [6].

Aging processes limit the service life of insulating structures [7; 8]. Therefore, in development, manufacture and operation of high voltage equipment, measures should be taken to reduce the aging rate of insulation to such a level that ensures the required service life of insulating structures which is of 20–30 years or more [9; 10]. The main patterns of aging of insulation and methods of its preventive testing are considered in [11–13].

During operation, following the transmission of various types of energy to electrical

insulation, a significant change in its initial properties occurs. There are the following types of insulation aging: electrical, mechanical, and thermal aging. Besides, the current state and intensity of aging processes can be significantly influenced by the external environment, high humidity, and pollution.

It is known that electrical breakdown of solid dielectrics occurs mainly for the following reasons [13]:

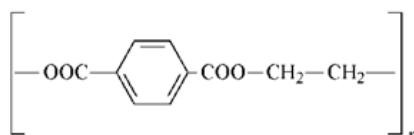
a) *mechanical – mechanical destruction, namely development of microcracks that weaken dielectric strength.* In order to increase operational reliability of TEM, high mechanical properties of insulating materials of the pole and armature windings must be ensured, which are necessary to maintain the dielectric strength of the insulation, frost resistance and heat resistance both during manufacture of TEM and during long-term operation, when windings are exposed to the influence of contrasting temperatures, significant centrifugal and electrodynamic influences, shaking, vibrations and shocks [14];

b) *thermal – a change in properties and structure of a dielectric, an increase in thermal conductivity.* Thermal processes play a decisive role in changing the properties and features of elements, in the process of their destruction and aging. The rates of thermal aging of insulation are determined by the rates of chemical reactions, depending on temperature. The service life of dielectric exposed to thermal aging is generally believed to be inversely proportional to the rate of chemical reactions, which are related to temperature by the Arrhenius equation. This results in the Montzinger rule (the rule of eight degrees) [14].

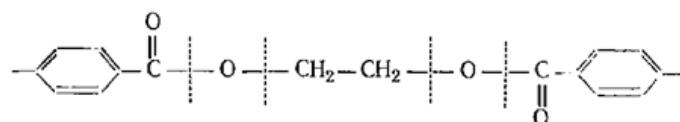
c) *electrical – impulse overvoltage, ionization followed by the process of ejection of electrons from atoms, molecules, and ions.* When the dielectric material is in a high-temperature field, partial decomposition of the material occurs, which is the more intense, the higher is the temperature. Over time, there is a gradual increase in porosity of the insulating material. This leads to appearance of local electrical inhomogeneities, which affect the change in the local dielectric constant (permittivity), which, in turn, leads to occurrence of local overvoltage when an alternating electric field is applied to the insulating material [14].

Analysis of data on TEM failures showed that thermal aging during operation has the

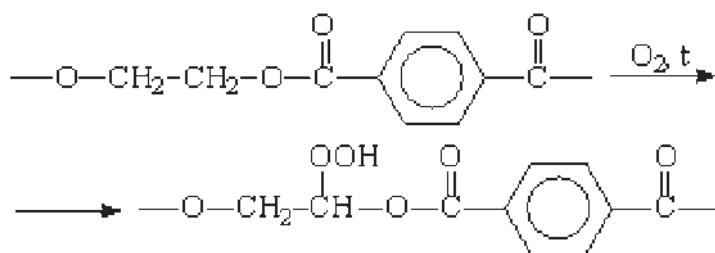




Pic. 1. Structural formula of polyethylene terephthalate polymer film.



Pic. 2. Homolytic (radical) rupture of C-O bonds of a film made of polyethylene terephthalate polymer.



Pic. 3. Thermal oxidative destruction of polyethylene terephthalate.

greatest negative effect on strength of the turn insulation of windings. In works [15; 16] the authors point out that «many physicochemical processes associated with occurrence of failures in coil insulation are thermally activated processes, i.e. intensity of processes increases with increasing temperature». At the same time, destruction of TEM insulating material through appearance of porosity and cracking, is due to the effect of mechanical loads, in particular, vibration.

Considering the mechanisms of decomposition of the electrical insulation material of traction electric motors of NB-418K6 type, it was found that the cause of electrical breakdown of traction electric motor windings is thermal and thermal oxidative destruction, leading to mechanical destruction of electrical insulation with formation of cracks in it and to carbonization (charring) of electrical insulation, which is accompanied by a sharp drop in its electrical resistance.

Electrical insulation of Elmikaterm-524019 type, used in NB418-K6 traction motors, is a composition consisting of mica paper (28 % by

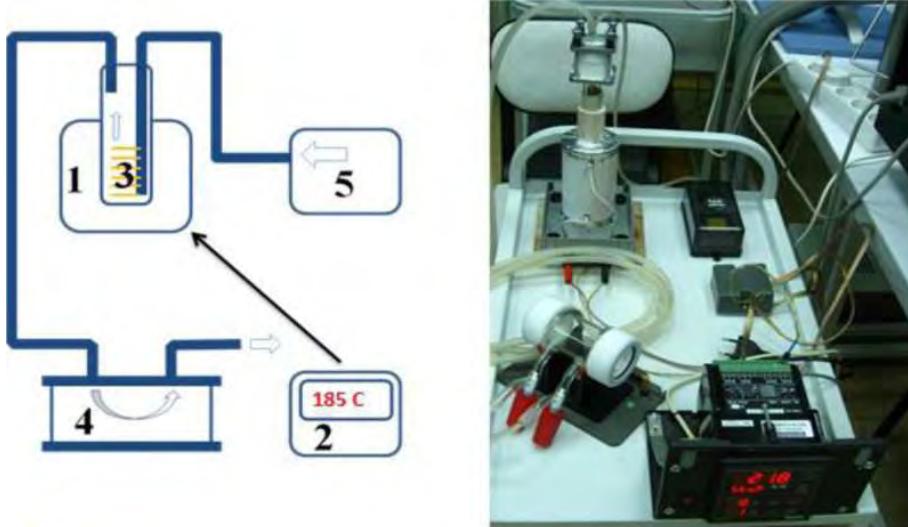
weight), glass fiber cloth and polyethylene terephthalate film (together 32–52 % by weight), glued together and impregnated with electrical insulating varnish or a compound (20–40 % by weight). Its organic component suffers first of all in case of its thermal and thermal oxidative destruction.

The basis of Elmikaterm-524019 electrical insulation is a film made of polyethylene terephthalate (lavsan) polymer (Pic. 1).

During heating, there is mainly a homolytic (radical) rupture of C-O bonds, as the least strong (Pic. 2).

The process of thermal oxidative destruction of polyethylene terephthalate proceeds intensively at temperatures of 170–220°C. The presence of air contributes to significant destruction of insulation, which is accompanied by yellowing and intense release of such gaseous products as acetaldehyde, carbon monoxide and carbon dioxide (Pic. 3).

The IR spectrum of the emitted volatile products contains compounds with C-O bonds – ethers and esters, acids, aldehydes, acetals. It is the appearance of these compounds



Pic. 4. Temperature-controlled attachment for the study of gaseous products from an insulating material with a calibration cuvette.

in the IR spectrum that indicates beginning of destruction of polymer electrical insulation, and their disappearance shows its complete destruction. Studies have shown that compounds with such groups during thermolysis of the considered electrical insulation can be observed in the IR spectrum in the following wave number ranges:

- C=O (ester, acidic) – 1770–1680 cm^{-1} (a system of overlapping peaks is observed in this area);
- C–O (ethers and esters, acids, acetals) – 1300–1000 cm^{-1} (peaks are observed at 1038, 1065, 1125, 1155, 1169, 1241, 1295);
- deformation vibrations of C–C bonds of aromatic rings – 2000–1667 (a system of weak peaks is observed) and 900–690 cm^{-1} (740, 812, 877);
- compounds with bonds, H–C = (for example, ethylene) – 1000–800 cm^{-1} (there is a peak at 937 cm^{-1});
- compounds with C = C bonds – 1500–1700 cm^{-1} (at the early stages of heating, there are series of intense peaks).

Based on the results of the analysis of the currently existing technical means, it has been established that there are currently no simple optical sensors for acetaldehyde, methyl-dioxolane and other indicated compounds operating under conditions of a dense background of vapors of other organic compounds. The service life of existing industrial electrochemical sensors will be

extremely short as a result of a chain of specific chemical reactions in the atmosphere of a gas released from the heated insulation of a traction motor that operates in real conditions of pollution from decomposition of petroleum products, which contributes to their intensive failure.

Thus, it is advisable to proceed with the analysis of the IR spectrum of emitted volatile products during thermal and thermooxidative destruction of electrical insulation using a specialized infrared IR interferometer tuned to frequency from within the set of the above analytical vibrations, and adapted also to sampling.

Based on the results of the studies carried out, the required selectivity of analysis in the IR wavelength range was established. In all experiments with analytical tasks, an identical measurement technique was used, which provides for introduction of a gaseous sample into a gas cell, after its preliminary pumping with clean air for 30 minutes. This made it possible to avoid the influence of the atmosphere from previous measurements on subsequent series of experiments.

The device began each new measuring in the same starting state. This state was monitored by a test recording of the IR spectrum of an empty cuvette with air pumping through the empty reactor of the furnace. When the result of initial control of the cuvette atmosphere was satisfactory, a sample was introduced into the



reactor chamber (Pic. 4), and a series of spectra were recorded.

The spectra were recorded in the mid-IR range of 5000–350 cm^{-1} , which is the most informative for studying the molecular structure of organic compounds. The selected spectral resolution of 2 cm^{-1} is standard for most studies of this type and is determined to be optimal in trial measurements.

Based on the results of the measurements obtained during the described studies, it was found that thermal decomposition of organic compounds that make up the considered insulating material, accompanied by parallel thermolysis of substances contaminating the outer shell of TEM windings, has a rather complex kinetics with formation of a large number of different products in the gas phase. It is advisable to determine wear category of the insulating material by the method of IR spectrophotometry according to relative transmittance of electromagnetic radiation in the gas atmosphere, removed from TEM winding. The research results confirmed that measurements can be carried out according to the developed method, the analytical part of which is based on assessment of relative intensity of the absorption peak with a maximum in the range of 1150–950 cm^{-1} , corresponding to excitation of simple vibrations C-O in the most important thermolysis products of polymer electrical insulation which are ethers and esters, carboxylic acids, acetals.

To determine the effect of the degree of wear of the insulation of TEM NB-418K6 windings on intensity of the total volume of gas emissions, including carbon dioxide emissions, samples of insulating material from the main poles of different NB-418K6 traction motors of electric locomotives were studied. Samples comprised K-20 lavsan film and Elmicatherm mica film with dimensions 0,1 x 20 and 0,13 x 30.

Based on the spectra of all samples, it was concluded that emission of carbon dioxide following heating sequentially increased due to initiation of the oxidation process of organic compounds included in all samples. In this case, the lower is the degree of insulation wear, the greater is the total volume of gas emission. It should be noted that a large amount of water vapor was released by the material of all samples at the operating temperature, and it corresponded to spectral regions with a large number of narrow lines with centers near 3800 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} .

To identify the characteristic control component, experiments were carried out to determine composition of contaminating inclusions in emanating gases of the insulation of TEM windings. When comparing the results of measurements of samples of contaminated samples and a sample with working insulation from a new engine, it was found that the main regularities in the change in intensities of lines and absorption bands are stably maintained. However, appearance and growth of intensity of new absorption lines is noted, primarily in the range of 740–1000 cm^{-1} , which is associated with appearance of substituted benzene derivatives in the gas phase during thermolysis of hydrocarbons that are part of lubricating oils. The products of insulation and dirt thermolysis, similar in chemical nature, do not make it possible to use the 740 cm^{-1} area as an analytical one, i.e. the 740 cm^{-1} band is not suitable for assessing the insulation service category under real conditions.

The conducted experimental studies allowed to reveal that only a wide multicomponent band in the region of 1150–950 cm^{-1} with a maximum near 1090 cm^{-1} is the most informative and resistant to overlapping with absorption lines of dirt in the applied frequency range of IR radiation. The shape of this band is far enough away from the parasitic intense absorption lines associated with appearance of pollution.

The analysis of relative intensity of the absorption band of a gas atmosphere at 1090 cm^{-1} from insulation samples with different degrees of wear indicates that the position of the maximum of this band and its intensity indicate the state of the material. In the new material, relative intensity of this band is maximal, and its center is slightly shifted to the low-frequency region, to a value of 1070 cm^{-1} . If there is a fault in the insulation, intensity of this band is low and it is hardly distinguishable at the background level, i.e. it is absent. In the spectrum of a sample with pre-breakdown or contaminated insulation, intensity has a similar relative intensity, but gets a slightly different ratio of the right and left components – 1080 and 1120 cm^{-1} . Based on the analysis of experimental data, it was found that the intensity of the absorption band of gas atmosphere can be used to identify an engine which is not a new one but is still in working condition.

Conclusions

Thus, based on the results of measurements obtained during performance of the described studies, it can be concluded that thermal decomposition of organic compounds that make up the insulating material, accompanied by parallel thermolysis of substances contaminating the outer shell of TEM windings, has a rather complex kinetics with formation of a large number of different products in the gas phase. For qualitative determination of wear category of the insulating material, it is advisable to use the method of IR spectrophotometry based on relative transmittance of electromagnetic radiation in the gas atmosphere removed from TEM winding. An informative measurement should be carried out according to the developed method, the analytical part of which is based on assessment of relative intensity of the absorption peak with the maximum in the range of 1150–950 cm^{-1} , corresponding to excitation of simple vibrations C–O in the most important thermolysis products of polymer electrical insulation which are ethers and esters, carboxylic acids, acetals.

REFERENCES

1. García-Garre, A., Gabaldón, A. Analysis, Evaluation and Simulation of Railway Diesel-Electric and Hybrid Units as Distributed Energy Resources. Electrical Engineering Area, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena, Spain. *Appl. Sci.*, 2019, Vol. 9, Iss. 17, 3605. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9173605>.
2. Liudvinavičius, L., Jastremskas, V. Modernization of Diesel-electric Locomotive 2M62 and TEP-70 Locomotives with Respect to Electrical Subsystem. 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017, *Transportation Science and Technology, Procedia Engineering*, 2017, Vol. 187, pp. 272–280. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.375.
3. Railway transport in the Russian Federation, the CIS and abroad: Review [Zheleznodorozhniy transport Rossiiskoi Federatsii, SNG i za rubezhom: Obzor] / TsNIITEI MPS. Moscow, 2001, Iss. 28, 131 p.
4. Zagrebelskiy, A. M., Kadyshev, S. A., Rebrik, B. N. Cost of the life cycle of an electric locomotive [Stoimost zhiznennogo tsikla elektrovoza]. *Zheleznodorozhniy transport*, 1998, Iss. 12, pp. 34–36.
5. Serebryakov, A. S. Methods and means for diagnostics of insulation of electrical machines and devices for its protection. D.Sc. (Eng) thesis [Metody i sredstva dlya diagnostiki izolyatsii elektricheskikh mashin i apparatov ee zashchity. Dis... doc. tekh. nauk]. Moscow, MGUPS (MIIT) publ., 2000, 438 p.
6. Bazutkin, V. V., Larionov, V. P., Pintal, Yu. S. Technique of high voltage. Insulation and overvoltage in electrical systems: Textbook for electric power specialties of universities [Tekhnika vysokikh napryazhenii. Izolyatsiya i perenapryazheniya v elektricheskikh sistemakh: Uchebnik dlya elektroenerg. spets. vuzov]. Ed. by V. P. Larionov. 3rd ed., rev. and enl. Moscow, Energoatomizdat publ., 1986, 463 p.
7. Study of electrical characteristics of the internal insulation of high-voltage electrical equipment. Tests to check service life and research on aging of insulation of power capacitors, cables, electrical machines, conductors and SF6 switchgear 110–330 kV. Research report (report on the stage) / Scientific Research Institute for Electricity Transmission with High Voltage Direct Current (NIIPT); lead. V. I. Popkov [Issledovanie elektricheskikh kharakteristik vnutrennei izolyatsii vysokovoltnogo elektrooborudovaniya. Ispytaniya na srok sluzhby i issledovanie stareniya izolyatsii silovykh kondensatorov, kablei, elektricheskikh mashin, tokoprovodov i elektrosvyazivayushchikh KPU 110–330 kV: Otchet o NIR (otchet po etapu)]. Leningrad, 1984, 45 p., No. GR01840079292, Inv. No. 02050005358.
8. Study of ways to improve methods of testing and control of insulation of electrical machines, transformers, capacitors: report on research (interim.) [Issledovanie putei sovershenstvovaniya metodov ispytaniya i kontrolya izolyatsii elektricheskikh mashin, transformatorov, kondensatorov: otchet o NIR (promezh.)]. Novosibirsk electrical engineering Institute of Communications (NIEIS); lead. Yu. K. Gorbunov. Novosibirsk, 1987, 46 p., No. GR01850065632. Inv. No. 02880914844.
9. Goldberg, O. D. Testing electrical machines: Textbook for universities on specialty of Electric machines [Ispytaniya elektricheskikh mashin: Uchebnik dlya vuzov po spets. «Elektricheskie mashiny»]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1990, 254 p.
10. Goldberg, O. D., Abdullaev, I. M., Abiev, A. N. Automation of parameter control and diagnostics of asynchronous motors [Avtomatizatsiya kontrolya parametrov i diagnostika asinkhronnykh dvigatelej]. Ed. by O. D. Goldberg. Moscow, Energoatomizdat publ., 1991, 159 p.
11. Goffaux, R. The physical meaning of the criteria characterizing the state of high-voltage insulation of electrical machines [Translation of the article: Goffaux, R. Sur la signification physique des critères caractérisant l'état de l'isolation HT de machines tournantes. *Révue Générale de L'Electricité*, 1986, Iss. 2]. VNTI-Center, 1193:53979, No. 0689001388. Moscow, 1988, 24 p.
12. David, P., Fazekash, G., Horvath, A. Characteristics of thermal stability of electrical insulating materials and insulation, taking into account the thermogravimetric index and standard temperature index [Translation of the article published in: *Elektrotehnika*, 1988, Iss. 81, pp. 173–176]. VNTI-Center, S-73674, No. 0690200209. Moscow, 1990, 10 p..
13. Ismailov, Sh. K. Increasing the resource of insulation of windings of electric machines of rolling stock under operating conditions. D.Sc. (Eng) thesis [Povyshenie resursa izolyatsii obmotok elektricheskikh mashin podyvizhnogo sostava v usloviyakh ekspluatatsii. Dis... doc. tekh. nauk]. Omsk, 2004, 418 p.
14. Vinokurov, V. A., Popov, D. A. Electric machines of railway transport: Textbook [Elektricheskie mashiny zheleznodorozhzhnogo transporta: Uchebnik]. Moscow, Transport publ., 1986, 511 p.
15. Andreev, G. A., Vorobyov, A. A., Kuchin, V. D. Temperature dependence of the electrical strength of ionic crystals at thermal and electrical breakdown [Temperaturnaya zavisimost' elektricheskoi prochnosti ionnykh kristallov pri teplovom i elektricheskem proboge]. *Izvestiya vuzov. Physics*, 1957, Iss. 1, pp. 128–140.
16. Kuchin, V. D. Dependence of the electrical strength of ionic crystals on temperature in the electronic form of breakdown [Zavisimost' elektricheskoi prochnosti ionnykh kristallov ot temperatury pri elektronnoi forme proboya]. *Izvestiya vuzov. Physics*, 1958, Iss. 2, pp. 114–120.





УМНЫЕ ПЕРЕКРЁСТКИ В МОСКВЕ

В этом году в столице планируют организовать 400 умных перекрёстков. После внедрения новой системы автобусы, троллейбусы, электробусы и трамваи будут передвигаться по городу быстрее и без задержек.

«В 2019 году мы сделали около сотни умных перекрёстков, которые сокращают заторы и ускоряют работу именно городского транспорта. Система за счёт нескольких типов датчиков и соответствующей информационной транспортной системы выделяет из потока автобусы, трамваи, электробусы и отдаёт команду на приоритет проезда. Таким образом включается зелёный сигнал светофора», — рассказали в пресс-службе Центра организации дорожного движения.

Среднее время прохождения перекрёстка сокращается примерно на 15–20 %. Кроме того, устанавливаются специальные кнопки для пешеходов, которые работают в ночное время. С 07:00 до 21:00 пешеходная фаза включается автоматически.

Умные перекрёстки можно встретить на пересечениях Чонгарского и Симферопольского бульваров, Судостроительной улицы и Кленового бульвара. Уже сейчас пропускная способность там повышается на 15–20 %, а время ожидания пешеходной фазы сокращается на 18–23 %. Приоритет городского транспорта в Москве будет обеспечен на 500 перекрёстках.

Умная система управления светофорами работает в Сингапуре, США, Дании, Нидерландах и других странах. Например, благодаря ей в Лос-Анджелесе скорость передвижения автобусов возросла на четверть. Система, которая внедряется в Москве, основана на общепризнанной мировой технологии, но адаптирована к столичным условиям.

На основе материалов официального сайта мэра Москвы <https://www.mos.ru/news/item/71399073/> ●

SMART INTERSECTIONS IN MOSCOW

Тhis year, the capital plans to organize 400 smart intersections. After the introduction of the new system, buses, trolley buses, electric buses and trams will move around the city faster and without delay.

«In 2019, we have made about a hundred smart intersections that reduce congestion and accelerate the work of urban transport. The system, thanks to several types of sensors and the corresponding information transport system, identifies buses, trams, electric buses and gives them the priority. Thus, the green traffic light is turned on», — the press service of the city Center for Traffic Organization said.

The average time for crossing an intersection is reduced by about 15 to 20 %. Besides, special buttons are installed for pedestrians who work at night. From 7 a.m. to 9 p.m., the pedestrian phase is automatically switched on.

Smart intersections can be found at the intersections of Chongar and Simferopol boulevards, Sudostroiteley street and Klenovy boulevard. Transit capacity there had immediately increased by 15 to 20 %, and waiting time for the pedestrian phase has been reduced by 18 to 23 %. The priority for urban transport in Moscow will be provided at 500 intersections.

The smart traffic light management system operates in Singapore, USA, Denmark, the Netherlands and other countries. For example, in Los Angeles, bus speed increased by a quarter. The system, which is being implemented in Moscow, is based on universally recognized world technology, that has been adapted to the local conditions.

Compiled from the materials of the official website of Moscow Mayor <https://www.mos.ru/news/item/71399073/> ●



ИНСТИТУТ
ЭКОНОМИКИ И
ФИНАНСОВ
90 ЛЕТ



90 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ЭКОНОМИКИ И ФИНАНСОВ РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТРАНСПОРТА

29 мая 2020 года Институт экономики и финансов Российского университета транспорта отмечает 90-летний юбилей.

История ИЭФ во многом отражает эволюцию российской транспортной отрасли.

С развитием транспорта ещё в XIX веке возникла широкая потребность не только в инженерных, но и экономических кадрах для отрасли. На первых порах индустриального развития граница между техническими и экономическими расчётами была не всегда очевидной, и последние зачастую производились проектировщиками, строителями, специалистами по эксплуатации путей сообщения.

Специалисты по теории и методологии экономических вычислений на

транспорте, как правило, формировалась из экономистов, финансистов и статистиков общего профиля.

Однако такая ситуация не позволяла массово готовить квалифицированных экономистов, работающих на основе единых методик и владеющих основами техники и технологии транспортных процессов в достаточной степени, чтобы понимать источники формирования затрат и результатов при принятии управленческих решений. Подготовка именно таких специалистов становилась с каждым годом всё более необходимой.

В связи с этим 29 мая 1930 года был создан Московский транспортно-экономический институт. Перед институтом была поставлена задача подготовки высококвалифицированных экономистов для железнодорожного,





морского, речного и автодорожного транспорта. В числе факультетов института помимо планового были железнодорожный, водный и автодорожный факультеты, включавшие кафедры по сооружению, содержанию и эксплуатации объектов соответствующих видов транспорта.

В 1933 году институт вошёл в состав МИИТ, в 1948 году вновь приобрёл статус Московского транспортно-экономического института, а в 1958 году вернулся в МИИТ.

Сейчас ИЭФ является одним из ведущих институтов Российского университета транспорта.

В настоящее время ИЭФ готовит специалистов, бакалавров и магистров по направлениям «Экономика», «Менеджмент», «Торговое дело», «Бизнес-информатика», «Прикладная информатика», «Лингвистика».

В составе ИЭФ в 2005 году была создана Высшая транспортная бизнес-школа – подразделение, реализующее программы бизнес-образования для работников транспортного комплекса.

За 15 лет существования ВТБШ выпущено более 500 слушателей МВА, многие из которых стали крупными руководителями в транспортных организациях.

В 2018 г. в составе института был образован научно-образовательный центр «ЛИН-академия», сотрудники которого занимаются научным обоснованием и внедрением методов выявления и устранения потерь при реализации бизнес-процессов транспортных компаний, а также реализацией программ дополнительного профессионального образования в данной сфере.

В 2018 году ИЭФ стал членом Национальной платформы открытого образования и разработал, первый в Университете, массовый открытый онлайн-курс (МООК) «Экономические основы транспортной деятельности», по которому сейчас обучается более 1000 человек.

Подробнее ознакомиться с историей ИЭФ РУТ (МИИТ) можно на с. 226●



90TH ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE OF ECONOMICS AND FINANCE OF RUSSIAN UNIVERSITY OF TRANSPORT

May 29, 2020 is the anniversary date for the Institute of Economics and Finance (IEF) of Russian University of Transport.

The history of the Institute reflects the evolution of the Russian transport industry.

Developments in the transport sector as early as in 19th century generated a demand not only for engineering, but also for highly qualified economic employees for the industry. At the first stages of industrial development, the border between technical and economic calculations was not always obvious, and the latter were often made by designers, builders, traffic and infrastructure engineers.

Rail staff competent in the theory and methodology of economic calculations usually were educated from among the employees with general economic, financial and statistician educational background.

However, this situation did not allow mass training of qualified economists mastering uniform methods and possessing the fundamentals of transportation technology to the extent sufficient to deeply understand costing processes when making management decisions. The training of such specialists has become vital for the national economy.

In this regard, on May 29, 1930, Moscow Transport and Economic Institute



was founded. The Institute was assigned a task to train highly qualified economists for railway, sea, river, and road transport. Institute comprised planification, railway, water and road faculties, which in turn integrated departments for construction, maintenance and operation of facilities of respective modes of transport.

In 1933 the Institute merged with Moscow Institute of Railway Engineers (MIIT), in 1948 acquired again the status of Moscow Transport and Economic Institute, and in 1958 rejoined MIIT.

IEF is now one of the leading institutes of Russian University of Transport.

IEF trains engineers, bachelors, and masters in the fields of economics, management, trade, business and applied informatics, linguistics.

Since 2005, the Higher Transport Business School has implemented business education programs for transport employees. More than 500 students have been awarded

MBA diplomas over the 15 years of the existence of HTBS. Many graduates have become executives in transport organizations.

Since 2018 the research and educational center LEAN Academy has started research in the methods for identifying and eliminating losses in implementation of business processes of transport companies, as well as held programs of advanced professional education in that field.

In 2018, IEF became a member of the National Platform for Open Education and developed, the first at the Russian University of Transport, a Massive Open Online Course (MOOC) dedicated to economic foundations of transport activity, which is currently attended by more than 1000 trainees.

To continue reading on IEF of Russian University of Transport please see the article at p. 236 •



АВИАКОМПАНИИ 118

Инструменты распознавания рисков финансовой неустойчивости.

ТРАНСПОРТНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ 136

Как построить корпоративный дом качества для клиентов.

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ И ИННОВАЦИИ 158

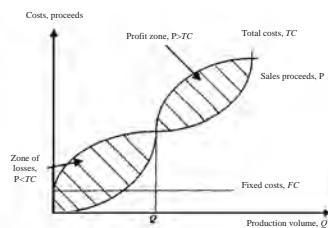
Комплексное управление инновациями в железнодорожных компаниях: опыт создания внутрикорпоративных моделей и взаимодействия.



ЭКОНОМИКА • ECONOMICS

AIRLINES 127

Tools to identify risks of financial instability.



TRANSPORTATION SERVICES 148

How shall we build corporate House of Quality for customers?

COMPETITIVENESS AND INNOVATION 165

Innovation management in rail companies: practices of development of intracorporate models and of interaction.





Исследование предпосылок возникновения операционного убытка в деятельности авиакомпании



Жуков Василий Егорович – Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия.

Василий ЖУКОВ

Методы анализа хозяйственной деятельности авиапредприятий и прогнозирование предпосылок банкротства авиакомпаний становятся важной задачей развития отрасли. В прошлые годы имелся резонансный негативный опыт, связанный с банкротством авиакомпаний. При этом объёмные показатели некоторых авиакомпаний незадолго до момента банкротства имели положительную динамику и рассматривались по матрице БКГ как явные «звёзды» по темпам прироста объёмов производства и приросту доли рынка авиаперевозок.

Среди них в России можно назвать авиакомпанию «Сибирь», которая в 2007–2008 гг. с большими усилиями избежала банкротства, и авиакомпанию «Трансаэро», которая навсегда покинула рынок авиаперевозок. Первые лоукостеры – «Скайэкспресс» и «Авианова» – разорились на фоне высоких темпов роста количества перевезённых пассажиров.

Задача, поставленная в статье, нацелена на формирование модели, позволяющей моделировать ситуацию, связанную с преодолением авиа-

компанией так называемой «второй точки безубыточности». Для прогнозирования возможного срока получения авиакомпанией операционного убытка на фоне растущих объёмных показателей использованы производственные и финансовые показатели деятельности одной из ведущих авиакомпаний нашей страны.

Методом исследования задачи, реализуемой в статье, является моделирование объёмных и финансовых показателей деятельности авиакомпаний. Но модель предлагается построить не на исследовании перспективы изменения роста объёмных и финансовых показателей, а на изучении динамики темпов изменения этих показателей. За основу исследования принят тот факт, что динамика авиаперевозок имеет циклическую основу, которая незаметна непосредственно при анализе изменения производственных и финансовых показателей, но отчётливо видна при изучении динамики темпов этих показателей, что и позволило смоделировать ситуацию, при которой в будущем у авиакомпании возникнет операционный убыток.

Ключевые слова: воздушный транспорт, гражданская авиация, объёмный показатель, финансовые показатели, операционный убыток, темпы изменения показателей, модель прогнозирования.

*Информация об авторе:

Жуков Василий Егорович – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия, vasizhukov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 28.12.2019, принятая к публикации 17.03.2020.

For the English text of the article please see p. 127.

ВВЕДЕНИЕ

Международная ассоциация воздушного транспорта (ИАТА) выявила, что нынешние тенденции в области воздушного транспорта предполагают, что число пассажиров может удвоиться до 8,2 млрд в 2037 году [1].

Последнее обновление к двадцатилетнему прогнозу ИАТА по авиаперевозкам показывает, что растущий сдвиг идёт на Восток, который станет центром тяжести отрасли и находится в стадии продолжающегося сильного роста. В течение следующих двух десятилетий прогноз предполагает совокупный годовой темп роста (CAGR) в размере 3,5 % [1], что приведёт к удвоению числа пассажиров по сравнению с сегодняшними уровнями. Из доклада генерального директора ИАТА Александра де Жуниака на последней сессии организации известно, что авиакомпании уже в десятый раз подряд завершают год с прибылью [1]. Между тем ИАТА снизила свой прогноз выручки авиаперевозчиков в 2019 году, но ожидает улучшения показателей в 2020 году [1].

Так, в этом году авиакомпании зарабатывают \$25,9 млрд. Это ниже июньского (2019 год) прогноза ИАТА в \$28 млрд [1]. Хотя скачок цен на топливо был не таким резким, как предполагали эксперты ассоциации, рост мирового ВВП и торговли оказался ниже, чем прогнозировалось в то время.

По словам де Жуниака, этот год станет «дном текущего экономического цикла». В 2020 году эксперты прогнозируют доход авиакомпаний в размере \$29,3 млрд [1]¹.

«Замедление экономического роста, торговые войны, геополитическая напряжённость и социальные волнения... – всё это вместе создаёт более жёсткую, чем ожидалось, бизнес-среду для авиаперевозчиков, – считает Александр де Жуниак. – Тем не менее отрасли удалось подойти к новому десятилетию в плюсе, поскольку реструктуризация и сокращение расходов продолжали приносить дивиденды» [1].

Целью данной статьи является представление инструментов анализа экономического положения на примере одной из российских авиакомпаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа используются объёмные и финансовые показатели деятельности авиакомпании как функции времени:

$$y = f(t). \quad (1)$$

Объёмным показателем будет количество перевезённых пассажиров (рис. 1).

Изменение объёмного показателя носит слабо выраженную циклическую, рост показателя до 2010 года, снижение и снова

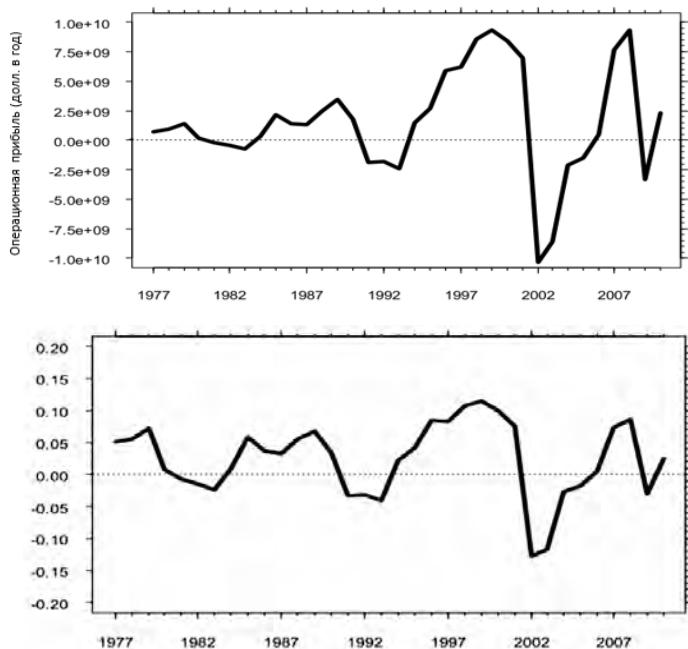
¹ Данные на момент принятия статьи в печать. Позднее ИКАО и ИАТА значительно скорректировали прогноз в сторону уменьшения ввиду пандемии, вызванной Ковид-19 – *прим. ред.*



Рис. 1. Количество перевезённых пассажиров [по итогам работы авиакомпании].



Рис. 2. Операционная прибыль и операционная маржа авиапромышленности США (прибыль/выручка) (сохранена терминология оригинального текста) [2].



рост. Цикличность объёмного показателя может иметь значительное влияние на финансовые показатели авиакомпании. Но график на рис. 1 показывает, что авиакомпания развивается успешно и особых угроз потери прибыли не замечается. Задача, поставленная в статье, сводится к тому, что необходимо выработать модель предупреждения опасного движения авиаперевозчика к получению операционных убытков. В литературе по анализу финансовых показателей деятельности авиакомпаний США отмечается явная цикличность такого показателя, как операционная прибыль (рис. 2) [2].

График изменения операционной прибыли для исследуемой авиакомпании не показывает явной цикличности, можно видеть уверенный рост с периодами замедления и ускорения (рис. 3). Следовательно, предсказать будущие убытки авиакомпании, используя только динамику изменения операционной прибыли, будет недостаточно обосновано. Наибольшая достоверность аппроксимации полиномиального тренда составляет 0,77. Но использование для прогноза полиномиального тренда, как показывает практика, связано с ошибками вычислений, тем более что тренд в конце анализируемого периода имеет отрицатель-



Рис. 3. Динамика операционной прибыли анализируемой авиакомпании (график составлен автором).

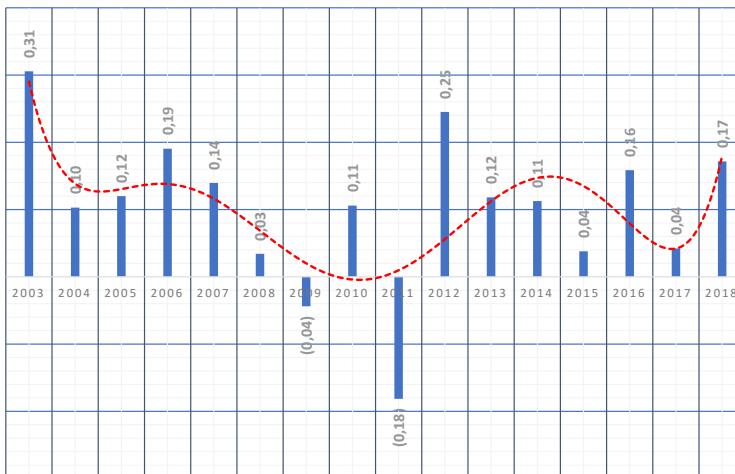


Рис. 4. Динамика темпов объёмного показателя (график составлен автором).

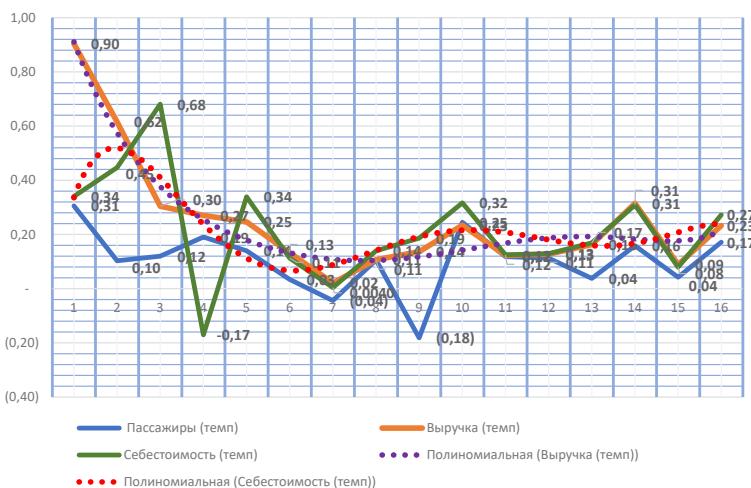


Рис. 5. Динамика темпов объёмного и финансовых показателей (график составлен автором).

ную динамику, что в дальнейшем определит общую динамику прогноза.

Мировая практика анализа производственной деятельности авиакомпаний показывает, что цикличность показателей имеет место, то есть наблюдаются периоды подъёма и периоды спада экономики отрасли. Ранее уже приводилось высказывание Александра де Жуниака о «дне текущего экономического цикла» [1]. В анализируемой компании циклический характер динамики объёмного показателя отсутствует. Но изучение динамики, то есть скорости изменения показателя, можно продолжить и рассмотреть производную от скорости, ускорение или темпы изменения показателя (рис. 4).

На графике видна явная цикличность, периодическое изменение темпов пассажирских перевозок. Период изменения показателя составляет 6–7 лет. Также можно заметить изменение амплитуды колебания показателя. Среднегодовой темп роста, рассчитываемый по формуле 2 составляет 9,18 %:

$$CAGR(t_0, t_n) = \left(\frac{V(t_n)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{t_n - t_0}} - 1, \quad (2)$$

где $V(t_0)$ – начальное значение параметра;
 $V(t_n)$ – конечное значение параметра;
 $t_n - t_0$ – количество лет.

Первый параметр, изменение темпов показателя, можно считать параметром для





Таблица 1

Значения корреляции объёмного и финансовых показателей (расчёт автора)

	Пассажиры	Выручка
Пассажиры	1	
Выручка	0,981084962	1
Себестоимость	0,971206513	0,997498666

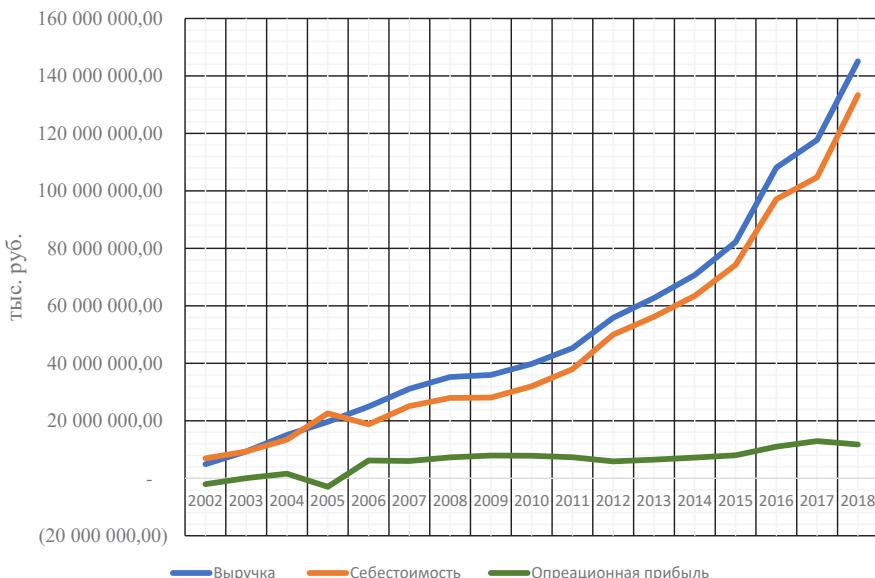


Рис. 6. Динамика изменения финансовых показателей (график составлен автором).

составления представления о будущих результатах производственной деятельности. Наряду с объёмным показателем следует рассмотреть динамику финансовых показателей (рис. 5).

Из диаграммы видно, что темпы изменения финансовых показателей имеют циклический характер, что может свидетельствовать о высокой степени корреляции объёмного и финансовых показателей (табл. 1).

Исследуя значения темпов изменения финансовых показателей, можно заметить, что в целом показатели финансовой успешности авиакомпании находятся на уровне, обеспечивающем получение операционной прибыли (рис. 6).

Однако исходя из графика изменения темпов финансовых показателей стоит заметить, что темпы себестоимости авиатранспортной услуги в отдельные периоды превышают темпы выручки, что может в перспективе привести к операционному убытку. Выравнивание положения, позволяющего получать прибыль, происходит только за счёт повышения стоимости авиаперевозки. Приближенное значение тарифа

за перевозку можно получить, рассчитав значение выручки на одного пассажира. Среднегодовой темп изменения выручки $CAGR = 0,73$ (73 %), а себестоимости $CAGR = 0,71$ (71 %). Это показывает, что цены на перевозку и себестоимость имеют примерно одинаковый темп. Это подчёркивает тот факт, что авиакомпания не беспокоится о снижении себестоимости, а растущие затраты покрывает ростом цен на перевозку (рис. 7). Диаграмма показывает, что темпы изменения себестоимости в отдельные периоды выше темпов изменения выручки.

Выполненный на данном этапе анализ показывает, что авиакомпания находится в состоянии постоянной угрозы получения убытков от операционной деятельности. Бесконечный рост цен на перевозку невозможен, так как он напрямую связан с покупательской способностью населения, которая зависит от уровня среднедушевых доходов. Динамика среднедушевых доходов населения представлена на рис. 8.

Если рассчитать среднегодовой темп роста (CAGR) этого показателя, то в исследуемый период он равен 0,07 (7 %). Среднегодовой темп роста выручки в этот же

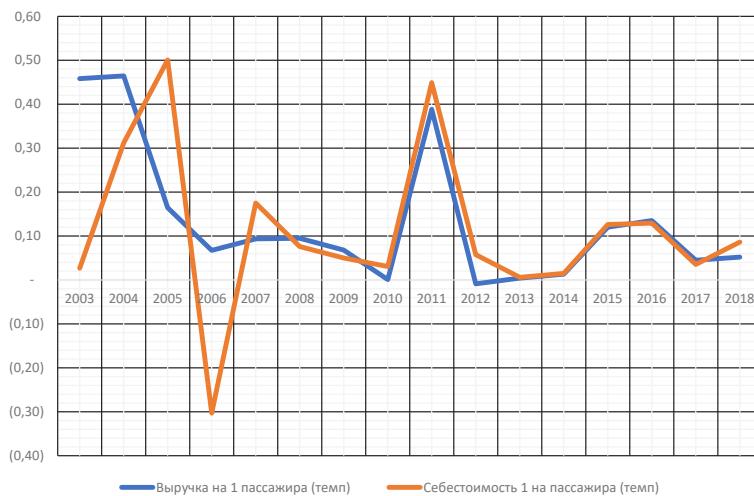


Рис. 7. Темпы изменения выручки и себестоимости в расчёте на одного пассажира (график составлен автором).

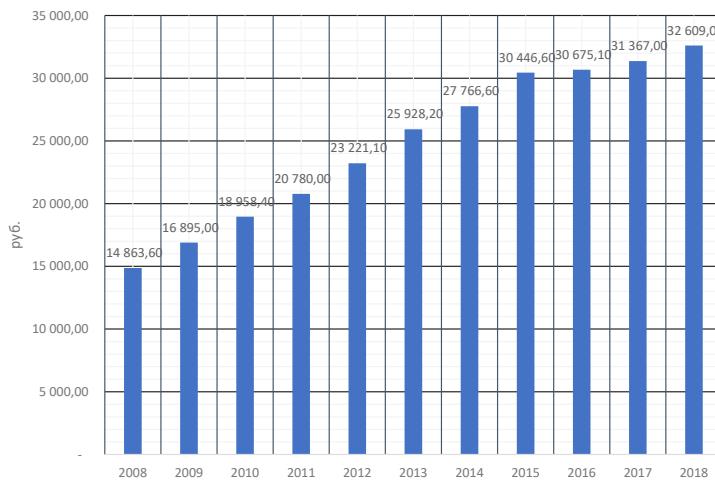


Рис. 8. Среднедушевые доходы населения РФ [4].

период, с 2008 по 2018 годы 0,14 (14 %), а среднегодовой темп роста себестоимости 0,15 (15 %). Следовательно, темп роста стоимости перевозки в два раза больше, чем темп роста среднедушевых доходов населения страны, что приведёт к затуханию спроса на авиаперевозки. Они и сейчас имеют рост только за счёт часто летающих деловых пассажиров и чартерных перевозок, а также пассажиров, использующих свои сбережения или кредиты банков.

Определить предел, за которым авиакомпания не будет получать прибыли, позволит моделирование точки безубыточности.

«Точка безубыточности – это объём производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы дохо-

дами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль» [5].

Расчёт точки безубыточности ВЕР можно выполнить аналитически в денежном эквиваленте. Это значение принято называть порогом рентабельности:

$$ВЕРд = \frac{TFC}{KMR}, \quad (3)$$

где TFC – постоянные расходы;

KMR – коэффициент маржинального дохода:

$$KMR = \frac{MR}{TR}, \quad (4)$$

где MR – маржинальный доход;

TP – выручка.



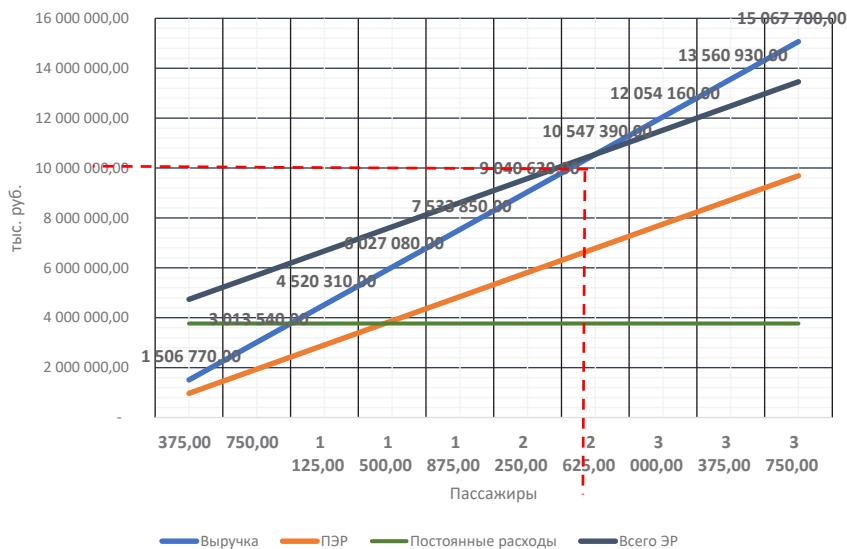


Рис. 9. График точки безубыточности (график составлен автором).

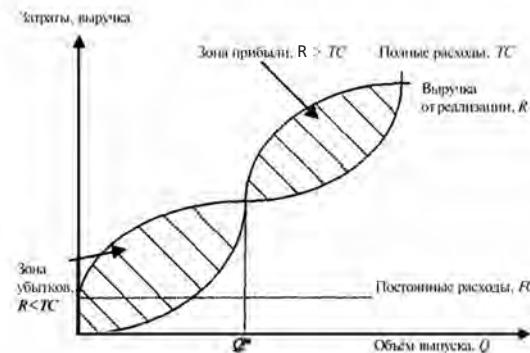


Рис. 10. Графическое представление нелинейной зависимости показателей доходов и расходов при увеличении объема производства [3].

$$MR = TR - TVC, \quad (5)$$

где TVC – переменные расходы.

Точка безубыточности в натуральном выражении, в описываемой модели – это количество перевезенных пассажиров, рассчитывается по формуле:

$$BEP_H = \frac{TFC}{P - AVC}, \quad (6)$$

где P – выручка в расчёте на одного пассажира;

AVC – переменные расходы на одного пассажира.

Применительно к исследуемой авиакомпании – $BEP_H = 10556387$ тыс. руб., $BEP_H = 2627$ тыс. пассажиров. Графически результаты расчётов также подтверждаются (рис. 9).

На графике все показатели имеют линейную зависимость, но как уже указыва-

лось ранее, это нереально, особенно при построении графика в перспективе. Показатели на графике точки безубыточности приобретают нелинейную форму (рис. 10). С логической точки зрения такое поведение анализируемых показателей вполне реально и оправданно.

Выпуклый график показателя выручки можно описать логарифмической функцией $y = \ln(x)$, а вогнутый график расходов – экспоненциальной функцией $y = e^x$.

Поэтому можно предположить, что для моделирования нелинейности показателей достаточно описать их динамику нелинейными функциями, приведёнными выше. Но это не представляется возможным, так как при проектировании показателей в динамике нескольких лет все показатели принимают нелинейную

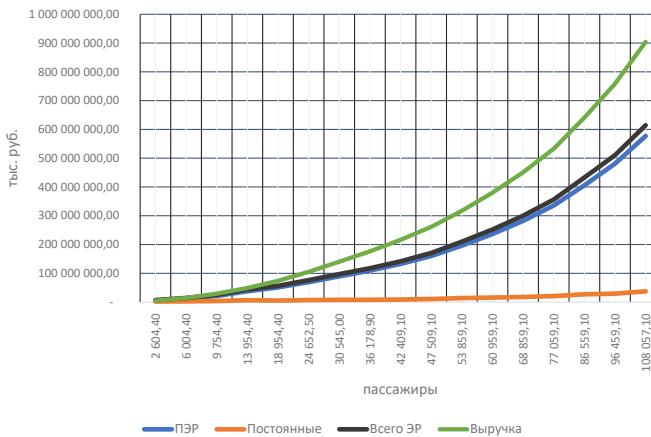


Рис. 11. Динамика изменения показателей в перспективе (график составлен автором).

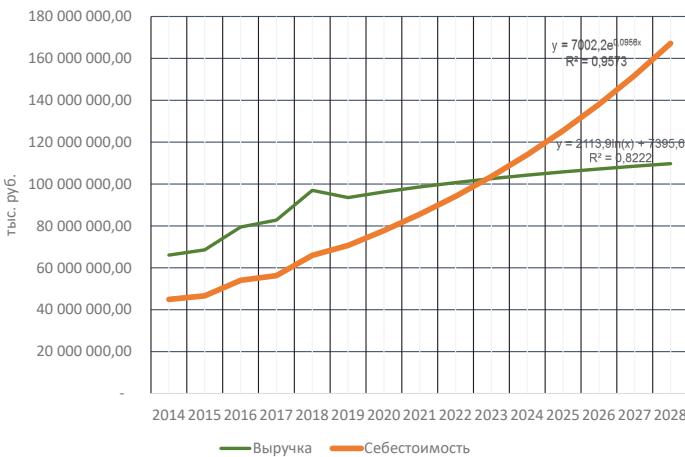


Рис. 12. Прогноз изменения основных финансовых показателей (график составлен автором).

форму, близкую к экспоненциальной (рис. 11).

Следовательно, нужно отталкиваться от показателя, изначально имеющего линейную функцию изменения, но описать изменения этого показателя логарифмической и экспоненциальной формулой. Таким показателем является количество перевезённых пассажиров. Построив тренд экспоненциальной зависимости, можно прогнозировать рост числа пассажиров и, имея значение расходов на одного пассажира, смоделировать изменение себестоимости. Также, если построить логарифмический тренд роста числа пассажиров и описать этой формулой изменение выручки, то получится модель, предсказывающая примерное количество лет, по прошествии которого авиакомпания получит операционный убыток (рис. 12).

Обязательно следует сделать оговорку, что построение трендов применительно к числу перевезённых пассажиров не ставит задачу построить оптимистичный и пессимистичный прогноз роста этого показателя, а используется только лишь для имитации динамики показателей выручки и себестоимости, поскольку, как указывалось выше, темпы роста себестоимости выше темпов изменения выручки. Если рассматривать модель, в основе которой будет динамика изменения таких показателей, как выручка на одного пассажира и себестоимость на одного пассажира, нужно снова задавать изменение выручки логарифмической функцией по причине того, что динамика спроса на перевозку носит затухающий характер. Изменение динамики себестоимости требуется задать экспоненциальной функцией, имея в виду то,



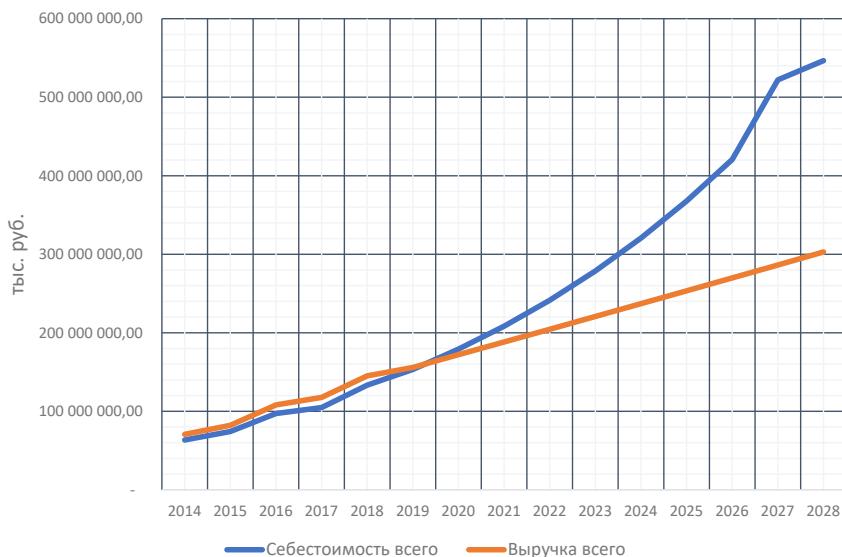


Рис. 13. Прогноз изменения основных финансовых показателей (график составлен автором).

что закредитованность авиакомпании приводит к нелинейности расходов. Если при этом динамику изменения количества перевозимых пассажиров оставить линейной, то полученная модель предскажет убытки авиакомпании уже в следующем году (рис. 13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обе рассмотренные модели показывают предпосылки для возникновения операционных убытков. Но при этом процесс развивается динамично, и потому анализ финансового результата необходимо выполнять постоянно и на основании имеющихся предпосылок, таких, как динамика темпов показателей, принимать управленческие решения, сутью которых будет проведение мероприятий по снижению себестоимости авиатранспортной услуги.

ЛИТЕРАТУРА

1. The exponential increase of passenger numbers poses problems for aviation. International Airport Review 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.internationalairportreview.com/news/77038/exponential-passenger-increase/>. Доступ 22.12.2019.
2. Pierson, K., Sterman, J. D. Cyclical Dynamics of Airline Industry Earnings. Systems Dynamics Review, 2013, Vol. 29, Iss. 3, pp. 129–156. DOI: <https://doi.org/10.1002/sdr.1501>.
3. Ковалёв В. В., Волкова О. Н. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учебник. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2007. – 424 с.
4. Федеральная служба государственной статистики. Сведения о величине прожиточного минимума.
- [Электронный ресурс]: https://www.gks.ru/free_doc_new_site/population/urov/vpm/vpm.doc. Доступ 24.12.2019.
5. Актуализированы качественные оценки показателей и добавлены новые методики прогноза банкротств. Audit.ru – Ваш финансовый вестник. [Электронный ресурс]: <https://www.audit-it.ru/finanaliz/news/939810.html>. Доступ 24.12.2019.
6. Приказ Минтранса России от 30 апреля 2019 г. № 219 «Об утверждении Методики расчёта показателей (индикаторов) государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы», транспортной части комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года и федеральных проектов, входящих в его состав». [Электронный ресурс]: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Mintransa-Rossii-ot-30.04.2019-N-129/>. Доступ 24.12.2019.
7. Federal Aviation Administration FAA Aerospace Forecast. Fiscal years 2019–2039, 2019, 105 p. [Электронный ресурс]: https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2019-39_FAASpace_Forecast.pdf. Доступ 24.12.2019.
8. Harvelde, H. H. The Future of Airline Distribution, 2016–2021. Atmosphere Research Group, 2016, 76 p. [Электронный ресурс]: <https://sbsu.ru/sbornik-statey/pdf/ndc-future-airline-distribution-report.pdf>. Доступ 24.12.2019.
9. Cronrath, E.-M. The Airline Profit Cycle: A System Analysis of Airline Industry Dynamics. London, Routledge, 2017, 342 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315188720/>.
10. Сатыбалды Б. М., Жунусова Р. М. The technique of analysis of business activity of the company // Молодой учёный. – 2017. – № 21. – С. 237–239. [Электронный ресурс]: <https://moluch.ru/archive/155/43860/>. Доступ 24.12.2019.
11. Myre, M. A. An analysis of airline's financial performance and its influencing factors. Bachelor's thesis. Supervisor: Sergejs Groskovs. Aarhus University School of Business and Social Sciences, Department of Business Administration, May 2015, 51 p. [Электронный ресурс]: <https://pdfs.semanticscholar.org/e759/c09e1d62ae76354847f3e8c9058c2c73cc4.pdf>. Доступ 24.12.2019.



The Study on Prerequisites for Operating Losses in the Airline Activity



Zhukov, Vasily E., St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia.*

Vasily E. ZHUKOV

ABSTRACT

Methods for analyzing the economic activity of airlines and forecasting the prerequisites for bankruptcy of airlines is becoming an important task for development of the industry. In past years, there were examples of a sound negative experience related to bankruptcy of airlines. At the same time, the main volume indicators of the airlines concerned had got positive dynamics shortly before the bankruptcy and were considered by BCG matrix as evident «stars» in terms of growth in production volumes and in the share of the air transportation market.

In Russia that was the case of Sibir airlines which in 2007–2008 barely avoided bankruptcy, as well as of Transaero Airlines that has left the air transportation market forever. The first low-cost airlines, Skyexpress and Avianova, went bankrupt amid high growth in the number of passengers transported.

The task of the research was to create a model that allows to simulate the situation

associated with the airline overcoming the so-called «second break-even point». To forecast the possible time period for the airline to receive an operating loss against the background of growing volume indicators, production and financial indicators of one of the leading Russian airlines were used.

The method of research is modelling of volume and financial indicators of the airline activity. The model is proposed to be built not on the study of future changes in the growth of volume and financial indicators, but on the study of dynamics of the rate of change of those indicators. The study is based on the fact that the dynamics of air transportation has a cyclical basis, which is invisible when directly analyzing changes in production and financial indicators, and which is on the contrary clearly visible when studying the dynamics of the rates of those indicators, which makes it possible to simulate a situation when the airline will have an operational loss in the future.

Keywords: air transportation, civil aviation, volume indicator, financial indicators, operating losses, rate of change of indicators, forecasting model.

*Information about the author:

Zhukov, Vasily E. – Ph.D. (Eng), Associate Professor of St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg, Russia, vasizhukov@yandex.ru.

Article received 28.12.2019, accepted 17.03.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 118.

Background. The International Air Transport Association (IATA) has revealed that current trends in air transport suggest that the number of passengers could double and attain 8,2 billion in 2037 [1].

The latest update to the IATA twenty-year air travel forecast shows that a growing shift is moving eastward, which will become the industry's center of gravity and which is now in the midst of continued strong growth. Over the next two decades, the forecast provides for an aggregate annual growth rate (CAGR) of 3,5 % [1], which will lead to a doubling of the number of passengers compared to today's levels. From the report of Alexandre de Juniac, IATA Director General, at the latest IATA session, it is known that airlines are completing the year with profit for the tenth time in a row [1]. Meanwhile, the IATA has lowered its forecast for airline revenues in 2019, but expects improvements in 2020 [1].

So, this year airlines will earn \$25,9 billion. This is below the June 2019 IATA forecast of \$28 billion [1]. Although the jump of fuel prices was not as sharp as the experts of the association suggested, the growth in world GDP and trade was at that time lower than forecast.

According to A. de Juniac, this year will be «the bottom of the current economic cycle». In 2020, experts predict airline revenues of \$29,3 billion [1]¹.

¹ Data were provided at the moment of acceptance of the article. While the article was published the ICAO and IATA have considerably revised the forecast downward due to COVID-19 pandemic situation. – *ed. note*.

«The slowdown in economic growth, trade wars, geopolitical tensions and social unrest, all together create a harsher than expected business environment for air carriers», said Alexandre de Juniac, nevertheless, the industry managed to approach the new decade in the black, as restructuring and cost reduction continued to bring dividends» [1].

The objective of this article is to present tools for analyzing the economic situation at the example of one of the Russian airlines.

Results.

Volume and financial indicators of an airline's activity are used for the analysis, as a time function:

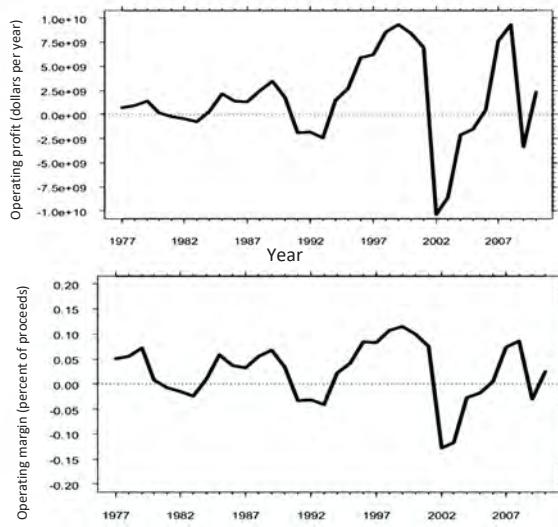
$$y=f(t). \quad (1)$$

The volume indicator will be the number of passengers transported (Pic. 1).

The change in the volume indicator has a slightly pronounced cyclicity. There was an increase in the indicator rate until 2010, then there was a decrease and a growth again. The cyclicity of the volume indicator can have a significant impact on airline's financial performance. But the graph in Pic. 1 shows that the airline is developing successfully and there are no special threats of loss of profit. The task posed in the article is that it is necessary to develop a model for preventing dangerous movement of an air carrier towards operating losses. In the works analyzing the financial indicators of US airlines, we can see a clear cyclicity of such an indicator as operating profit (Pic. 2) [2].



Pic. 1. The number of passengers transported [based on the results of the airline's operation].



Pic. 2. Operating profit and operating margin of the US aviation industry (profit/proceeds) (terminology of the original text remained) [2].



Pic. 3. Dynamics of operating profit of the airline under analysis (graph compiled by the author).

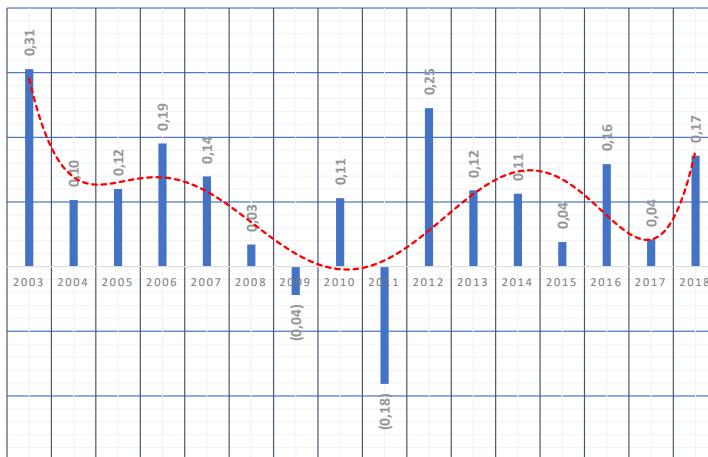
The graph of changes in operating profit for the airline under study does not show obvious cyclicity; one can see steady growth with periods of deceleration and acceleration (Pic. 3).

Therefore, it will not be sufficiently substantiated to forecast future losses of the airline, using only the dynamics of changes in operating profit. The greatest reliability of approximation of the polynomial trend is 0,77. But the use of a polynomial trend forecast for forecasting, as practice shows, is associated

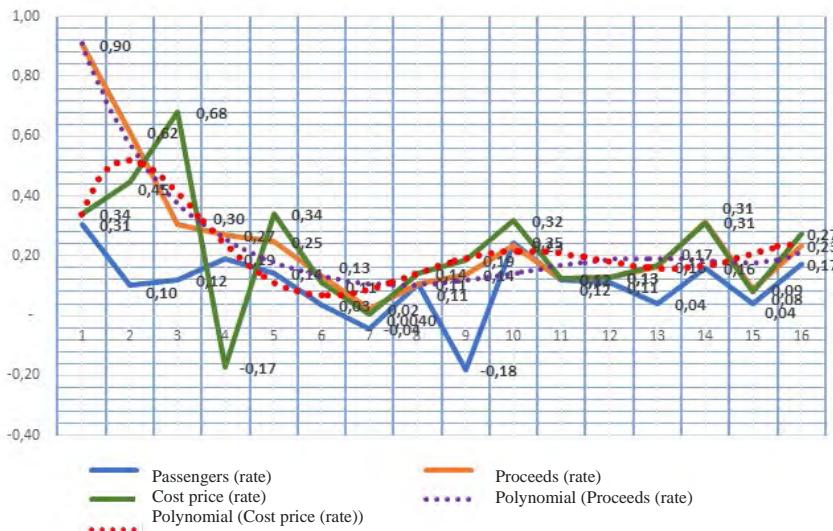
with calculation errors, especially since the trend at the end of the analyzed period has a negative dynamics, which will determine the overall forecast dynamics in the future.

The world practices of analyzing the production activities of airlines show that the cyclical nature of the indicators takes place, that is, there are periods of recovery and periods of decline in the economy of the industry. The statement of Alexandre de Juniac about the «bottom of the current economic cycle» has already been quoted [1]. In the analyzed





Pic. 4. Dynamics of rate of volume indicator (graph compiled by the author).



Pic. 5. Dynamics of rate of volume and financial indicators (graph compiled by the author).

company, the cyclical nature of the dynamics of the volume indicator is absent. But the study of the dynamics, that is, the rate of change of the indicator, can be continued and it is possible to consider the derivative of speed, acceleration, or rate of change of the indicator (Pic. 4).

The graph shows a clear cyclical, periodic changes in the pace of passenger transportation. The period of indicator change is 6–7 years, a change in the amplitude of the fluctuation of the indicator can also be noted. The average annual growth rate calculated by formula 2 is 9,18 %:

$$CAGR(t_0, t_n) = \left(\frac{V(t_n)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{t_n - t_0}} - 1, \quad (2)$$

where $V(t_0)$ is the initial value of the parameter;

$V(t_n)$ is the final value of the parameter; $t_n - t_0$ indicate number of years.

The first parameter, the change in the rate of the indicator, can be considered a parameter for making an idea of the future results of production activities. Along with the volume indicator, one should consider the dynamics of financial indicators (Pic. 5).

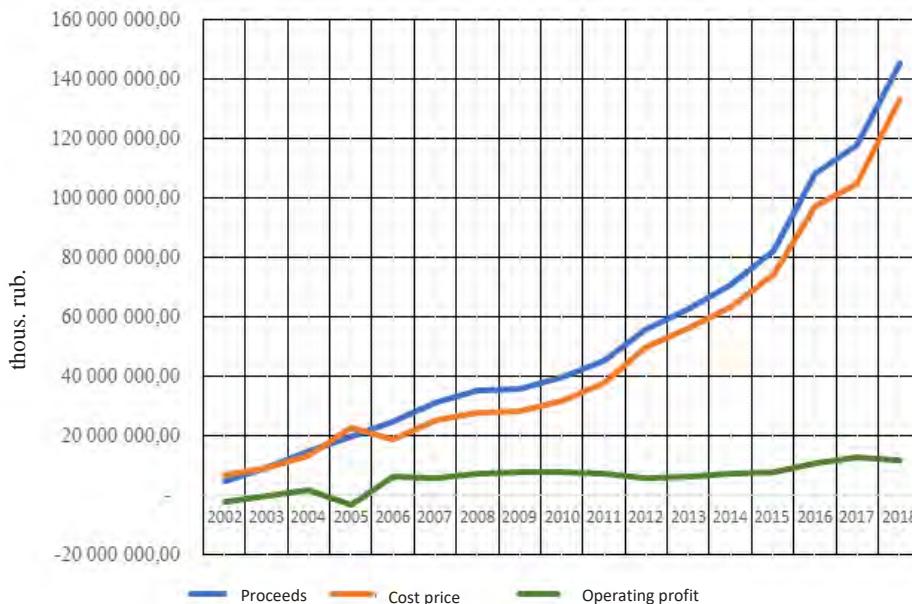
The diagram shows that the rate of change in financial indicators is cyclical in nature, which may indicate a high degree of correlation between volume and financial indicators (Table 1).

Studying the values of the rate of change of financial indicators, it can be noted that in general, the financial success indicators of the airline are at a level that ensures operating profit (Pic. 6).

Table 1

Correlation values of volume and financial indicators (author's calculation)

	Passengers	Proceeds
Passengers	1	
Proceeds	0,981084962	1
Cost price	0,971206513	0,997498666



Pic. 6. Dynamics of changes in financial indicators (graph compiled by the author).

However, according to the graph of changes in the rates of financial indicators, it is worth noting that the rate of the cost of air transportation services in certain periods exceeds the rate of proceeds, which may lead to operational loss in the future. The alignment of the position that allows to make a profit occurs only due to an increase in the cost of air transportation. The approximate value of the tariff for transportation can be obtained by calculating the value of proceeds per passenger. The average annual rate of change in proceeds is CAGR = 0,73 (73 %), and cost price CAGR = 0,71 (71 %). This shows that transportation prices and costs are at about the same pace. This is underlined by the fact that the airline is not worried about cost reduction, and the rising costs are covered by rising transportation prices (Pic. 7).

The diagram shows that the rate of change in cost price in certain periods is higher than the rate of change in proceeds.

The analysis performed at this stage shows that the airline undergoes a constant threat of operating losses. An endless increase in

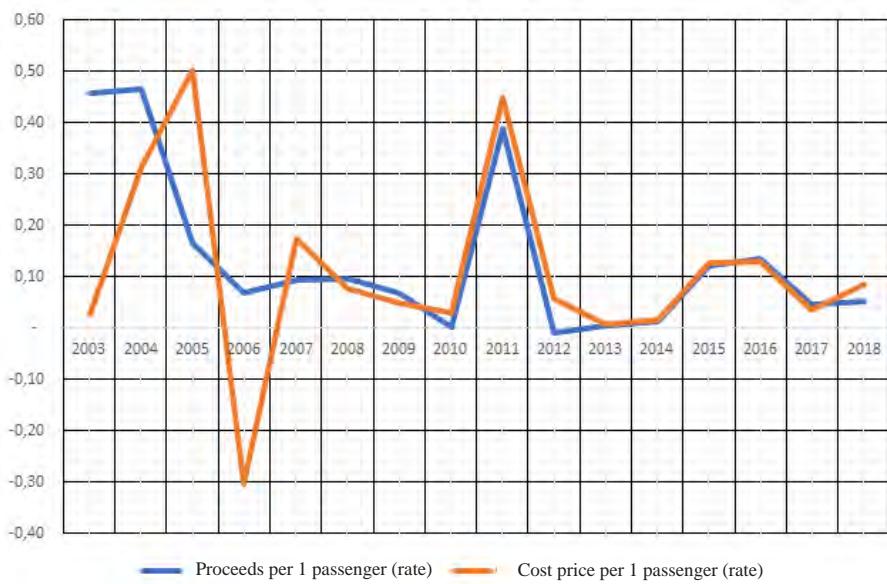
transportation prices is impossible, since it is directly related to the purchasing power of the population, which depends on the level of per capita income. The dynamics of per capita income in Russian Federation is presented in Pic. 8.

If the average annual growth rate (CAGR) of this indicator is calculated, then in the study period it is equal to 0,07 (7 %). The average annual growth rate of proceeds in the same period, from 2008 to 2018, was 0,14 (14 %), and the average annual growth rate of cost price was 0,15 (15 %). Consequently, the growth rate of the cost of transportation is twice as high as the growth rate of the average per capita income of the country's population, which will lead to damping of demand for air transportation, which probably is growing only due to frequent-flying business passengers and charter flights, as well as passengers using their savings or bank loans.

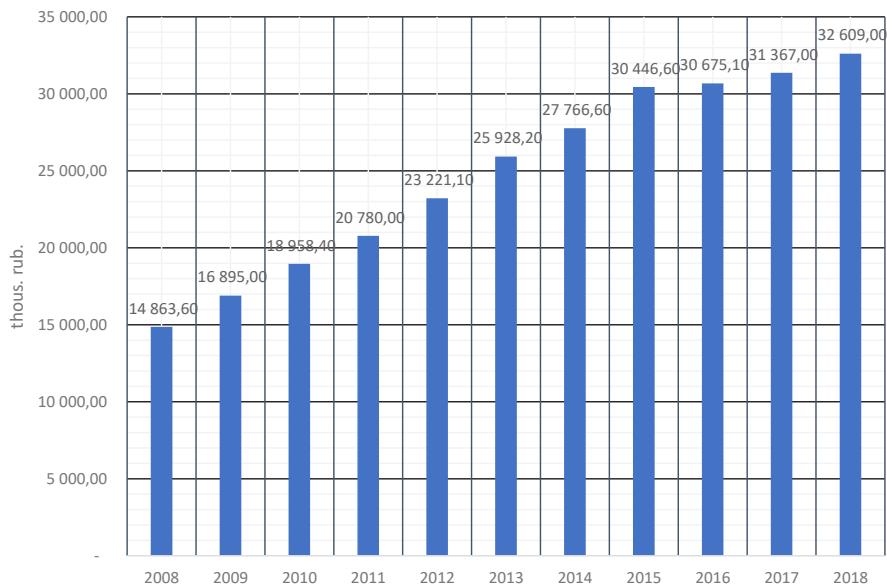
Modelling of a break-even point will allow determining the limit beyond which the airline will not make a profit.

«Break-even point is the volume of production and sales of products at which costs





Pic. 7. Rate of change in proceeds and cost price per one passenger (graph compiled by the author).



Pic. 8. Average per capita income of the population of the Russian Federation [4].

will be offset by income, and the company begins to make a profit in production and sale of each subsequent unit of production» [5].

Break-even point calculation can be performed analytically in monetary terms. This value is usually called the profitability threshold (PRT):

$$BEPm = \frac{TFC}{KMR}, \quad (3)$$

where TFC are fixed costs;

KMR is margin profit rate:

$$KMR = \frac{MR}{TR}, \quad (4)$$

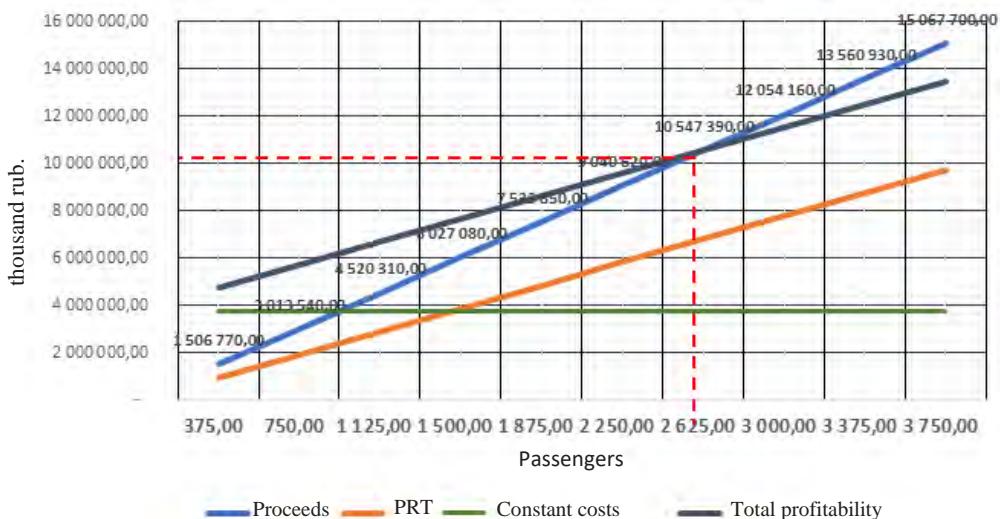
where MR is margin profit;

TP are proceeds.

$$MR = TR - TVC, \quad (5)$$

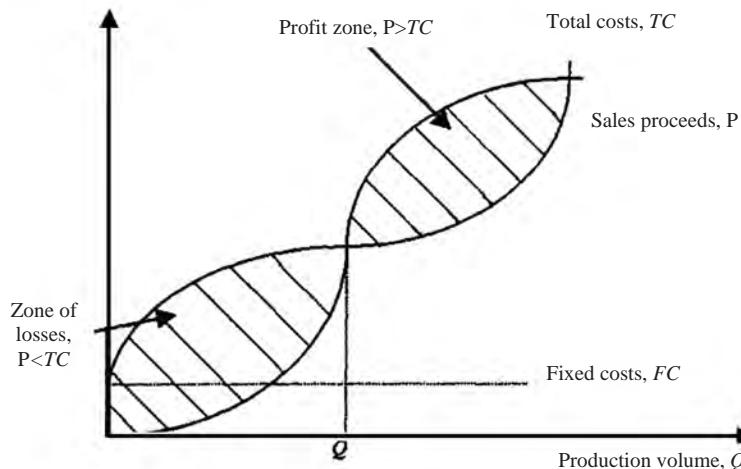
where TVC are variable costs.

The break-even point in physical terms in the described model is the number of passengers transported, which is calculated by the formula:



Pic. 9. Break-even point graph (graph compiled by the author).

Costs, proceeds



Pic. 10. Graphical representation of the nonlinear dependence of indicators of income and expenses with an increase in production volume [3].

$$BEP_{PPT} = \frac{TFC}{P - AVC}, \quad (6)$$

where P are proceeds per passenger;

AVC are variable costs per passenger.

In relation to the airline under study – BEPm = 10556387 thousand rubles, BEPpt = 2627 thousand passengers. Graphically, the calculation results are also confirmed (Pic. 9).

On the graph, all indicators have a linear dependence, but as mentioned earlier, this is unrealistic, especially when building a graph for the future periods. The indicators on the break-even point graph take on a non-linear form (Pic. 10). From a logical point of view,

such a behaviour of the analyzed indicators is quite real and justified.

The convex graph of proceeds can be described by the logarithmic function $y = \ln(x)$, and the concave graph of expenses can be described by the exponential function $y = e^x$.

Therefore, we can assume that to model the nonlinearity of indicators, it suffices to describe their dynamics by the nonlinear functions given above. But this is not possible because while projecting indicators within the dynamics of several years, all indicators take a nonlinear form close to exponential (Pic. 11).

Therefore, it is necessary to lean on an indicator that initially has a linear change





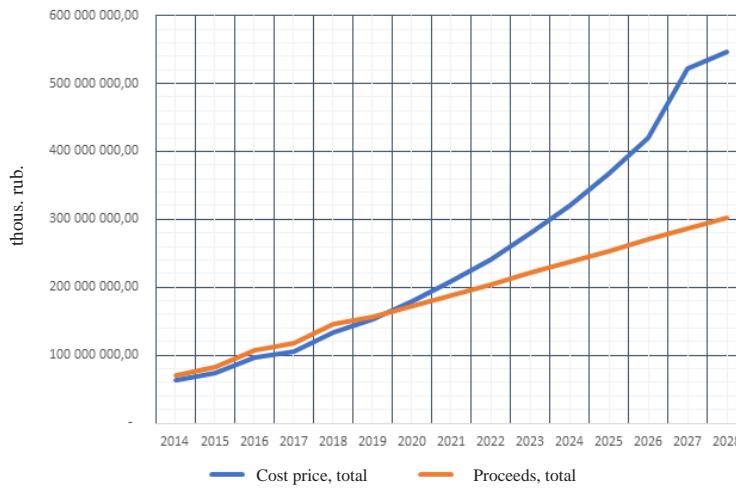
Pic. 11. Dynamics of changes in indicators in the future (graph compiled by the author).



Pic. 12. Forecast of changes in key financial indicators (graph compiled by the author).

function but to describe the changes in this indicator with a logarithmic and exponential formula. This indicator is the number of passengers transported. Having built a trend of exponential dependence, it is possible to forecast an increase in the number of passengers and, having the value of expenses per passenger, to model a change in cost price. Also, if we construct a logarithmic growth trend regarding the number of passengers and describe the change in proceeds with this formula, we get a model that forecasts the approximate number of years after which the airline will receive an operating loss (Pic. 12).

It is imperative to make a reservation that the construction of trends in relation to the number of passengers transported does not set the task to build an optimistic and pessimistic forecast for growth of this indicator but is only used to simulate the dynamics of proceeds and cost price indicators. It is due to the fact, mentioned above, that the growth rate of cost price is higher than the rate of change in proceeds. If we consider a model based on the dynamics of changes in such indicators as proceeds per passenger and cost per passenger, we will again set the change in proceeds by a logarithmic function, because the dynamics of



Pic. 13. Forecast of changes in key financial indicators (graph compiled by the author).

demand for transportation is damped. A change in the dynamics of cost price should be set by an exponential function, bearing in mind that the debt of the airline leads to non-linearity of costs. At the same time, keeping the dynamics of the number of passengers transported linear, the resulting model will forecast airline losses next year (Pic. 13).

Conclusion. Both models show the prerequisites for emergence of operating losses. At the same time, as the process is developing dynamically, the analysis of the financial result must be carried out constantly, and management decisions should be made on the basis of the existing prerequisites, such as the dynamics of the rates of indicators. The management decisions should be focused on implementation of measures to reduce the cost of air transportation services.

REFERENCES

1. The exponential increase of passenger numbers poses problems for aviation. International Airport review 2019. [Electronic resource]: <https://www.internationalairportreview.com/news/77038/exponential-passenger-increase/>. Last accessed 22.12.2019.
2. Pierson, K., Sterman, J. D. Cyclical Dynamics of Airline Industry Earnings. *Systems Dynamics Review*, 2013, Vol. 29, Iss. 3, pp. 129–156. DOI: <https://doi.org/10.1002/sdr.1501>.
3. Kovalev, V. V., Volkova, O. N. Analysis of economic activity of the enterprise: Textbook [Analiz khozyaistvennoi deyatelnosti predpriyatiya: Uchebnik]. Moscow, TC Velby, Prospect Publishing House, 2007, 424 p.
4. Federal State Statistics Service. Information about the cost of living [Federalnaya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. Svedeniya o velichine prozhitochnogo minima]. [Electronic resource]: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/urov/vpm/vpm.doc. Last accessed 24.12.2019.
5. Qualitative estimates of indicators are updated and new bankruptcy forecasting techniques are added
- [Aktualizirovany kachestvennie otsenki pokazatelei i dobalveny novye metodiki prognoza bankrotstv]. Audit.ru – Vash finansoviy vestnik [Electronic resource]: <https://www.audit-it.ru/finanaliz/news/updates/939810.html>. Last accessed 24.12.2019.
6. Order of the Ministry of Transport of Russia dated April 30, 2019 No. 219 «On approval of the Methodology for calculating indicators of the state program of the Russian Federation «Development of the transport system», the transport part of the comprehensive plan for modernization and expansion of the main infrastructure for the period until 2024 and federal projects included in it» [Prikaz Mintransa Rossii ot 30 aprelya 2019 No. 219 «Ob utverzhdenii Metodiki rascheta pokazatelei (indikatorov) gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii «Razvitiye transportnoi sistemy», transportnoi chasti kompleksnogo plana modernizatsii i rasshireniya magistralnoi infrastruktury na period do 2024 goda i federalnykh proektor, vkhodящikh v ego sostav】. [Electronic resource]: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Mintransa-Rossii-ot-30.04.2019-N-129/>. Last accessed 24.12.2019.
7. Federal Aviation Administration FAA Aerospace Forecast. Fiscal years 2019–2039, 2019, 105 p. [Electronic resource]: https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2019-39_FAAC_Aerospace_Forecast.pdf. Last accessed 24.12.2019.
8. Harteveldt, H. H. The Future of Airline Distribution, 2016–2021. Atmosphere Research Group, 2016, 76 p. [Electronic resource]: <https://sbsu.ru/sbornik-statey/pdf/ndc-future-airline-distribution-report.pdf>. Last accessed 24.12.2019.
9. Cronrath, E.-M. The Airline Profit Cycle: A System Analysis of Airline Industry Dynamics. London, Routledge, 2017, 342p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315188720/>.
10. Satybaldy, B. M., Zhunusova, R. M. The technique of analysis of business activity of the company. *Molodoy ucheniy*, 2017, Iss.21, pp. 237–239. [Electronic resource]: <https://moluch.ru/archive/155/43860/>. Last accessed 24.12.2019.
11. Myre, M. A. An analysis of airline's financial performance and its influencing factors. Bachelor's thesis. Supervisor: Sergejs Groskovs. Aarhus University School of Business and Social Sciences Department of Business Administration, May 2015, 51 p. [Electronic resource]: <https://pdfs.semanticscholar.org/e759/c09e1d62ae763554847f3e8c9058c2c73cc4.pdf>. Last accessed 24.12.2019.





Разработка «Дома качества» на рынке железнодорожного транспорта



Лавров Илья Михайлович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Илья ЛАВРОВ

В статье рассматриваются особенности и применение технологии развертывания функций качества. Цель статьи – представить эффективную методику для принятия транспортными компаниями управленческих решений в области повышения качества транспортных услуг, оказываемых грузовладельцам. Методика разработана на основе модели (матричного комплекса) под названием «Дом качества», в рамках концепции всеобщего управления качеством (TQM).

На основе логического, графического, факторного, сравнительного и балансового методов и рассматриваемой технологии в статье детально описаны структура матричного комплекса «Дом качества»

и поэтапный порядок его построения в процессе анализа деятельности предприятий железнодорожного транспорта с акцентом на особенности и критерии потребительских предпочтений в сфере грузовых транспортных услуг.

Приведены конкретные примеры, отражающие отраслевую специфику транспортного обслуживания. На основе разработанной методики и рекомендаций любая компания в сфере транспорта будет иметь возможность провести многофакторный анализ своей деятельности в области обеспечения качества, оценить эффективность и установить приоритетность принимаемых решений по повышению качества транспортных услуг.

Ключевые слова: всеобщее управление качеством (TQM), развертывание функций качества (QFD), дом качества (HOQ), железнодорожный транспорт, транспортное обслуживание, грузовые перевозки.

*Информация об авторе:

Лавров Илья Михайлович – кандидат экономических наук, доцент, первый заместитель директора – начальник учебного отдела Института экономики и финансов Российского университета транспорта, Москва, Россия, ilya02lavrov10@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 21.11.2019, принятая к публикации 13.02.2020.

For the English text of the article please see p. 148.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях уровень качества услуг, предоставляемых клиентам, является одним из важнейших факторов, определяющих успех транспортных компаний в конкурентной борьбе.

Поскольку услуги по перевозке, в частности, на железнодорожном транспорте, пользуются значительным спросом у потребителей-грузовладельцев, транспортные компании в наибольшей степени заинтересованы в поиске новых способов повышения качества обслуживания.

Железнодорожный транспорт обладает мощным потенциалом для повышения качества транспортных услуг за счет реализации перспективных проектов внедрения инновационных транспортных и информационных технологий, развития транспортной инфраструктуры, совершенствования технической базы. В то же время необходимо проводить анализ эффективности этих проектов с целью установления соответствия проводимых мероприятий пожеланиям клиентов-грузовладельцев.

Согласно современной общепризнанной концепции всеобщего управления качеством (TQM) её основополагающим элементом является подход, основанный на потребительской оценке качества, ключевым в которой является потребительская причастность к данному процессу [1; 2]. Участие клиентов, анализ их отзывов рассматривается как залог эффективной работы TQM. Система повышения качества продукции с анализом отзывов потребителей представляет собой технологию развертывания функций качества (QFD) при проектировании и производстве продукции или услуг. Она основывается на матричном принципе построения, а также применении экономико-математических расчётов с целью определения приоритетности принимаемых управленческих решений.

Согласно логике построения процессов по технологии QFD все функциональные отделы транспортной организации должны быть вовлечены в технологический процесс с первого дня, что является главной целью TQM [3, с. 3]. Таким образом, технология QFD методически развивает подходы всеобщего управления качеством.

Согласно данной технологии одним из способов достижения удовлетворённости потребителя и непрерывного роста эффективности деятельности организации является понимание его желаний и потребностей и использование их в процессе проектирования и производства продукции. Значимый вклад в развитие технологии QFD внес японский специалист, доктор Ёдзи Акао, именно он в 1966 году объединил стратегии качества с разработанной технологией развертывания функций качества [4, с. 24]. Согласно его подходу клиент (потенциальный пользователь транспортных услуг) становится частью команды, которая осуществляет перевозку. Эта технология указывает то направление деятельности проектировщиков и планировщиков, которое позволяет сосредоточиться на самых важных для клиента признаках транспортной услуги. Алгоритм работы по технологии QFD состоит из следующих этапов:

1. идентификация потребительских потребностей, которые носят название «Голос клиента» (VOC);
2. идентификация технических решений (мероприятий), которые позволяют максимально приблизить транспортную продукцию к наиболее полному удовлетворению VOC;
3. организация и оптимизация процесса разработки транспортной продукции на основе учёта результатов реализации первых двух этапов, а также определение приоритетов технических решений и конкретных задач [2, с. 311].

Таким образом, основное рабочее требование технологии QFD заключается в том, чтобы каждая транспортная компания знала желания и предпочтения своих клиентов-грузовладельцев и преобразовывала их в составляющие предлагаемой транспортной услуги для полного удовлетворения VOC [5; 6]. Также транспортная компания должна по возможности осуществлять процесс промежуточного тестирования своих услуг, который способствует более полному осознанию того, какие из принятых решений вносят наибольший вклад в удовлетворение потребностей грузоотправителя.

Данное утверждение обуславливает цель данной статьи, которая заключается в рас-





Рис. 1. Структура «Дома качества» с пронумерованной очередностью входящих в него матриц.

смотрении оригинальной методики для принятия управленческих решений в области повышения качества услуг на транспортном рынке на основе разработки специальной модели.

На основе концепции всеобщего управления качеством и структурно составляющей его технологии QFD строится модель оценки качества, представляющая собой «Дом качества» (HOQ) – набор взаимосвязанных матриц, каждая из которых описывает определённый этап исследования. Это одна из наиболее современных и универсальных моделей для анализа и оценки качества продукции. Актуальность данного исследования, в котором использовались логический, графический, факторный, сравнительный и балансовый *методы*, заключается в анализе применимости и адаптируемости модели к деятельности транспортных компаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Модель «Дом качества» (House of Quality, HOQ), как указано выше, представляет собой набор взаимосвязанных матриц, имеющих определённую последовательность в порядке их построения. Данный матричный комплекс используется для

всестороннего анализа внешних и внутренних факторов, влияющих на процесс управления качеством, и разработки на их основе рекомендаций (конкретных технических решений), эффективность (целесообразность) внедрения которых возможно также заранее определить.

Модель «Дом качества» названа так из-за схожести своей структуры с внешним видом дома (рис. 1).

«Дом качества» состоит из шести матриц [7, с. 434]:

- Матрица выявления потребностей клиентов («Потребности клиентов»);
- Матрица планирования;
- Матрица выработки технических решений («Технические решения»);
- Матрица взаимосвязей;
- Матрица корреляции;
- Матрица постановки задач проектирования («Задачи проектирования»).

При составлении HOQ все компоненты матриц заполняются в формальной последовательности от 1 до 6. Для рассмотрения этапов построения HOQ воспользуемся условным примером функционирования отдельно взятой транспортной компании. Все числовые значения, использованные в примерах далее, имеют условный характер.

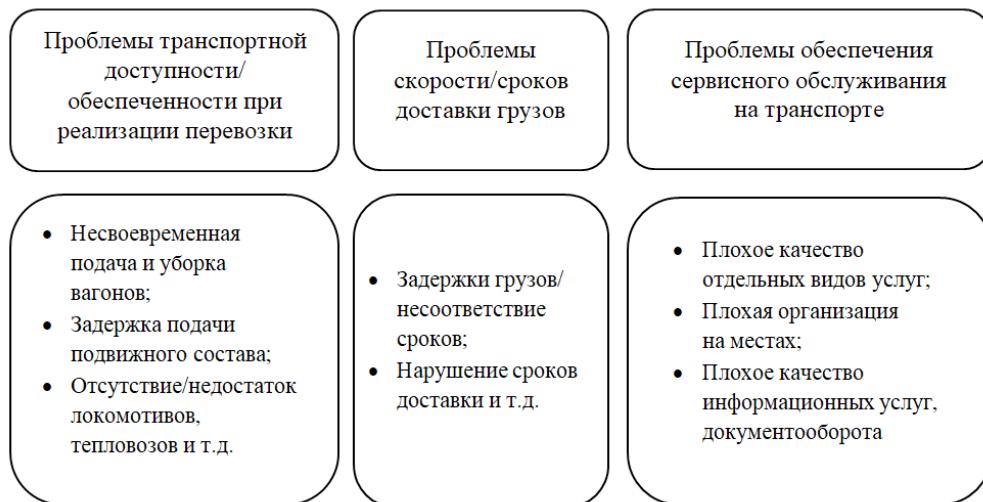


Рис. 2. «Диаграмма сродства»: анализ проблем, приводящих к спаду объёмов грузоперевозок.

Матрица 1: «Потребности клиентов»

Наша гипотетическая компания занимается железнодорожными перевозками грузов. Компания недовольна своим текущим положением на рынке и намеревается пересмотреть свои предложения с целью увеличения своей доли на рынке. Компания понимает, что для этого она должна осуществлять перевозочный процесс в соответствии с требованиями потенциальных грузоперевозчиков. Компания планирует использовать в своей практике технологию QFD.

Перед началом реализации транспортных услуг сотрудники компании должны тщательно поработать с грузовладельцами, чтобы определить, какие конкретно услуги они хотят получить от транспортной компании, и, возможно, узнать, что не устраивает потенциальных клиентов. Существует множество способов получения подобного рода информации от грузовладельцев, включая анализ рынка, формирование фокус-групп, проведение личных, анкетных, телефонных, онлайн-опросов, в том числе покупателей-пользователей транспортных услуг других компаний и т.д.

Как только команда сотрудников компании собрала достаточную информацию о том, в каких характеристиках и особенностях транспортной продукции нуждаются грузовладельцы, полученная информация должна быть обработана для дальнейшего анализа. Для ускорения работы по

обработке огромного массива потребительских мнений данные должны быть отсортированы по группам в зависимости от их приоритетности с точки зрения удовлетворения самых важных потребительских потребностей. Для этого используется один из инструментов технологии QFD, который носит название «Диаграмма сродства» (Affinity Diagram). Фильтрация большого количества данных в выборку – базу результатов опроса VOC осуществляется через аналитическую методику «Диаграммы сродства» и путём обсуждения командой сотрудников [8].

На рис. 2 изображена «Диаграмма сродства», разработанная командой сотрудников [9]. Цель её подготовки заключалась в том, чтобы организовать процесс анализа входной информации грузовладельцев (какие транспортные услуги они выделяют и хотят приобрести с учётом того, что перевозчик их не предлагал, и что их не устраивает при выполнении реализуемых сейчас услуг), понять причины снижения спроса на транспортные услуги компании.

Следующий используемый инструмент – «Древовидная диаграмма» (Tree Diagram). В данном случае она используется для уточнения результатов «Диаграммы сродства», чтобы составить окончательный список потребностей грузовладельцев и заполнить им матрицу потребностей клиентов. На рис. 3 представлен фрагмент «Древовидной диаграммы», которая была раз-



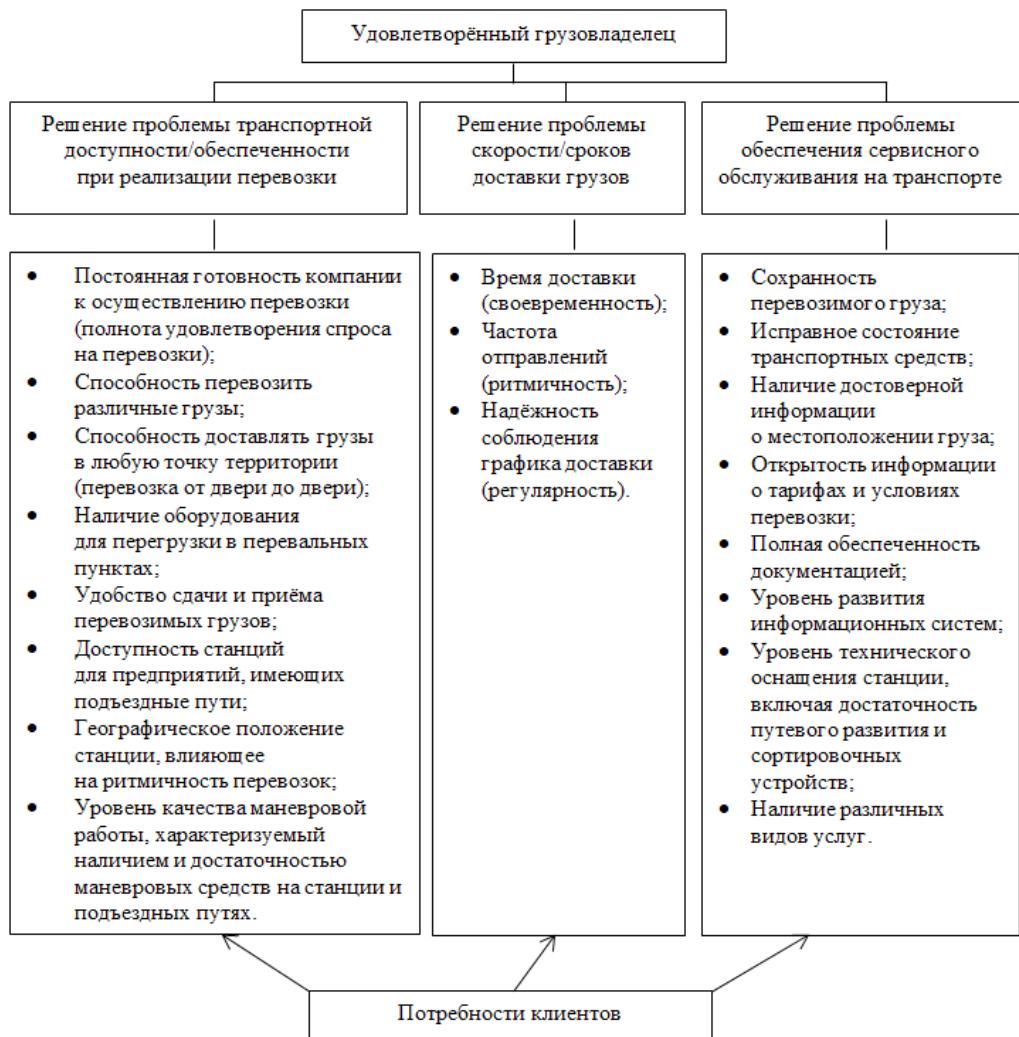


Рис. 3. «Древовидная диаграмма»: выявление ключевых потребностей грузовладельцев из общей выборки ответов.

работана для решения проблем, указанных на рис. 2.

На практике рабочая команда обобщает список потребностей клиентов, оставляя ключевые, наиболее значимые из их числа. Окончательный список, охватывающий полный набор вопросов, может составлять до 20–30 пунктов в зависимости от ситуации. Данные потребности подразумевают то, что клиенты хотели бы видеть (или скорректировать) в транспортном процессе. Потребности характеризуют то, к чему должна стремиться транспортная компания, чтобы осуществить транспортную услугу, которая будет представлять ценность для клиентов [10]. Этот сформированный список, представляющий собой

«Голос клиента» (VOC), является основой для заполнения первой матрицы «Дома качества».

В анализ при составлении данной матрицы также входит оценка значимости выявленных потребностей для самих грузовладельцев. Уровень значимости оценивается по шкале от одного до пяти пунктов, где пять является наивысшим приоритетом. Эта информация может быть получена на этапе проведения опроса грузовладельцев. Но поскольку невозможно получить от всех грузовладельцев оценку потребности по шкале рейтинга значимости, рабочая команда должна сделать всё возможное, чтобы самостоятельно оценить и назначить приоритеты, опираясь на ре-

презентативную выборку опрошенных грузовладельцев. Значения значимости вводятся в столбец «Уровень значимости для клиента».

Матрица 2: «Матрица планирования»

Здесь необходимо собрать и проанализировать данные об удовлетворённости грузовладельцев транспортными услугами данной компании и компаний-конкурентов, разработать плановую целевую оценку удовлетворённости готовящейся к предложению будущей транспортной услугой, а также рассчитать коэффициенты улучшения и запланировать точки продаж.

Сначала проводится сравнительный анализ услуг анализируемой транспортной компании и конкурентов. На данном этапе важно знать потребительский рейтинг удовлетворённости клиентов услугами конкурентов, поскольку он позволит определить, что данная компания должна сделать, чтобы добиться большей по сравнению с конкурентами привлекательности транспортных услуг. Чтобы получить эту информацию, рабочая команда организует фокус-группу для сравнения качества транспортных услуг. Также можно организовать анкетный опрос среди клиентов, которые используют транспортные услуги анализируемой компании и компаний-конкурентов. В обоих случаях респондентам должно быть предложено оценить транспортные услуги по каждой из характеристик, перечисленных в матрице потребностей клиентов, используя знакомую шкалу от одного до пяти. Полученная информация заносится в «матрицу планирования». (Приводимые здесь и далее примеры проиллюстрированы на рис. 4).

На «матрице планирования» также будет отображаться желаемая степень удовлетворённости клиентов транспортной услугой по каждому критерию потребности (целевой потребительский рейтинг). Используется та же шкала от одного до пяти. Практическая цель заключается в том, чтобы реализовать такую транспортную услугу, которая удовлетворит клиентов, но при этом не будет слишком затратной для компании. Однако это не означает, что улучшение удовлетворения определённых потребностей не должно учитываться. Транспортная компания должна быть до-

статочно конкурентоспособной по всем потребительским параметрам, но не обязательно должна быть самой дорогой в плане финансовых затрат [11; 12]. Рабочая команда разрабатывает целевой потребительский рейтинг для каждой потребности и заносит установочные значения в «матрицу планирования».

Затем рабочая команда рассчитывает коэффициент улучшения для каждой потребности в транспортной услуге. Уравнение для коэффициента улучшения со шкалой от одного до пяти:

$$\text{Коэффициент улучшения} = \{(\text{Целевой потребительский рейтинг} - \text{Оценённый потребительский рейтинг}) \cdot 0,2\} + 1. \quad (1)$$

Стратегический маркетинговый фактор, иногда называемый «точкой продаж», также может быть включён в «матрицу планирования». «Точка продаж» — это число от 1 до 1,5, которое используется для акцентирования внимания на потребностях клиентов. Это оценка маркетинговой важности потребности в продвижении транспортной услуги, и поэтому она используется вместе с уровнем значимости для клиента и коэффициентом улучшения в расчёте общего веса потребностей клиентов. «Точка продаж», имеющая значение 1, не приведёт к изменению общего веса потребностей клиентов. Точка продаж со значением 1,5 вдвое увеличивает значение общего веса потребностей клиентов по сравнению с тем значением, которое было рассчитано на основе уровня значимости для клиента и коэффициента улучшения. Рабочая команда разрабатывает данные о «точках продаж» и помещает их в «матрицу планирования».

Затем рабочая команда рассчитывает общий вес для каждой потребности клиентов в отдельности по следующей формуле:

$$\text{Общий вес} = \text{Уровень значимости для клиента} \cdot \text{Коэффициент улучшения} \cdot \text{«Точка продаж»}. \quad (2)$$

Далее необходимо определить значение общих весов потребностей в процентах, чтобы лучше понять, какую долю затрат на усовершенствование следует уделить каждой из рассматриваемых потребностей





клиентов. Процент от общего веса рассчитывается по следующей формуле:

$$\% \text{ от общего веса} = (\text{Общий вес} / \text{Сумма общих весов}) \cdot 100. \quad (3)$$

Таким образом, используя «матрицу планирования» на основе учёта составляющих её факторов: уровня значимости для клиента (показывает, насколько критически важна эта потребность для клиента), коэффициента улучшения (характеризует необходимый объём работ транспортной компании по улучшению своих транспортных услуг для достижения целевого уровня с целью полного удовлетворения потребности) и «точки продаж» (характеризует уровень важности этой потребности с точки зрения маркетинга) – имеется возможность рассчитать общий вес потребности. На основе рассчитанного процента от общего веса имеется возможность рационального распределения транспортной компанией своих финансовых и производственных ресурсов для осуществления мероприятий по повышению качества.

Например, потребность клиентов в перевозках грузов «от двери до двери» имеет самый высокий общий вес и процент от общего веса. Для транспортной компании данный параметр будет иметь приоритетное значение в достижении целевой оценки «5». Потребность в регулярности и ритмичности идёт на втором месте, а потребность в постоянной готовности компании к осуществлению перевозки – на третьем.

Матрица 3: «Технические решения»

В матрице выработки технических решений указывается каким образом транспортная компания планирует реагировать на выполнение каждой потребности грузовладельца. Иногда это называют «голосом компании». Необходимо сразу отметить, что технические решения не представляют собой технические характеристики продукта или услуги [13, с. 1580]. Скорее, это улучшенные или вновь созданные характеристики и особенности продукции, которые призваны более качественно удовлетворить потребности клиента. Они могут быть измерены по условиям достижения удовлетворённости. Некоторые из них могут быть измерены по весу, силе, скоро-

сти и т.д., другие измеряются по критерию «да/нет». Технические решения должны быть не ограничивающими, а довольно гибкими, чтобы позволить компании использовать все творческие возможности для удовлетворения потребности. В качестве руководства по их выработке используются полученные результаты двух предыдущих матриц.

Использование «Диаграммы сродства» или «Древовидной диаграммы» также поможет рабочей команде сосредоточиться на характеристиках и особенностях транспортной услуги (грузовой перевозки), а также на процедурах и производственных процессах, которые помогут достичь запланированного улучшения. Разница здесь заключается в том, что предложения поступают изнутри компании, а не от клиентов.

Разработка предложений повторяется для всех производственных задач, чтобы сформировать список элементов, из которых рабочая команда окончательно выберет технические решения, которые должны быть помещены в матрицу выработки технических решений.

Матрица 4: «Матрица взаимосвязей»

Когда технические решения включены рабочей командой в структуру «Дома качества», следующим шагом является изучение вопроса, как они соотносятся с потребностями клиентов. Результаты будут показаны в матрице взаимосвязей, которая связывает матрицы 1 и 3. В каждой ячейке, составляющей матрицу взаимосвязей, рабочая команда должна оценить степень взаимосвязи между каждой потребностью грузовладельца и соответствующим ей техническим решением. Обычно это проводится с использованием шкалы значимости от 1 до 9, причём более высокое значение указывает на более сильную связь. Иногда эти цифры вводятся, но часто используются символы. Для нашего примера мы будем использовать символы следующим образом:

- ◎ = 9 (сильная взаимосвязь);
- = 3 (средняя взаимосвязь);
- △ = 1 (слабая взаимосвязь).

Пустая ячейка указывает на отсутствие связи.

Для того чтобы понять, как работать с данной матрицей, рассмотрим первую

потребность клиента «Своевременность доставки грузов». Необходимо определить, какие технические решения имеют отношение к выполнению данной потребности.

В случае анализируемой условной транспортной компании взаимосвязь может наблюдаться с техническими решениями, аналогичными внедрённым в холдинге «Российские железные дороги», например, с централизованной системой АС «Фокус», долгосрочной системой взаимодействия холдинга с ключевыми грузоотправителями и изменением системы КПЭ (КП) работников. Чтобы понять, насколько сильны данные взаимосвязи, рабочая команда должна это обдумать и принять решение. Поэтому результат данной оценки может быть не точным, а примерным, согласованным по результатам обсуждения.

В технологии QFD существует эмпирическое правило, согласно которому только около 15 % ячеек взаимосвязи будут показывать связь между потребностями клиентов и техническими решениями. В то же время есть ещё одно твёрдое правило заполнения матрицы взаимосвязи – каждая строка и каждый столбец должны иметь хотя бы один маркер значимости. Пустой столбец означает, что данное техническое решение не способно обеспечить удовлетворение ни одной потребности клиента. Затрачивать какие-либо усилия на подобные технические решения было бы пустой тратой ресурсов для транспортной компании, так как клиенты не найдут в нём пользы. С другой стороны, горизонтальная строка с пустыми ячейками указывает на то, что определённая потребность клиента никак не решается предложенными техническими решениями. Необходимо помнить, что все перечисленные потребности клиентов должны быть учтены в технических решениях, и, напротив, любые технические решения, которые не соответствуют потребностям клиентов, вероятно, не должны приниматься к исполнению.

Матрица 5: «Матрица корреляции»

При разработке продукта или услуги неизбежно возникнут некоторые технические решения, которые могут принести пользу друг другу (т.е. имеют поддерживающую или положительную корреляцию), а некоторые – работать друг против друга

(т.е. становятся препятствием или имеют отрицательную корреляцию). Транспортной компании необходимо знать, какая корреляция существует между предлагаемыми решениями, чтобы правильно использовать поддерживающие корреляции и найти компромиссы для тех, что мешают друг другу. Отсутствие информации об этом может привести к тому, что транспортная услуга не будет соответствовать требованиям грузовладельцев или будет требовать дорогостоящей модернизации. Правильно понять это с первого раза и является целью «Матрицы корреляции» или «крыши» «Дома качества».

Пересекающиеся диагональные линии рисуются в треугольнике сверху каждого столбца технических решений. Далее определяется тип корреляции (поддерживающий, препятствующий или не имеющий корреляции) для каждого из технических решений при сопоставлении их со всеми другими техническими решениями. Поддерживающая корреляция обозначается знаком «плюс» (+) в пересекающихся столбцах двух рассматриваемых технических решений. Отрицательная корреляция указывается с помощью знака «минус» (−). Если корреляция между техническими решениями отсутствует, их ячейка пересечения остаётся пустой.

На практике при анализе типа корреляции между техническими решениями рабочая команда задаёт себе вопрос: «Приводит ли улучшение этого технического решения к улучшению другого или приводит к ухудшению другого?». Если не указано ни улучшение, ни ухудшение, очевидно, что корреляция между ними отсутствует.

Разберём это на вышенназванном примере холдинга «РЖД». Рабочая команда QFD попытается определить: «Способствует ли рекомендованное транспортной компанией к внедрению техническое решение «Внедрение централизованной системы АС «Фокус» поддержанию или затруднению исполнения другого внедряемого ей решения «Долгосрочная система взаимодействия холдинга с ключевыми грузоотправителями»? Оба данных технических решения способны помочь самим себе в выполнении, поэтому между ними будет наблюдаться поддерживающая корреляция. Подобное исследование повторяется для всех оставшихся ячеек корреляции.



Для «Дома качества» с девятью техническими решениями, как в нашем примере, существует 36 возможных корреляций. Однако, чем обширнее состав матрицы технических решений, тем больше трудоёмкость и детализация «Дома качества». Полученные результаты по заполнению матрицы корреляции способны облегчить работу в сложных аналитических ситуациях, гарантуя, что все важные влияющие факторы были тщательно рассмотрены и оценены. Это позволит обеспечить наибольшую вероятность того, что усовершенствованная транспортная услуга, которая будет предложена компанией, принесёт ей успех и позволит добиться полного удовлетворения со стороны клиентов.

Матрица 6: «Задачи проектирования»

Если потребности грузовладельца описывают, что ему нужно, а технические решения говорят, какие действия транспортная компания собирается предпринять для удовлетворения его потребностей, то задачи проектирования указывают, какие действия по улучшению качества со стороны компании в итоге должны быть реализованы и в каком количестве.

Например, в нашем случае заказчик транспортных услуг компании оговорил, что хочет, чтобы транспортные услуги были в постоянной для него доступности. В разработанных решениях указано, что для этого транспортной компании необходимо либо создать долгосрочную систему взаимодействия с ключевыми грузоотправителями, либо провести реинжиниринг системы коммерческих диспетчеров (эти два способа определены как наиболее эффективные для удовлетворения потребности). Теперь в матрице «Задачи проектирования» нам нужно определить, насколько значимым является данное решение среди прочих решений, и какой должен быть установлен целевой результат. Это будет определяться данными, которые уже рассчитаны и введены в предыдущих матрицах, а также при необходимости данными сравнительного анализа и тестирования. Эта матрица способна обработать выводы, полученные по технологии QFD, и преобразовать их в спецификации транспортной услуги будущего.

Матрица «Задачи проектирования» состоит из трёх разделов:

- технические приоритеты (по известным данным «Дома качества»);
- технический сравнительный анализ (по собранным данным из внешних источников);
- расчётные целевые значения (разрабатываются на основе полученных результатов первых двух разделов).

Чтобы определить относительную важность или приоритеты каждого из заявленных технических решений для удовлетворения потребностей клиентов, рабочая команда просто умножает каждую из полученных степеней взаимосвязи технического требования (0, 1, 3 или 9) из «Матрицы взаимосвязей» на значение общего веса соответствующей ей потребности клиента в «Матрице планирования». Затем полученные результаты суммируются по каждому техническому решению.

Для условной транспортной компании, рассматривая данный процесс на примере технического решения холдинга «РЖД» «Внедрение централизованной системы АС «Фокус», обнаруживается, что его связь с потребностью клиента «Своевременность доставки грузов» была отмечена в матрице взаимосвязей значением 3. В столбце «Общий вес» «Матрицы планирования» значение для данной потребности 6,6. Умножение их даёт нам значение 19,8.

Существует ещё пять значений взаимосвязи для технического решения «Внедрение централизованной системы АС «Фокус», поэтому необходимо выполнить шесть произведений и затем суммировать их:

- Для «Сохранности перевозимого груза» нужно $3 \cdot 2,4 = 7,2$.
- Для «Регулярности и ритмичности» нужно $3 \cdot 7,0 = 21,0$.
- Для «Перевозки грузов от двери до двери» необходимо $3 \cdot 7,7 = 23,1$.
- Для «Уровня развития информационных систем» необходимо $9 \cdot 3,6 = 32,4$.
- Для «Полной обеспеченности документацией» необходимо $3 \cdot 3,2 = 9,6$.

В совокупности техническое решение «Внедрение централизованной системы АС «Фокус» имеет приоритет 113,1.

Значение 113,1 заносится в строку «Технические приоритеты» матрицы «Задачи проектирования».

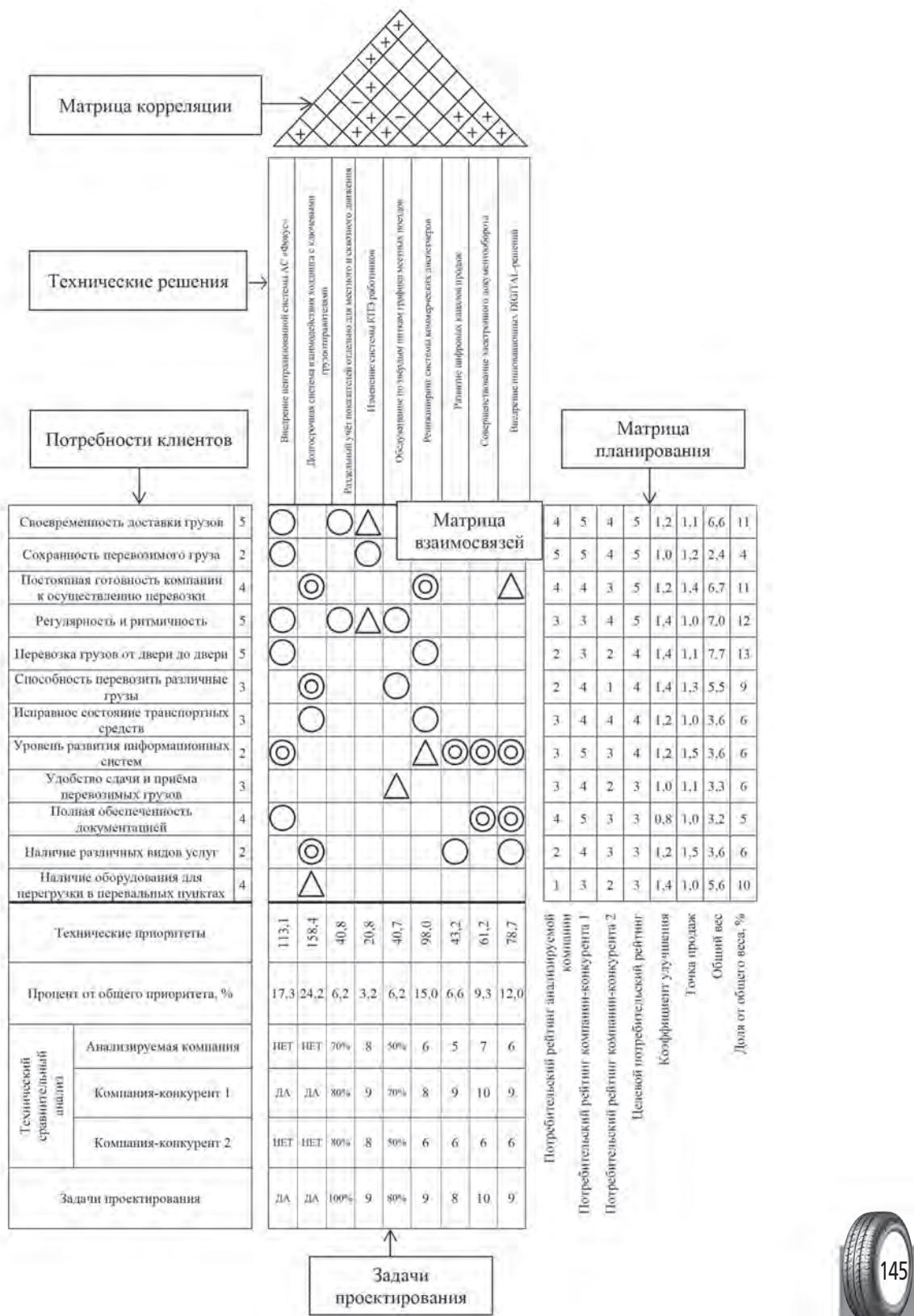


Рис. 4. Полностью составленный «Дом качества» транспортной компании.



дачи проектирования» под столбцом «Внедрение централизованной системы АС «Фокус», как показано на рис. 4.

Строка технических приоритетов заполняется, следуя аналогичному процессу, по остальным техническим требованиям. Полученные значения технических приоритетов являются абсолютными. Чтобы перевести значения технических приоритетов в процентный вид, необходимо разделить полученные абсолютные значения технических приоритетов на общую сумму всех значений технических приоритетов и умножить на 100.

Процент от общего приоритета = (Конкретный технический приоритет/Сумма всех технических приоритетов) • 100. (4)

Например, для нашего примера технического решения «Внедрение централизованной системы АС «Фокус» расчёт будет выглядеть следующим образом:

Процент от общего приоритета = $[113,1 / (113,1 + 158,4 + 40,8 + 20,8 + 40,7 + 98,0 + 43,2 + 61,2 + 78,7)] \cdot 100 = (113,1 + 654,9) \cdot 100 = 17,3 \%$.

Процентные значения по всем остальным техническим решениям рассчитываются и размещаются в следующем ряду после технических приоритетов. За исключением небольших погрешностей, связанных с округлением, сумма данной строки должна быть равна 100 %.

Расчёты показали, что техническое решение «Долгосрочная система взаимодействия холдинга с ключевыми грузоотправителями» имеет максимальное процентное значение от общих приоритетов (24,2 %). Это говорит о том, что для удовлетворения потребностей клиентов разработка долгосрочной системы взаимодействия холдинга с ключевыми грузоотправителями, безусловно, является самым важным техническим решением. То, что это техническое решение имеет гораздо более высокий процент по сравнению с общими приоритетами, чем другие, кажется разумным, поскольку оно в разной степени затрагивает выполнение пяти потребностей клиентов. Данная информация используется

транспортной компанией в качестве руководства для надлежащего распределения собственных ограниченных ресурсов для реализации мероприятий по повышению качества.

В следующем разделе матрицы проектирования задач сравнивается транспортная услуга анализируемой транспортной компании с конкурирующими транспортными услугами. В матрице № 3 «Дома качества» рабочая команда определила технические решения – как транспортная компания планирует удовлетворить потребности клиентов. Раздел «Технический сравнительный анализ» предназначен для предоставления конкретной информации о том, в каком конкурентном положении находится транспортная услуга компании по сравнению с однотипными конкурирующими услугами в отношении каждого из технических решений. Источниками информации для конкурирующих услуг могут быть клиенты, фокус-группы, СМИ, контроль качества на рабочих местах и т.д. Обычно это выжимка из совокупности собранной информации из всех возможных источников. Рабочая команда начинает со сбора данных о собственной транспортной услуге для каждого из технических решений. Данные оценки транспортных услуг по собственной и конкурирующим транспортным компаниям вводятся в строки раздела «Технический сравнительный анализ».

Последний раздел матрицы «Задачи проектирования» позволяет установить конкретные задачи по реализации каждого из технических решений рабочей командой компании. Данный раздел показывает итог всей работы над составлением «Дома качества», указывает целевые значения и ориентиры, которым должна следовать рабочая команда для успешной и эффективной работы по повышению качества транспортных услуг.

По окончании заполнения матрицы «Задачи проектирования» разработка «Дома качества» завершается. Готовый к использованию в работе «Дом качества» часто применяется сотрудниками всех подразделений транспортной компании, чтобы сконцентрировать весь рабочий

персонал на процессе повышения качества и эффективности рабочего процесса. «Дом качества» обеспечивает выполнение условия полного соответствия всех аспектов принимаемых технических решений рассмотренным потребностям клиента, без лишних затрат и действий для компании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволило выявить перспективность применения подходов в рамках модели «Дома качества» для анализа и оценки качества транспортных услуг, оказываемых грузо-владельцам и грузоотправителям на железнодорожном транспорте.

Перспективность данной модели заключается в том, что любая компания, работающая в транспортной сфере, имеет возможность на основе собственных разработок с использованием описанного в статье алгоритма и с учётом своей специфики провести многофакторный анализ своей деятельности в области обеспечения качества, оценить эффективность и установить приоритетность принимаемых решений по повышению качества транспортных услуг.

При этом необходимо системное использование описанных в статье элементов модели, поскольку соблюдение установленной последовательности в её построении и учёт в анализе собранной информации по каждой матрице в совокупности позволяют обеспечить максимальную точность и достоверность результатов для корпоративного разработчика.

В то же время данная модель может быть адаптирована для компаний других отраслей, учитывая любую специфику деятельности, которую можно описать на основе описанного матричного комплекса.

На практике компания может разрабатывать «Дом качества», ориентируясь на выполнение собственных целей повышения качества на макроуровне (повышение конкурентоспособности предприятия) и микроуровне (повышение конкурентоспособности отдельного продукта или услуги). Причём разработанный на макроуровне компании «Дом

качества» будет являться отправной точкой для разработки «Дома качества» на микроуровне. Таким образом, важно понимать, что рассмотренная методика по технологии QFD может подходить как для материальных продуктов, так и для услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anil, A. P., Satish, K. P. Enhancing customer satisfaction through total quality management practices – an empirical examination. *Total Quality Management and Business Excellence*, 2019, Vol. 30 (13–14), pp. 1528–1548. DOI: 10.1080/14783363.2017.1378572.
2. Goetsch, D. L., Davis, S. *Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality*. Seventh Edition, Pearson New International Edition, 2014, 468 p. [Электронный ресурс]: <http://en.bookfi.net/book/2267858>. Доступ 21.11.2019.
3. Dahlgaard, J. J., Reyes, L., Chen Chi Kuang, Dahlgaard-Park, S. M. Evolution and future of total quality management: management control and organisational learning. *Total Quality Management and Business Excellence*, 2019, Vol. 30 (sup 1), pp. S1–S16. DOI: 10.1080/14783363.2019.1665776.
4. Hoshin Kanri. *Policy Deployment for Successful TQM*. Ed. by Yoji Akao. 1st Edition. Taylor & Francis Limited, 2017, 244 p. [Электронный ресурс]: <https://www.routledge.com/Hoshin-Kanri-Policy-Deployment-for-Successful-TQM/Akao/p/book/9781563273117>. Доступ 21.11.2019.
5. Ходыревская С. В., Гнездилова Н. Ю. Применение концепции «Дом качества» для улучшения качества услуг // Методы менеджмента качества. – 2009. – № 12. – С. 48–50.
6. Anil, A. P., Satish, K. P. TQM practices and its performance effects – an integrated model. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 2019, Vol. 36 (8), pp. 1318–1344. DOI: 10.1108/IJQRM-10-2018-0266.
7. Kiran, D. R. *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*. BSP Books Pvt. Ltd., India, 2017, 545 p.
8. Клочков Ю. С. Развитие модели построения «Дома качества» // Сертификация. – 2013. – № 3. – С. 19–23.
9. Шило А. Н. PRO Тренды: транспортная инфраструктура как составляющая эффективной экономики. Доклад на транспортно-логистической конференции «PRO//Движение.Юг». – 04 июля 2019 г. [Электронный ресурс]: <http://railwayforum.ru/forum-south/otmetoriyatii/prezentatsii/>. Доступ 21.11.2019.
10. Соколов Ю. И., Ефимова О. В., Лавров И. М. Экономическое обоснование создания интегрированного информационного пространства взаимодействия транспортных компаний и клиентов: Монография – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – 100 с.
11. Соколов Ю. И. О некоторых противоречиях в понимании качества продукции // Мир транспорта. – 2004. – № 1. – С. 72–75.
12. Соколов Ю. И., Шлайн В. А. Качество услуг и слагаемые эффективности // Мир транспорта. – 2010. – № 2. – С. 82–85.
13. Tasleem, M., Khan, N., Nisar, A. Impact of technology management on corporate sustainability performance: The mediating role of TQM. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 2019, No. 36 (9), pp. 1574–1599. DOI: 10.1108/IJQRM-01-2018-0017.





Development of the House of Quality for Rail Transportation Market



Lavrov, Ilya M, Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Ilya M. LAVROV

ABSTRACT

The article discusses the features and application of the technology of deployment of quality functions. The objective of the article is to present an efficient methodology allowing transport companies to make management decisions in the field of improving the quality of transport services provided to cargo owners. The technique was developed based on the House of Quality model (matrix) in the framework of the Total Quality Management (TQM) concept.

Using logical, graphic, factorial, comparative, balance methods and considered technology the article describes in detail the structure and the

procedure for constructing the House of Quality matrix within the process of analysis of rail transportation companies and focusing on the features and criteria of customer preferences in the field of rail freight transportation.

Actual examples were used to show particularities of provision of rail transportation services. The developed technique and recommendations may be useful for transport companies to proceed with multiple factor analysis if their activity in the field of quality management, to assess efficacy and identify priorities while making decisions aimed at increasing quality of transportation services.

Keywords: total quality management (TQM), quality functions deployment (QFD), house of quality (HOQ), railway transport, transport services, cargo transportation.

*Information about the author:

Lavrov, Ilya M. – Ph.D. (Economics), Associate Professor, First Deputy Director – Head of the Training office of the Institute of Economics and Finances of Russian University of Transport, Moscow, Russia, ilya02lavrov10@yandex.ru.

Article received 21.11.2019, accepted 13.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 136.

Background.

In modern conditions, the quality of services provided to customers is one of the most important factors determining the success of transport companies in competition for the client.

Since transportation, and particularly railway transportation services, are in significant demand among cargo owners as customers, transport companies are most interested in finding new ways to improve the quality of service.

Railway transport has a powerful potential for improving the quality of transport services through implementation of promising projects introducing new transportation and information technologies, developing transport infrastructure, enhancing engineering facilities. However, it is necessary to analyze efficacy of those projects to confirm conformity of the undertaken measures with the needs of cargo owners.

According to the modern universally accepted Total Quality Management (TQM) concept, it comprises as the fundamental element the approach based on quality assessment by customer, while consumer involvement in this process is a core factor [1; 2]. Customer involvement, analysis of their feedback is considered the key to the TQM effective operation. The system for improving product quality involving analysis of customer feedback is associated with a technology for quality functions deployment (QFD) during design and manufacture of products or services. It is based on the matrix principle, as well as on the application of economic and mathematical calculations to determine priority of management decisions.

According to the logic of constructing processes using QFD technology, all functional departments of a transport organization should be involved in the technological process from the first day, which is the main goal of TQM [3, p. 3]. So, the QFD technology methodically develops approaches to total quality management.

According to this technology, one of the ways to achieve customer satisfaction and continuous growth in the effectiveness of the organization is to understand customer's desires and needs and to apply them in design and production. A significant contribution to development of QFD technology was made by

prominent Japanese expert Dr. Yoji Akao, who in 1966 combined quality strategies with the developed technology for quality functions deployment [4, p. 24]. According to his approach, the client (potential user of transport services) becomes part of the team that carries out transportation. This technology indicates the line of action for designers and planners that allows them to focus on the features of a transport service which are the most important for a client. The QFD technology workflow consists of the following steps:

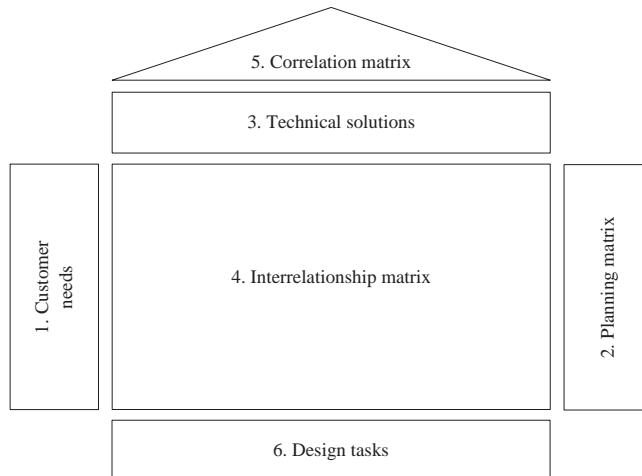
1. identification of consumer needs, which are called «The Voice of the Customer» (VOC);
2. identification of technical solutions (measures) that will allow to bring transport products as close as possible to the point of the fullest satisfaction of the VOC;
3. establishment and optimization of the process of developing transport products based on the first two stages, as well as setting priorities for technical solutions and identifying specific tasks for implementation [2, p. 311].

Thus, the main operating requirement of QFD technology is that each transport company should know the desires and preferences of its cargo owners and should convert them into components of an offered transport service to fully satisfy the VOC [5; 6]. Whenever possible, a transport company should carry out an intermediate testing of its services, which contributes to a more complete understanding of which of the decisions made bring the greatest contribution to meeting the needs of the cargo owner.

This statement determines the *objective* of this article, which is to consider the basic methodology for making managerial decisions in the field of improving the quality of services in the transport market based on the development of a special model.

The described TQM concept and QFD technology as its structural component, make foundation for building a quality assessment model, which is the House of Quality (HOQ) – a set of interconnected matrices, each of which describes a certain stage of the study. It is one of the most modern and universal models for analysis and evaluation of product quality. The relevance of this study that used logical, graphic, factorial, comparative and balance *methods* is to analyze applicability and adaptability of the model to the activity of transport companies.





Pic. 1. Structure of the House of Quality with a numbered sequence of included matrices.

Results

The House of Quality model (HOQ), as mentioned above, is a set of interconnected matrices that have a specific sequence once they are built. Those matrices are used for comprehensive analysis of external and internal factors influencing the quality management process, and for further development of recommendations (specific technical solutions). The implementation efficiency (feasibility) of those technical solutions can also be determined in advance.

The HOQ model is named so its structure is similar with the appearance of the house (Pic. 1).

According to Pic. 1, the quality house consists of six matrices [7, p. 434]:

- Matrix of identification of customer needs (Customer needs);
- Planning matrix;
- Matrix of development of technical solutions (Technical solutions);
- Interrelationship matrix;
- Correlation matrix;
- Matrix of setting of design tasks (Design tasks).

When compiling HOQ, all matrix components are filled in a formal sequence from 1 to 6. To consider the stages of building HOQ, we use a conditional example of functioning of a transport company. All numerical values used in the examples below are conditional.

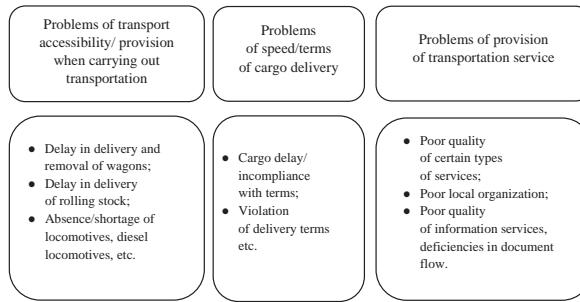
Matrix 1: «Customer needs»

Our hypothetical company is engaged in railway transportation of goods. The company

is not satisfied with its current market position and intends to update its offers to increase its market share. The company understands that to do this it must carry out the transportation process according to the requirements of potential cargo forwarders. The company plans to implement QFD technology.

Before starting to provide transport services, corporate employees should carefully work with potential cargo owners in order to determine what exactly they want to get from the transport company and, perhaps, to find out what does not suit potential customers. There are many ways to obtain this kind of information from cargo owners, including market analysis, establishment of focus groups, conducting personal, telephone, online surveys, sending questionnaires, also involving buyers-users of transport services of other companies, etc.

As soon as a team of company employees has collected sufficient information about characteristics and features of transport products cargo owners do need, the received information should be processed for further analysis. To speed up processing of a huge array of consumer opinions, the data obtained should be sorted into groups depending on their priority in terms of meeting the most important customer needs. For this, an QFD technology tool is used, which is called Affinity Diagram. Filtering a large amount of data into a sample that would represent the basis of the results of VOC survey is carried out with the analytical methodology called Affinity Diagram and through a discussion of the results by a team of employees [8].



Pic. 2. Affinity Diagram: analysis of problems, leading to a decrease in cargo transportation volume.

Pic. 2 shows the Affinity Diagram developed by a team of employees [9]. The purpose of its development was to organize the process of analyzing the input information of cargo owners (which transport services they select and want to purchase, considering the fact that the carrier has not offered them and that they are not satisfied with the current services), of revealing the reasons for the decrease in demand for transport services of the company.

The next tool to be used is Tree Diagram. In this case, it is used simply to refine the results of Affinity Diagram, to compile a final list of needs of cargo owners and fill in the matrix of consumer needs. Pic. 3 presents a fragment of Tree diagram, which was developed to solve the problems indicated in Pic. 2.

In practice, the working team summarizes the list of customer needs, keeping the key, most significant needs. The final list of customer needs, covering a complete set of questions, can be up to 20–30 points, depending on the situation. These needs imply what customers would like to see (or adjust) in the transportation process. Needs characterize what a transport company should strive for in order to provide a transportation service that will be of value to customers [10]. This list, representing the VOC, is the basis for filling in the first matrix of HOQ.

The analysis of this matrix also includes an assessment of significance of the identified needs for cargo owners themselves. The significance level is rated on a scale of one to five points, where five is the highest priority. This information can be obtained at the stage of the survey of cargo owners. But since it is impossible to get an assessment of the need according to significance scale from all the cargo owners, the working team should do everything possible to independently evaluate and set priorities, based on a representative sample of interviewed cargo owners.

Significance values are entered into the column «Level of significance for the client».

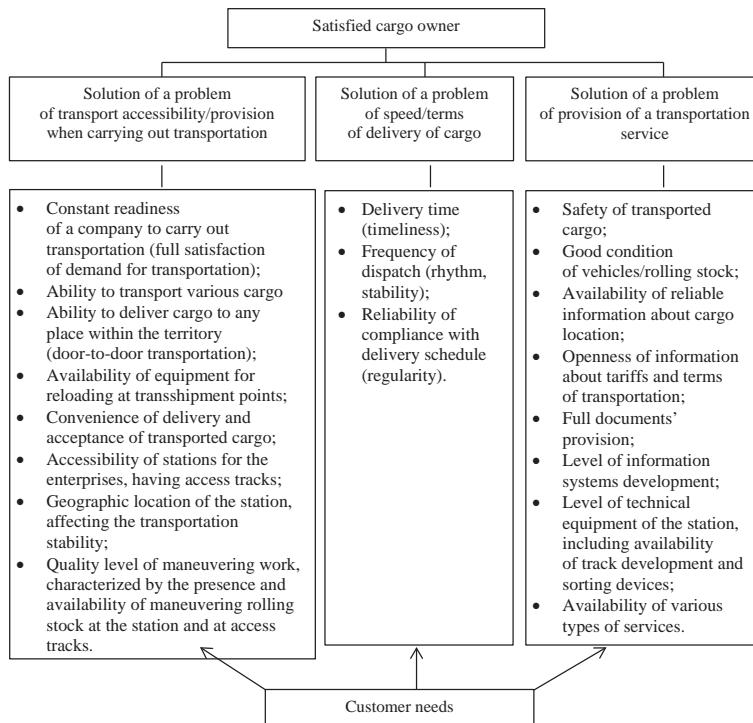
Matrix 2: «Planning matrix»

Then, it is necessary to collect and analyze data on satisfaction of cargo owners regarding the transport services of the considered transportation company and competing companies, to develop a planned targeted satisfaction assessment of a transportation services which is being prepared, and to calculate improvement coefficients and allocate points of sale.

First, a comparative analysis is carried out to compare services of the analyzed transport company and the services of competitors. At this stage, it is important to know the customer satisfaction rating regarding competitors, since it will help the transport company to identify what it needs to do to make its transportation services more attractive than those of its competitors. To get this information, the working team organizes a focus group to compare quality of transportation services. It is also possible to organize questioning among customers who use transportation services of analyzed company along with the services of competing companies. In both cases, respondents should be asked to rate transport services regarding each characteristic listed in the customer needs matrix using a scale from one to five points. The received information is entered into the planning matrix. (Examples provided here and further on are shown also in Pic. 4).

The planning matrix will also display the desired degree of customer satisfaction with the transportation service for each criterion of customer's needs (target customer rating). The same scale from one to five points is used. The practical goal is to implement a transportation service that will satisfy customers but will not





Pic. 3. Tree Diagram: identification of key needs of cargo owners from the total sample of answers.

be too costly for the company. However, this does not mean that improvement of some other needs should not be considered. A transport company should be sufficiently competitive by all consumer parameters, but it does not have to be the most expensive in terms of financial costs [11; 12]. The working team develops a target customer rating for each need and enters the set values into the planning matrix.

Then the working team calculates *the improvement coefficient* for each need for a transportation service. Equation for improvement coefficient with a scale of one to five points:

$$\text{Improvement coefficient} = \{(\text{Target customer rating} - \text{Evaluated customer rating}) \cdot 0,2\} + 1. \quad (1)$$

A strategic marketing factor, sometimes called a «*point of sale*», can also be included in the planning matrix. A point of sale is a number from 1 to 1,5 that is used to focus on customer needs. This is an assessment of marketing significance of the need to promote a transportation service, and therefore it is used together with the assessment of the level of significance for the client and the improvement coefficient in calculating the

total weight of customer needs. A point of sale with a value of 1 will not lead to a change in the total weight of customer needs. A point of sale with a value of 1,5 doubles the value of the total weight of customer needs compared to the value that was calculated based on the level of significance for the customer and the improvement coefficient. The working team develops data on the points of sale and enters them in the planning matrix.

Then the working team calculates the total weight of each customer need separately, according to the following formula:

$$\text{Total weight} = \text{Level of significance for the consumer} \cdot \text{Improvement coefficient} \cdot \text{Point of sale}. \quad (2)$$

Then it is necessary to determine the value of the total weights of needs in percent, to better understand what share of the cost of improvement should be given to each of the considered customer needs. The percentage of total weight is calculated using the following formula:

$$\% \text{ of the total weight} = (\text{Total weight} / \text{Sum of total weights}) \cdot 100. \quad (3)$$

Thus, using the planning matrix and basing on the consideration of its constituent factors (*the significance level for the client* (shows how critical this need is for the client); *the improvement coefficient* (characterizes the necessary amount of efforts of the transport company to improve its transportation services to achieve the target level with the goal of full satisfaction of the need); the *point of sale* (characterizes the level of importance of this need in terms of marketing)) it is possible to calculate the total weight of a need. Based on the calculated percentage of the total weight, it is possible for the transport company to rationally distribute its financial and production resources to implement quality improvement measures.

For example, customer need for door-to-door cargo transportation has the highest total weight and the highest percentage of the total weight. For the transport company, this parameter will have priority in achieving the target rating of «5». The need for regularity and stability (rhythmic transportation) occupies the second place, and the need for constant readiness of the company to carry out transportation is in the third place.

Matrix 3: «Technical solutions»

The matrix of technical solutions development indicates how the transport company plans to respond to each cargo owner's need. This is sometimes called the «voice of the company». It should be noted right away that technical solutions do not represent the technical specifications of a product or a service [13, p. 1580]. Rather, these are improved or newly created product features that aim to better meet consumer needs. They can be measured in terms of satisfaction. Some of them can be measured by weight, force, speed, etc., others are measured by the criterion of «yes/no». Technical solutions should not be constraining, but quite flexible to allow the company to use all the creative ability to satisfy the need. As a guide to their development, the obtained results of two previous matrices are used.

Using Affinity Diagram or Tree Diagram will also help the working team focus on the characteristics and features of the transportation service (cargo transportation), as well as on the procedures and production processes that will help achieve the planned improvement. The difference here is that suggestions come from within the company, not from customers.

The development of proposals is repeated for all production tasks in order to form a list of elements from which the working team will finally select technical solutions that should be placed in the matrix of technical solutions.

Matrix 4: «Interrelationship matrix»

Once technical solutions are included by the working team in the structure of the House of Quality, a next step is to study the issue of how they relate to the needs of customers. The results will be shown in the interrelationship matrix, which links the matrices 1 and 3. For each cell making up the interrelation matrix, the working team should evaluate the degree of interrelation between each cargo owner's need and the corresponding technical solution. This is usually done using a significance scale of 1 to 9, with a higher value indicating a stronger interrelation. Sometimes the numbers are entered into the matrix, but symbols are also often used. For our example, we will use the symbols as follows:

- ◎ = 9 (strong interrelation);
- = 3 (medium interrelation);
- △ = 1 (weak interrelation);

An empty cell indicates the absence of interrelation.

To understand how to work with this matrix, let's consider the first need of the client *«Timely delivery of goods»*. It is necessary to determine what technical solutions are relevant to fulfillment of this need.

In case of the conditional transport company being analyzed, interrelation can be tracked using technical solutions similar to those that have been implemented in Russian Railways holding company, e.g., introduction of the centralized Focus automatic system (Focus AS), a long-term system of the holding company's interaction with key shippers, and a change in the KPI system for employees. To understand how strong these interrelationships are, the working team should think it over and make a decision. Therefore, the result of this assessment may not be accurate, but approximate, agreed upon following the results of the discussion.

There is an empirical rule in QFD technology, according to which only about 15 % of interrelationship cells will show the relationship between customer needs and technical solutions. At the same time, there is another solid rule for filling in the interrelation



matrix: *each row and each column must have at least one significance marker*. An empty column means that this technical solution is not able to satisfy any consumer needs. Spending any efforts on such technical solutions would be a waste of resources for the transport company, as customers would not find it useful. On the other hand, a horizontal line with empty cells indicates that a specific customer need is not solved in any way by the proposed technical solutions. It must be remembered that all of the listed customer needs should be considered in technical solutions, and any technical solution that does not meet the needs of customers should probably not be accepted for execution.

Matrix 5: «Correlation matrix»

When developing a product or a service, certain technical solutions will inevitably arise that can benefit each other (i.e., have a supportive or a positive correlation), and some will work against each other (i.e. become an obstacle or get a negative correlation). The transport company needs to know what correlation exists between the proposed solutions in order to correctly use supporting correlations and find compromises for those that interfere with each other. Lack of information about this may lead to the fact that a transportation service will not meet the requirements of cargo owners or will require expensive modernization. The goal of correlation matrix or «roof» of the House of Quality is to help understand it correctly from first sight.

Intersecting diagonal lines are drawn in a triangle on top of each column of technical solutions. Next, the type of correlation is determined (supporting, inhibiting or not having correlation) for each of the technical solutions in comparison with all other technical solutions. The supporting correlation is indicated by a plus sign (+) in the intersecting columns of two technical solutions under consideration. Negative correlation is indicated by a minus sign (−). If there is no correlation between technical solutions, their intersection cell remains empty.

In practice, when analyzing the type of correlation between technical solutions, the working team asks itself the question: *«Does improvement of this technical solution lead to improvement of any other solution either to deterioration of some other solution?»*. If neither

improvement nor deterioration is indicated, there is obviously no correlation between them.

Let's take a look at the specific example of Russian Railways holding company mentioned above. The QFD working team will try to determine: *«Does the recommended technical solution to introduce Focus AS support or hinder implementation of another solution on long-term system of the holding company's interaction with key shippers?»* Both of these technical solutions can respectively facilitate implementation of the other solution, therefore, there will be a supporting correlation between them. This study is repeated for all remaining correlation cells.

For HOQ with nine technical solutions, as in our example in Pic. 4, there are 36 possible correlations. However, the larger is the composition of the matrix of technical solutions, the greater is complexity, and more details should be provided to fill in HOQ matrices. The results obtained while filling in the correlation matrix can facilitate work in complex analytical situations, ensuring that all important influencing factors have been carefully considered and evaluated. This will ensure the greatest likelihood that the improved transportation service that will be offered by the company will bring it success and will get complete satisfaction from customers.

Matrix 6: «Design tasks»

If the needs of the cargo owner describe what he needs, and technical solutions say what actions the transport company intends to take to meet his needs, then the design tasks indicate what actions to improve quality on the part of the company should ultimately be implemented and in what quantity.

For example, in our case, the customer of the company's transportation services stipulated that he wanted transportation services to be permanently available to him. The developed solutions indicate that to satisfy that need the transport company should either create a long-term system of interaction with key shippers, or reengineer the system of commercial dispatchers (let us assume that those two options have been previously assessed as most effective ways to meet the needs). Now we need to determine in the design tasks matrix how significant this solution is as compared to other solutions, and which target result should be set. This will be

determined by the data that have already been calculated and entered in the previous matrices, as well as, if necessary, by the data of comparative analysis and testing. This matrix can develop conclusions derived from QFD technology and to transform them into future transportation service specifications.

The design tasks matrix consists of three sections:

- technical priorities according to the known HOQ data);
- technical comparative analysis (made based on the data collected from external sources);
- calculated target values (developed based on the results obtained while processing data of two sections above).

To determine the relative importance or priorities of each of the stated technical solutions to meet customer needs, the working team simply multiplies each of the obtained degrees of correlation of the technical solution (0, 1, 3, or 9) from interrelation matrix by the value of the total weight of the corresponding customer need from planning matrix. Then the results are summarized for each technical solution.

Referring again to the example of a conditional transport company and examining this process at the example of the technical solution of Russian Railways holding company on implementation of the Focus AS, it might be found that its interrelationship with the customer need «Timely delivery of goods» was noted in the interrelation matrix by 3 points. The value of that need in the column «Total weight» of planning matrix is marked by 6,6 points. Multiplying those two figures gives us a value of 19,8.

There might be five more correlation values for the technical solution on implementation of the Focus AS, therefore it is necessary to make six products and then to summarize them:

- For «Safety of transported cargo» it is necessary to multiply 3 by 2,4 that is $3 \cdot 2,4 = 7,2$.
- For «Regularity and rhythm»: $3 \cdot 7,0 = 21,0$.
- For «Door-to-door cargo transportation»: $3 \cdot 7,7 = 23,1$.
- For «Level of development of information systems»: $9 \cdot 3,6 = 32,4$.
- For «Full provision with documents»: $3 \cdot 3,2 = 9,6$.

In total, the technical solution on implementation of Focus AS has a priority of 113,1.

The value 113,1 is entered in the line «Technical priorities» of the design tasks matrix under the column «Implementation of the centralized system AS «Focus», as shown in Pic. 4.

A line of technical priorities is filled following the similar process for the rest of the technical requirements. The obtained values of technical priorities are absolute ones. To bring the values of technical priorities into a percentage form, it is necessary to divide the absolute values of technical priorities obtained by the total amount of all values of technical priorities and then to multiply by 100.

Percentage of the total priority = (Certain technical priority/Sum of all technical priorities) • 100. (4)

For example, for our example of the technical solution on Focus AS the calculation will look as follows:

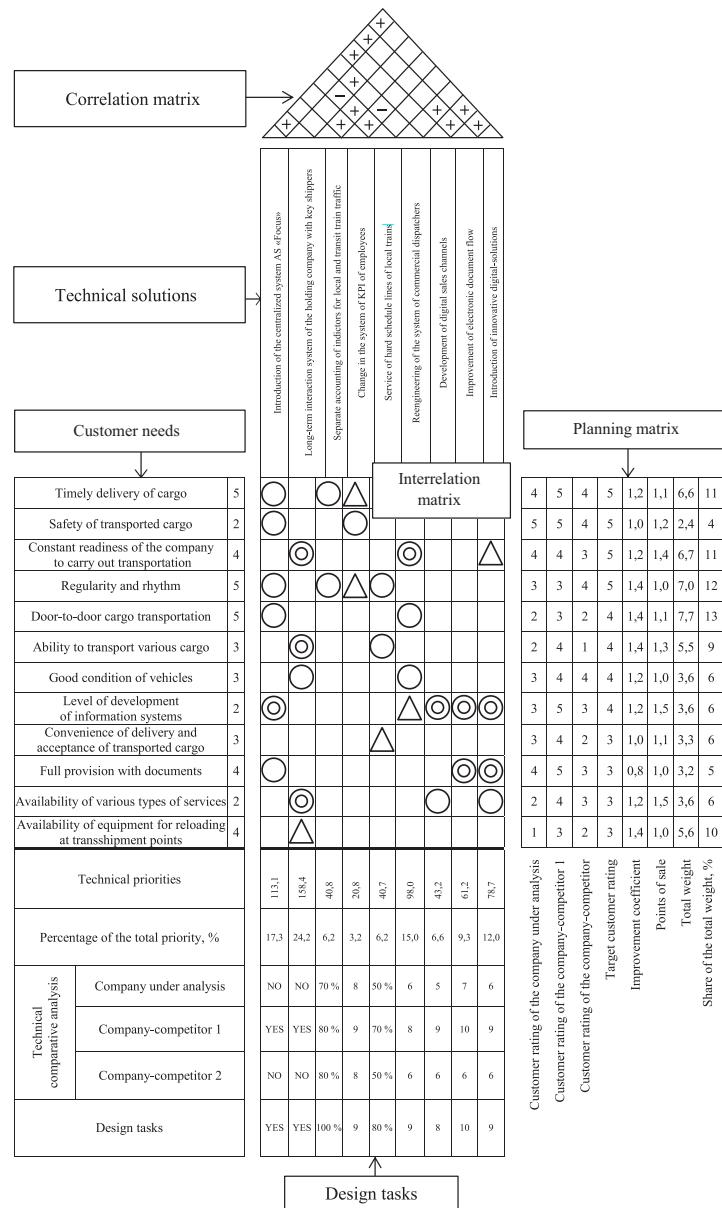
Percentage of the total priority = $[113,1/(113,1 + 158,4 + 40,8 + 20,8 + 40,7 + 98,0 + 43,2 + 61,2 + 78,7)] \cdot 100 = (113,1 + 654,9) \cdot 100 = 17,3 \%$.

Percentages for all other technical solutions are calculated and placed in the next row after technical priorities. With the exception for small round-off errors, the sum of this line should be 100 %.

Calculations showed that the technical solution on long-term system of interaction between the holding company and key shippers has the maximum percentage of total priorities (24,2 %). This suggests that to meet the needs of customers, development of a long-term system for the holding company's interaction with key shippers is by far the most important technical solution. The fact that this technical solution has a much higher percentage of overall priorities than others seems reasonable, since it affects to some extent satisfaction of five consumer needs. This information is used by a transport company as a guide for proper distribution of its own limited resources for implementation of quality improvement measures.

The next section of the design tasks matrix compares the transportation service of the transport company under analysis with





Pic. 4. Fully compiled HOQ of a transport company.

competing transportation services. Using matrix No. 3 of HOQ, the working team identified technical solutions providing for how the transport company plans to meet customer needs. The section «Technical comparative analysis» is intended to provide specific information about the competitive position of the company's transportation service in comparison with competing services of the same type for each of the technical solutions. The information for competing services can be received from customers, focus groups, media, results of quality control in the workplace, etc.

Usually this is a squeeze from the aggregate of the collected information from all possible sources. The working team starts with collecting data on its own transportation service for each of the technical solutions. Evaluation data of transportation services for the own and competing companies are entered in three lines of the section «Technical comparative analysis».

The last section of the design tasks matrix allows to set specific tasks for implementation of each of the technical solutions by the working team of the company. This section shows the summary of HOQ compilation,

indicates the target values and guidelines that a working team should follow in order to successfully and efficiently improve quality of transportation services.

Upon completion of the design tasks matrix, development of the House of Quality is completed. Ready to use HOQ is often used by the staff of all the departments of the transport company to focus the attention of the employees on the process of improving quality and efficiency of the work process. HOQ ensures that all the aspects of technical solutions fully comply with consumer needs without unnecessary costs and actions for the company.

Conclusion. The research allowed us to reveal the prospects of applying the approaches developed within the framework of HOQ model for analysis and assessment of quality of rail transportation services provided to cargo owners.

The promising outlook for this model is explained by the fact that any transport company has the opportunity, based on its own development, using the algorithm described in the article and considering its particularities, to conduct a multivariate analysis of its activities in the field of quality management, to evaluate effectiveness and to prioritize decisions made to improve quality of transportation services.

Meanwhile, it is necessary to implement the model's elements described in the article in a systemic way, since only observing established sequence of construction of the model and considering totality of the data collected for each matrix will ensure maximum accuracy and reliability of the results for corporate developer.

The model can be adapted by companies in other industries, considering any specifics of activity that could be described based on the described matrix.

In practice, a company can also develop HOQ, focusing on attaining its own goals of improving quality at the macro level (increasing competitiveness of the enterprise) and at the micro level (improving competitiveness of an individual product or a service). Moreover, corporate HOQ developed at the macro level will be a starting point for development of HOQ at the micro level. Thus, it is important to understand that the considered QFD methodology can be suitable for both tangible products and services.

REFERENCES

1. Anil, A. P., Satish, K. P. Enhancing customer satisfaction through total quality management practices – an empirical examination. *Total Quality Management and Business Excellence*, 2019, Vol. 30 (13–14), pp. 1528–1548. DOI: 10.1080/14783363.2017.1378572.
2. Goetsch, D. L., Davis, S. Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality. 7th Edition. Pearson New International Edition, 2014, 468 p. [Electronic resource]: <http://en.bookfi.net/book/2267858>. Last accessed 21.11.2019.
3. Dahlgaard, J. J., Reyes, L., Chen Chi Kuang, Dahlgaard-Park, S. M. Evolution and future of total quality management: management control and organisational learning. *Total Quality Management and Business Excellence*, 2019, Vol. 30 (sup 1), pp. S1–S16. DOI: 10.1080/14783363.2019.1665776.
4. Hoshin Kanri. Policy Deployment for Successful TQM. Ed. by Yoji Akao. 1st Edition. Taylor & Francis Limited, 2017, 244 p. [Electronic resource]: <https://www.routledge.com/Hoshin-Kanri-Policy-Deployment-for-Successful-TQM/Akao/p/book/9781563273117>. Last accessed 21.11.2019.
5. Khodyrevskaya, S. V., Gnedilova, N. Yu. Application of House of Quality concept to improve quality of services [Применение концепции «Дома качества» для улучшения качества услуг]. *Metody menedzhmenta kachestva*, 2009, Iss. 12, pp. 48–50.
6. Anil, A. P., Satish, K. P. TQM practices and its performance effects – an integrated model. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 2019, Vol. 36 (8), pp. 1318–1344. DOI: 10.1108/IJQRM-10-2018-0266.
7. Kiran, D. R. Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies, BSP Books Pvt. Ltd., India, 2017, 545 p.
8. Klochkov, Yu. S. Development of the model of construction of the House of Quality [Развитие модели построения «Дома качества»]. *Sertifikatsiya*, 2013, Iss. 3, pp. 19–23.
9. Shilo, A. N. PRO Trends: transport infrastructure as a component of an efficient economy. Report at the transport and logistics conference «PRO // Dvizhenie. Yug», July 04, 2019 [PRO Trendy: transportnaya infrastruktura kak sostavlyayushchaya effektivnoi ekonomiki. Doklad na transportno-logisticheskoi konferentsii «PRO//Dvizhenie.Yug». – 04 iyulya 2019]. [Electronic resource]: <http://railwayforum.ru/forum-south/o-meropriyatii/prezentatsii>. Last accessed 21.11.2019.
10. Sokolov, Yu. I., Efimova, O. V., Lavrov, I. M. The economic rationale for creating an integrated information space for interaction of transport companies and customers: Monograph [Ekonomicheskoe obosnovanie sozdaniya integrirovannogo informatsionnogo prostranstva vzaimodeistviya transportnykh kompanii i klientov: Monografiya]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2019, 100 p.
11. Sokolov, Yu. I. Comprehension of the Quality of production: some Contradictions in approaches. *World of Transport and Transportation*, 2004, Vol. 2, Iss. 1, pp. 72–75.
12. Sokolov, Yu. I., Shlein, V. A. Quality of Services and Components of Efficiency. *World of Transport and Transportation*, 2010, Vol. 8, Iss. 2, pp. 82–85.
13. Tasleem, M., Khan, N., Nisar, A. Impact of technology management on corporate sustainability performance: The mediating role of TQM. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 2019, No. 36 (9), pp. 1574–1599. DOI: 10.1108/IJQRM-01-2018-0017.





Комплексный анализ форм инновационной деятельности зарубежных железнодорожных компаний



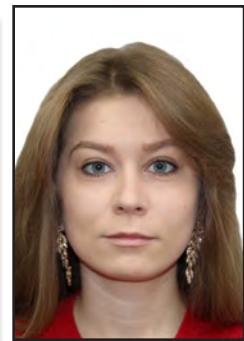
Олег КАРАСЕВ



Максим ЖЕЛЕЗНОВ



Сергей ТРОСТЬЯНСКИЙ



Юлия ШИТОВА

Карасев Олег Игоревич – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

Железнов Максим Максимович – Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия.

Тростынинский Сергей Сергеевич – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия.

Шитова Юлия Александровна – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия*.

Современный этап развития характеризуется структурным кризисом, проявляющимся во многих сферах и отраслях экономики. Подобная ситуация объясняется, в том числе переходным состоянием мировой экономической системы, обусловленным процессом укоренения нового технологического уклада, развитием Индустрии 4.0. Изменения, которые являются результатом реализации данного процесса, будут играть ключевую роль в определении тенденций и направлений мирового экономического развития в ближайшие десятилетия, характеризовать новую технологическую структуру и векторы дальнейшего развития и применения технологий.

Однозначной чертой нового технологического уклада является скорость, с которой разрабатываются и внедряются новые технологии и продукты. Важнейшими индикаторами успешности новой экономической модели будут скорость, обём и качество. Лидерами новой системы рыночной экономики будут те компании, которые смогут быстрее и лучше всех приспособиться к новым реалиям экономического развития. В числе главных критерии, определяющих успешность компаний в современных условиях, являются скорость и качество: в конкурентной борьбе за лидирующие позиции компании будут должны делать всё быстрее и лучше

остальных. Актуальность подобной парадигмы подтверждается сокращением научно-технологических и инновационных циклов – времени от создания идеи до её реализации и передачи в производственную эксплуатацию.

Массовая цифровизация всех аспектов деятельности и сокращение длительности циклов обновления техники и технологий определяют тенденцию переориентации компаний с исключительно внутреннего типа организации инновационной деятельности на преимущественно внешний. В данной статье анализируются формы и инструменты организации инновационной деятельности, в том числе посредством выстраивания специфических отношений с внешними участниками инновационной экосистемы. Базой исследования является практика некоторых ведущих зарубежных железнодорожных компаний.

Целью данной статьи является проведение обзора используемых инструментов и способов организации инновационной деятельности в ряде ведущих железнодорожных компаний и определение её наиболее распространённых форм. Комплексный анализ функционирования форм инновационной деятельности осуществлялся с применением методов структурного и комплексного сравнительного анализа, обобщения и дедуктивных методов.

Ключевые слова: инновационная деятельность, железнодорожная отрасль, R&D центр, инновационная лаборатория, внутрикорпоративное предпринимательство, управление инновациями, R&D, хакатон, бизнес-акселератор, бизнес-инкубатор, кэптивный венчурный фонд.

*Информация об авторах:

Карасев Олег Игоревич – кандидат экономических наук, директор центра научно-технологического прогнозирования экономического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, oikarasev@econ.msu.ru.

Железнов Максим Максимович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), Москва, Россия, M.Zheleznov@mail.ru.

Тростынинский Сергей Сергеевич – магистр по направлению «Экономика», заместитель директора Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова, strostiansky@yandex.ru.

Шитова Юлия Александровна – магистр по направлению «Менеджмент», ведущий специалист Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова, julyaa.titova@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 01.07.2019, принята к публикации 21.03.2020.

For the English text of the article please see p. 165.

ВВЕДЕНИЕ

Активный процесс цифровой трансформации приоритетных отраслей экономики, включая железнодорожные перевозки, предопределяет потребность компаний в структурном изменении сложившейся системы управления научно-технической деятельностью.

В Российской Федерации в соответствии с паспортом федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» компании с государственным участием обязаны разработать и реализовывать стратегии цифровой трансформации. Указанный программный документ предопределяет, в том числе необходимость развития подходов к управлению и координации процессов исследований и разработок, формированию инновационной экосистемы. Отдельное внимание уделяется вопросам комплексного межотраслевого взаимодействия компаний по вопросам развития «сквозных» цифровых технологий и в целом реализации инициатив, направленных на совместное осуществление прорывного научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации.

Большинство железнодорожных компаний исторически включают в собственную организационную структуру высокоразвитый научно-технологический блок, состоящий из профильных университетов, научно-исследовательских институтов и лабораторий. Основная задача подобного инновационного кластера заключается в полном контроле, управлении и организации инновационной деятельности железнодорожных компаний.

В рамках настоящей статьи осуществляется обзор специфики и форм организации инновационной деятельности в ведущих зарубежных железнодорожных компаниях, основной целью которого является определение и описание наиболее распространённых и актуальных способов ведения инновационной деятельности, итогом которой являются конкурентоспособные результаты инновационной деятельности, направленные на повышение качества и эффективности функционирования организации в целом. Для достижения указанной цели были применены ме-

тоды структурного и комплексного сравнительного анализа, дедукции и обобщения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Традиционно внутреннее инициирование процесса инноваций и инновационных проектов связано с функционированием корпоративного R&D центра или инновационной лаборатории. Основной функционал инновационных лабораторий и R&D центров заключается в самостоятельном проведении исследований и разработок в рамках приоритетных направлений технологического развития [1]. Все возможные риски, связанные с разработкой и внедрением технологий и решений в рамках инновационных лабораторий и R&D центров, полностью лежат на компании.

В целях реализации технологических проектов, требующих специфических компетенций, опыта и знаний, которые лежат за пределами контура компании, существует практика организации деятельности инновационных лабораторий, функционирующих по принципу «открытых инноваций». Данный принцип подразумевает активное взаимодействие с третьими лицами (например, университетами, конкурентами или клиентами) [2], что открывает доступ к комплементарным знаниям, рынкам и сетям [3].

Среди ведущих зарубежных железнодорожных компаний, в организационной структуре которых присутствуют инновационные лаборатории или R&D центры, можно выделить Deutsche Bahn (далее – DB) (Германия), SNCF (Франция), China Railway (далее – CR) (Китай).

Главной исследовательской лабораторией DB является DB MobilityLab, головной офис которой расположен во Франкфурте¹. В рамках данной исследовательской лаборатории сотрудники компании самостоятельно занимаются разработкой и тестированием различных прототипов в целях оценки их эффективности. По результатам оценки формируется программа доработки и внедрения прототипов в производственную деятельность компании.

¹ [Электронный ресурс]: <https://karriere.deutschebahn.com/karriere-de/ueber-uns/it-projekte/DBmobilitylab-3673300>. Доступ 19.03.2020.



Приоритетными направлениями исследований в DB MobilityLab являются:

- разработка автоматизированных систем управления локомотивами;
- аддитивные технологии;
- технологии виртуальной и дополненной реальности.

В 2017 г. на базе DB MobilityLab была запущена программа внутрикорпоративного предпринимательства, предоставляющая сотрудникам немецкой железнодорожной компании возможность реализации собственных идей. Основной механизм инициирования и поддержки технологических проектов в рамках указанной программы заключается в первичном рассмотрении проектов экспертами и, в случае их перспективности и востребованности со стороны DB, последующей передаче проектной команде, формируемой вокруг инициатора идеи, для их реализации.

Другой функционирующей независимо инновационной лабораторией немецкого железнодорожного концерна является DBmindbox², основная цель которой заключается в отборе, экспертизе и сопровождении в процессе реализации наиболее перспективных стартапов. В пул рассматриваемых заявок DBmindbox входят проекты в области строительства и эксплуатации инфраструктурных объектов, повышения эффективности работы с клиентами посредством внедрения цифровых решений, автоматизации транспортных систем и создания программных решений.

Менеджмент SNCF обозначил наличие потребности в переходе от R&D к концепции RID (Research, Innovation & Development), что означает принятие новых процессов управления инновациями. Применение принципов RID осуществляется передовыми инновационными компаниями [4], занимающими лидирующие позиции на рынке по уровню технологического развития.

Управление инновациями является основной миссией SNCF Innovation & Research. В зону ответственности данного структурного подразделения³ входит управ-

ление инновационными лабораториями и мини-лабораториями, ориентированными на изучение и развитие приоритетных направлений в области энергетики, общественного транспорта, мобильности пожилых людей, экодизайна и т.д. Данные инновационные лаборатории состоят из сотрудников SNCF, объединяемых в рабочие команды на период реализации проектов по разработке прорывных и инкрементальных инноваций. Лаборатории регулярно проводят обучающие семинары с привлечением сторонних специалистов, в том числе из смежных отраслей.

Например, функционирует инновационная лаборатория общественного транспорта PublicTransportLab, деятельность которой сконцентрирована на развитии транспортных возможностей и повышении удобства пассажиров в городских поездках. Деятельность PublicTransportLab основывается на принципе «открытых инноваций». Объединение в рамках одной лаборатории сотрудников компании SNCF из различных департаментов (маркетинг, инфраструктура, стратегический менеджмент и т.д.) повышает творческий и креативный потенциал, необходимый для генерации инновационных идей.

Практика китайской железнодорожной компании CR служит примером организации R&D центра, управление которым осуществляется совместно с компанией-партнёром — CR подписала стратегическое соглашение с одной из крупнейших китайских телекоммуникационных компаний Huawei о создании совместного инновационного центра. В соответствии с данным соглашением совместный центр организуется на принципах сотрудничества по следующим приоритетным направлениям технологического развития: логистическая сеть, облачные технологии, большие данные, беспроводная сеть, аварийная связь и т.д.

Приоритетная цель функционирования данного центра заключается в разработке решений, направленных на формирование единой интеллектуальной транспортной системы путём глубокой интеграции информационно-коммуникационных технологий в деятельность железнодорожных компаний, в том числе посредством формирования единого геоинформационного пространства железных дорог [5–7].

² [Электронный ресурс]: <https://dbmindbox.com/de/>. Доступ 19.03.2020.

³ [Электронный ресурс]: <https://www.sncf.com/en/innovation-development/innovation-research>. Доступ 19.03.2020.

Таким образом, инновационные лаборатории и R&D центры представляют собой базовые корпоративные институты, занимающиеся вопросами инновационного развития. Наиболее развитые компании переходят от R&D к RID, смещая фокус с традиционных исследований и разработок на комплексное управление инновациями на всех стадиях жизненного цикла. Тем не менее современные реалии и скорость обращения технологического цикла предопределяют необходимость взаимодействия железнодорожных компаний с третьими организациями, в том числе из смежных секторов экономики. Компании выражают высокий уровень заинтересованности в выстраивании систем трансфера технологий, уделяя особое внимание механизмам внешнего трансфера и коммерциализации.

Проведение инновационно-ориентированных мероприятий, включая хакатоны, является одним из способов взаимодействия компаний с внешними субъектами инновационной среды в рамках выстраивания собственной инновационной политики. Хакатоны представляют собой мероприятия, продолжительностью от 12 до 72 часов, в течение которых различные участники интенсивно взаимодействуют друг с другом в рамках разработки образцов инновационных решений/продуктов, преимущественно информационного характера [8].

Основными целями подобных мероприятий являются:

- отбор наиболее перспективных проектов с рынка для их последующей имплементации в производственную деятельность;
- генерация новых идей;
- привлечение талантливых сотрудников и проектных команд;
- улучшение восприятия имиджа и бренда компании.

В соответствии с классификацией Г. Бриско [8, с. 5] следует выделить следующие категории хакатонов:

- технически-ориентированные хакатоны, организуемые в целях разработки технологий или информационных платформ;
- фокус-ориентированные хакатоны, направленные на коллективное решение

заранее сформулированных проблем (задач).

Например, в 2018 году в Тюмени на базе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» прошёл II Всероссийский конкурс «Smart City & IoT Хакатон». Основной целью мероприятия была разработка технологий умного города и, в частности, интеллектуальной транспортной системы.

Активными приверженцами применения подобных форм осуществления инновационной деятельности в железнодорожной отрасли являются DB и SNCF. Например, немецкий железнодорожный концерн на регулярной основе организует хакатоны в Берлине, основной целью которых является развитие технологий открытых данных⁴.

По результатам хакатонов DB отбирает наиболее перспективные и конкурентоспособные проекты, которым предоставляется различного рода поддержка и экспертиза (финансовая, технологическая, маркетинговая и т.д.). Результатом подобного сотрудничества является модернизированный продукт, подлежащий внедрению в производственную деятельность компании.

SNCF проводит хакатоны в рамках ежегодного форума, посвящённому инновациям в сфере пассажирских перевозок EcoMotion. В 2017 году одним из победителей данного мероприятия стала компания Selentium, разработавшая систему звукоизоляции QuiteBubble для пассажирского транспорта⁵.

Другим подобным мероприятием SNCF является TrainAndroid, направленный на развитие технологий в области робототехники⁶. Наиболее важными результатами данного хакатона, которые являются:

- оптимизированный механизм открытия/закрытия дверей поездов;
- системы взаимодействия «человек-машина»;

⁴ Deutsche Bahn. [Электронный ресурс]: <https://dbmindbox.com/de/db-opendata-hackathons/>. Доступ 19.03.2020.

⁵ [Электронный ресурс]: <https://www.silentium.com/ecomotion-hackathon-2017/>. Доступ 01.03.2020.

⁶ [Электронный ресурс]. <https://www.sncf.com/fr/groupe/newsroom/innovations-materiel>. Доступ 15.03.2020.





- применение аддитивных технологий в целях управления качеством.

Активное взаимодействие со стартапами и прочими субъектами малого и среднего предпринимательства (далее – МСП) позволяет компаниям быть в курсе ключевых технологических трендов как железнодорожной отрасли, так и смежных секторов экономики, например, организации автобусных перевозок. Понимание векторов развития ближайших смежных направлений транспортной отрасли в условиях формирования единой транспортной сети и организации мультимодальных перевозок с применением различных категорий транспорта является сегодня одним из наиболее значимых критериев успешного развития транспортных компаний.

Взаимодействие со стартапами и МСП осуществляют следующие типы структур:

- корпоративные бизнес-акселераторы и бизнес-инкубаторы;
- партнёрские бизнес-акселераторы и бизнес-инкубаторы;
- кэптивные (корпоративные) венчурные фонды.

Основополагающими задачами функционирования выделенных инструментов взаимодействия с внешними субъектами инновационной среды являются:

- отбор и финансирование наиболее конкурентоспособных проектов (компаний) в целях последующего приобретения их продукции по выгодным ценам (выступление в роли якорного заказчика);
- сопровождение проектов для последующего внедрения их результатов в производственную деятельность;
- отбор наиболее компетентных и перспективных проектных команд в целях сотрудничества в качестве независимой или дочерней организации (или привлечения кадров);
- улучшение восприятия имиджа и бренда компании.

Организационная структура немецкой компании DB включает в себя все вышеуказанные форматы взаимодействия со стартапами и МСП. Совместно с Plug and Play DB инициировала формирование бизнес-акселератора BEYOND1435. Ключевыми партнёрами акселератора являются следующие ведущие международные

компаний: Alba Group, Siemens AG, Swiss Federal Railways, TUI Group, Bombardier Transportation⁷.

DB также поддерживает функционирование собственного бизнес-инкубатора Startup Xpress, на базе которого стартапы и молодые компании, ориентированные на создание инноваций в области сервисных услуг, получают различного рода экспертизу. Конечным результатом участия стартапов в Startup Xpress является предоставление финансирования и рабочих площадей в зоне коворкинга в Берлине на период разработки прототипов. Результаты наиболее успешных проектов DB активно внедряет в производственную деятельность⁸.

Примером организации венчурной деятельности в DB служит кэптивный венчурный фонд Digital Ventures. Фонд финансирует деятельность проектов по разработке цифровых технологий и их последующему внедрению в железнодорожную отрасль. Приоритетным направлением является развитие технологий искусственного интеллекта и промышленного интернета⁹.

Схожие инструменты взаимодействия со стартапами и МСП активно применяются и в других ведущих зарубежных железнодорожных компаниях: JR East (Япония); SBB-CFF-FFS (Швейцария), NS (Нидерланды) и т.д.

Бизнес-акселераторы, бизнес-инкубаторы и кэптивные (корпоративные) венчурные фонды предоставляют компаниям возможность эффективно организовать свою долгосрочную инновационную и инвестиционную деятельность. Взаимодействие с внешними представителями инновационной экосистемы способствует развитию процессов внешнего трансфера технологий, направленных на оптимизацию процессов по управлению инновациями.

Эффективное управление инновациями (RID) предполагает наличие широкого

круга компетенций [9], критического и творческого мышления сотрудников компании: необходимо осознанное понимание необходимости и последовательности внедрения передовых инновационных разработок. Важной составляющей процесса, направленного на повышение квалификации сотрудников и эффективности их деятельности в области проектного управления, является автоматизация, в том числе:

- предоставление персональных гаджетов со специализированным программным обеспечением, облегчающим взаимодействие сотрудников компании между собой;
- применение продвинутых систем управления знаниями.

Южнокорейская железнодорожная компания Korail в рамках процесса обучения сотрудников организует интерактивные групповые занятия по развитию творческого потенциала, критического мышления и тайм-менеджменту. Основная цель подобных занятий заключается в обучении навыкам адаптации к непрерывным изменениям и ускорению процессов управления инновационной деятельностью. Особенностью интерактивных занятий является возможность очной встречи с наставниками в целях систематизации и уточнения полученных знаний.

SNCF в партнёрстве с институтом Mines-Télécom разработала концепцию управления инновационной деятельностью и создания инновационных продуктов «идентификация—знания—концепция—предложение», основывающуюся на четырёх ключевых элементах:

- чёткое определение цели проекта;
- объединение существующих знаний;
- применение триггерных и открытых концепций;
- трансформация концепций и знаний в стратегически важные предложения.

Отдельным значимым направлением развития инновационного потенциала компаний является внедрение инструментов внутрикорпоративного предпринимательства. Целью данного подхода является формирование системы, предоставляющей сотрудникам компании возможность воплощать в жизнь собственные идеи путём реализации инновационных проектов в периметре инновационной экосистемы компаний.

⁷ Beyond 1435. [Электронный ресурс]: <https://beyond1435.com/>. Доступ 01.03.2020.

⁸ Deutsche Bahn. StartupXpress. [Электронный ресурс]: <https://dbmindbox.com/dbstartuppexpress/>. Доступ 12.03.2020.

⁹ Deutsche Bahn. Digital Ventures. [Электронный ресурс]: <https://www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/startups/digitalventures-3242722>. Доступ 16.03.2020.





Характерным примером подобной практики является программа DB Intrapreneurs¹⁰, состоящая из четырёх этапов:

- этап вовлечения: формирование проектных команд из сотрудников компаний и их интенсивное обучение в области построения бизнес-моделей в цифровой среде, передача потенциально полезных контактов на рынке;
- этап дизайна: оценка предложений в разрезе «проблема—имеющиеся решения» в рамках парадигмы сформированной бизнес-модели;
- этап строения: непосредственное формирование минимально жизнеспособного продукта;
- этап роста: предоставление финансирования проектам, демонстрирующим наиболее конкурентоспособные результаты, с последующим выделением проектной команды в качестве департамента компании или независимой компании.

Примером реального проекта, прошедшего все этапы программы DB Intrapreneurs, является WeColli – информационная платформа для логистических компаний, предоставляющих услуги доставки посылок «от двери до двери».

ВЫВОДЫ

Указанные примеры говорят о том, что ведущие зарубежные железнодорожные компании активно применяют в своей деятельности различные инструменты взаимодействия с внешней инновационной средой. Это обеспечивает поддержку высокого уровня конкурентоспособности в условиях ускорения отраслевого технологического развития, при которых сложно обеспечить разработку передовых решений силами исключительно самой компании.

¹⁰ Deutsche Bahn. [Электронный ресурс]: <https://intrapreneurs.deutschebahn.com/>. Доступ 18.03.2020.

Авторы выражают признательность коллегам, принимавшим участие в исследовании, результаты которых были использованы при подготовке данной статьи: Белошицкому Алексею Валерьевичу, магистру по направлению «Экономика», заместителю директора Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Ракову Дмитрию Александровичу, магистру по направлению «Менеджмент», ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Смирнову Роману Геннадьевичу, магистру по направлению «Экономика», ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Смирновой Татьяне Викторовне, аспиранту кафедры статистики, ведущему экономисту экономического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова; Терещенко Игорю Александровичу, магистру по направлению «Юриспруденция», ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова; Шитову Егору Александровичу, магистру по направлению «Менеджмент», ведущему специалисту Центра хранения и анализа больших данных МГУ имени М. В. Ломоносова.

Важной тенденцией является объединение усилий компаний из смежных секторов экономики для получения синергетического эффекта в области управления инновациями и внедрения их в производственную деятельность. Внутрикорпоративный научно-технический блок при этом сохраняет свою ключевую роль как интегратор различных технологических решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железнов М. М. Мировые тенденции инновационных решений для железнодорожного транспорта // Транспортная наука: инновационные решения для бизнеса: Сб. докладов международного форума (Москва, 20–23 марта 2011). – 2011. – С. 61–80.
2. Железнов М. М. О приоритетных направлениях научных исследований ОАО «ВНИИЖТ» // Бюллетень Объединённого научного совета ОАО «РЖД». – 2013. – № 6. – С. 28–33.
3. Гросфельд Т., Роландт Т. Д. Логика открытых инноваций: создание стоимости путём объединения сетей и знаний // Форсайт. – 2008. – Т. 2. – № 1. – С. 24–29.
4. Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B. From R&D to RID: Design strategies and the management of innovation fields. 8th International Product Development Management Conference, 2001, pp. 415–430. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Benoit_Weil/publication/228601127_From_RD_to RID_Design_strategies_and_the_management_of_innovation_fields/links/02e7e525d437a7b628000000.pdf. Доступ 01.03.2020.
5. Железнов М. М., Матвеев А. С., Манойло Д. С. Испытательный полигон геоинформационных технологий // Мир транспорта. – 2012. – № 1. – С. 118–121.
6. Духин С. В., Железнов М. М., Манойло Д. С., Матвеев С. И. Формирование единого геоинформационного пространства железных дорог // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 9. – С. 11–13.
7. Духин С. В., Железнов М. М., Манойло Д. С., Матвеев С. И. Единое геоинформационное пространство железных дорог // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 10. – С. 26–29.
8. Briscoe, G., Mulligan, C. Digital Innovation: The Hackathon Phenomenon. CreativeWorks London Hub, 2014. [Электронный ресурс]: <https://qmro.qmul.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/123456789/11418/Briscoe%20Digital%20Innovation%3a%20The%20Hackathon%20Phenomenon%202014%20Published.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Доступ 01.03.2020.
9. Терехова Т. А. Компетентностный подход в управлении инновационными изменениями // Психология в экономике и управлении. – 2010. – № 1. – С. 31–37.



Comprehensive Analysis of Forms of Innovative Activity of Foreign Railway Companies



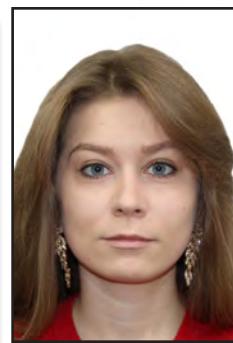
Oleg I. KARASEV



Maxim M. ZHELEZOV



Sergey S. TROSTYANSKY



Yulia A. SHITOVA

Karasev, Oleg I., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Zhelezov, Maxim M., National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

Trostiansky, Sergey S., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Shitova, Yulia A., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.*

ABSTRACT

The current stage of economic development is characterized by a structural crisis that manifests itself in many areas and sectors of the economy. This situation is explained, among other things, by the transitional state of the world economic system, caused by the process of rooting of a new technological order, development of Industry 4.0. The changes resulted from implementation of the process will play a key role in determining trends and directions of world economic development in the coming decades and will characterize the new technological structure and vectors of further development and introduction of technologies.

The speed of development and introduction of new technologies and products is the main distinctive feature of the new technological paradigm. The most important indicators of the success of the new economic model will be thus speed, volume, and quality. Those companies that can adapt faster and better to the new realities of economic development will be the leaders of the new system of market economy. Speed and quality will be among key criteria that determine the success of a company in modern conditions: in the competition for leading positions, companies will have

to do everything faster and better than others. The relevance of such a paradigm is confirmed by the reduction of research, technological and innovation cycles as for the time from emergence of an idea to its implementation and transfer to industrial operations.

Mass digitalization of all aspects of activities and a reduction in duration of cycles of updating equipment and technologies determine the tendency for companies to reorient from an exclusively internal type of organization of innovation activities to, mainly, external ones. This article analyzes forms and tools for organizing innovative activities, including through building specific relationships with external participants in the innovation ecosystem. The research is focused on the practices of selected world railway companies.

The objective of this article is to review the tools and methods of organizing innovation in selected leading railway companies and to identify its most common forms. A comprehensive analysis of functioning of forms of innovation was carried out using methods of structural and comprehensive comparative analysis, generalization, and deductive methods.

Keywords: innovation activity, railway industry, R&D center, innovation laboratory, intracorporate entrepreneurship, innovation management, RID, hackathon, business accelerator, business incubator, captive venture funds.

*Information about the authors:

Karasev, Oleg I. – Ph.D. (Economics), director of the Center for Scientific and Technological Forecasting of the Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, oikarasev@econ.msu.ru.

Zhelezov, Maxim M. – D.Sc. (Eng), associate professor, professor of the department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, M.Zhelezov@mail.ru.

Trostiansky, Sergey S. – Master in Economics, Deputy Director of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, strostiansky@yandex.ru.

Shitova, Yulia A. – Master in Management, Leading Specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University, julyaa.titova@gmail.com.

Article received 01.07.2019, accepted 21.03.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 158.

Background. The active process of digital transformation of priority sectors of the economy, including railway transportation, predetermines the need for companies to structurally change the existing management system in the field of research and technical activities.

In Russian Federation in accordance with the passport of the federal project «Digital Technologies» of the national program «Digital Economy of the Russian Federation», companies with state participation are required to develop and implement digital transformation strategies. The specified program document predetermines, among other things, the need to develop management approaches and coordination of research and development processes, and formation of an innovation ecosystem. Special attention is paid to the issues of complex intersectoral interaction of companies on development of «end-to-end» digital technologies and, in general, to implementation of initiatives aimed at joint implementation of breakthrough scientific, technological, and socio-economic development of the Russian Federation.

Most of the railway companies have historically included a highly developed scientific and technological unit into their organizational structure, consisting of and/or cooperating with specialized universities, research institutes and laboratories. The main task of such an innovative cluster is to fully control, manage and organize the innovative activity of railway companies.

Within the framework of this article, a review of features and forms of organization of innovation activities in selected leading foreign railway companies is carried out, the main *objective* of which was to identify and describe the most common and relevant ways of conducting innovation activities, resulting in competitive effects of innovation activities aimed at improving quality and efficiency of the overall organization. To achieve this objective, structural and comprehensive comparative analysis methods, generalization and deductive methods were applied.

Results.

Traditionally, the internal initiation of the process of innovation and of innovative projects is associated with functioning of a corporate R&D center or innovation laboratory. The

main functionality of innovation laboratories and R&D centers is to independently conduct research and development within the priority areas of technological development [1]. A company assumes all possible risks associated with development and implementation of technologies and solutions within the framework of innovation laboratories and R&D centers.

To implement technological projects that require specific competencies, experience and knowledge that lie outside the boundaries of the company, there is a practice of organizing innovation laboratories operating on the principle of «open innovation». This principle implies active interaction with third parties (for example, universities, competitors, or customers) [2], which opens access to complementary knowledge, markets, and networks [3].

Among leading railway companies outside Russia, having innovation laboratories or R&D centers among their organization structures, one can single out Deutsche Bahn (hereinafter – DB) (Germany), SNCF (France), China Railway (hereinafter CR) (China).

DB's main research laboratory is DB MobilityLab¹, headquartered in Frankfurt. Within the framework of this research laboratory, employees of the company independently develop and test various prototypes in order to assess their effectiveness. Based on the results of assessment, a program for completion and implementation of prototypes in production activities of the company is formed. The priority areas of research at DB MobilityLab are:

- development of automated control systems for locomotives;
- additive technologies;
- technologies of virtual and augmented reality.

In 2017, an internal entrepreneurship program was launched on the basis of DB MobilityLab, giving employees of the German Railway Company an opportunity to implement their own ideas. The main mechanism for initiating and supporting technological projects within the framework of this program is initial review of projects by experts and, if they are promising and in demand from DB, subsequent

¹ [Electronic resource]: <https://karriere.deutschebahn.com/karriere-de/ueber-uns/it-projekte/DBmobilitylab-3673300>. Last accessed 19.03.2020.

transfer to the project team formed around the initiator of the idea for their implementation.

Another independently functioning innovation laboratory of the German Railway Company is DBmindbox², whose main goal is to select, assess and support the most promising startups during the implementation process. The pool of applications under consideration by DBmindbox includes projects in the fields of construction and operation of infrastructure facilities, increasing efficiency of customer operations through implementation of digital solutions; automation of transport systems, and development of software solutions.

SNCF management has identified the need to move from R&D to RID (Research, Innovation & Development), which means adoption of new innovation management processes. The application of RID principles is carried out by leading innovative companies [4], which occupy a leading position in the market in terms of technological development.

Innovation Management is the core mission of SNCF Innovation & Research³. The area of responsibility of this structural unit comprises management of innovation laboratories and minilabs focused on study and development of priority areas in the field of energy, public transport, mobility of the elderly, eco-design, etc. These innovation laboratories are made up of SNCF employees, who work in working teams during implementation of projects aimed at development of disruptive and incremental innovations. Laboratories regularly conduct training workshops involving third-party specialists, including those from related industries.

For example, the activities of the innovative public transport laboratory, PublicTransportLab are focused on developing transport opportunities and improving convenience of passengers in urban transit. PublicTransportLab is based on the principle of «open innovation». Bringing together SNCF employees from different departments (marketing, infrastructure, strategic management, etc.) within a single laboratory increases creativity required to generate innovative ideas.

² [Electronic resource]: <https://dbmindbox.com/de/>. Last accessed 19.03.2020.

³ [Electronic resource]: <https://www.sncf.com/en/innovation-development/innovation-research>. Last accessed 19.03.2020.

The practice of the Chinese Railway exemplifies organization of an R&D center, which is managed jointly with a partner company: CR signed a strategic agreement with Huawei, one of the largest Chinese telecommunications companies, to create a joint innovation center. In accordance with this agreement, the joint center is organized on the principles of cooperation in the following priority areas of technological development: logistics network, cloud technologies, big data, wireless network, emergency communications, etc.

The priority goal of the functioning of this center is to develop solutions aimed at development of a single intelligent transport system through deep integration of information and communication technologies into the activities of railway companies, including through development of a single geoinformation space of railways [5–7].

Innovation laboratories and R&D centers are basic corporate institutions involved in innovation development. The most developed companies are moving from R&D to RID, shifting focus from traditional research and development to integrated innovation management at all stages of the life cycle. Nevertheless, modern realities and speed of the technological cycle predetermine the need for interaction between railway companies and third organizations, including those from related sectors of the economy. Companies express a high level of interest in building technology transfer systems, with a special role for external transfer and commercialization mechanisms.

Conducting innovation-oriented events, including hackathons, is one of the ways companies interact with external actors in the innovation environment in the framework of building their own innovation policy. Hackathons are events lasting from 12 to 72 hours, during which various participants interact intensively with each other developing samples of innovative solutions/products, mainly of an informational nature [8].

The main goals of such events are:

- selection of the most promising projects on the market for their subsequent implementation in production activities;

- generation of new ideas;
- attracting talented employees and project teams;



- improving perception of the company's image and brand.

In accordance with the classification of G. Briscoe [8, p. 5] the following categories of hackathons should be distinguished:

- technology-oriented hackathons organized to develop technology or information platforms;
- focus-oriented hackathons aimed at collective solution of pre-formulated problems (tasks).

For example, in 2018 Tyumen Industrial University located in the city of Tyumen held 2nd All-Russian Smart City & IoT Hackathon. The main goal of the event was to develop smart city's technologies and, in particular, an intelligent transportation system.

DB and SNCF are strong advocates of these forms of innovation in the railway industry. For example, the German Railway regularly organizes hackathons in Berlin, the main goal of which is development of open data technologies⁴.

Based on the results of hackathons, DB selects the most promising and competitive projects, which are provided with various kinds of support and expertise (financial, technological, marketing, etc.). Such interaction results in a modernized product to be introduced into production activities of the company.

SNCF hosts hackathons as part of EcoMotion, an annual forum dedicated to innovations regarding passenger transportation. In 2017, winners of the event comprised, e.g., Selentium, which developed QuiteBubble soundproofing system for passenger transport⁵.

Another similar SNCF event is Trainroid, aimed at developing technologies in the field of robotics⁶. The most important results of this hackathon are:

- optimized mechanism for opening/closing train doors;
- systems of interaction «man-machine»;
- application of additive technologies for quality management purposes.

⁴ Deutsche Bahn Open data. [Electronic resource]: <https://dbmindbox.com/de/db-opendata-hackathons/>. Last accessed 19.03.2020.

⁵ EcoMotion hackaton. [Electronic resource]: <https://www.selentium.com/ecomotion-hackathon-2017/>. Last accessed 01.03.2020.

⁶ Plant of the future SNCF. [Electronic resource]: <https://www.sncf.com/fr/groupe/newsroom/innovations-materiel>. Last accessed 15.03.2020.

Active interaction with startups and other small and medium-sized businesses (hereinafter referred to as SME) allows companies to keep abreast of key technological trends in the railway industry and related sectors of the economy, for example, of bus transportation. Understanding the vectors of development of the nearest adjacent areas of the transport industry in the context of development of a single transport network and organization of multimodal transportation using various categories of transport is today one of the most significant criteria for successful development of transport companies.

Interaction with startups and SME is carried out by the following types of structures:

- corporate business accelerators and business incubators;
- partner business accelerators and business incubators;
- captive (corporate) venture funds.

The fundamental tasks of functioning of the selected tools of interaction with external subjects of the innovation environment are:

- selection and financing of the most competitive projects (companies) for subsequent purchase of their products at competitive prices (acting as an anchor customer);
- support of projects for subsequent implementation of their results in production activities;
- selection of the most competent and promising project teams for the purpose of cooperation with them as with an independent or subsidiary organization (or attracting personnel);
- improving perception of the company's image and brand.

The organizational structure of the DB includes all the above formats of interaction with startups and SME. Together with Plug and Play, DB initiated development of BEYOND1435 business accelerator. The key partners of the accelerator are leading international companies: Alba Group; Siemens AG; Swiss Federal Railways; TUI Group; Bombardier Transportation⁷.

DB also maintains its own business incubator Startup Xpress, on the basis of which startups and young companies focused on

⁷ Business accelerator Beyond 1435 [Biznes-akselator Beyond 1435]. [Electronic resource]: <https://beyond1435.com/>. Last accessed 01.03.2020.

creating innovations in the field of services receive various expertise. The end result of the startups' participation in Startup Xpress is provision of funding and space in Berlin coworking area during the prototyping period. DB actively implements the results of the most successful projects into production activities⁸.

An example of venture capital organization at DB is Digital Ventures, a captive venture fund. The fund finances activities of projects for development of digital technologies and their subsequent implementation in the railway industry. The priority area is development of artificial intelligence technologies and the industrial Internet⁹.

Similar tools for interaction with startups and SME are actively used in other leading railway companies: JR East (Japan); SBB-CFF-FFS (Switzerland), NS (Netherlands), etc.

Business accelerators, business incubators and captive (corporate) venture funds provide companies with the opportunity to effectively organize their long-term innovation and investment activities. Interaction with external representatives of the innovation ecosystem contributes to development of external technology transfer processes, aimed at optimizing innovation management processes.

Effective innovation management (RID) presupposes a wide range of competencies [9], critical and creative thinking of the company's employees which is a conscious understanding of the need for and of sequence of implementation of advanced innovative developments. An important component of the process aimed at improving qualifications of employees and effectiveness of their activities in the field of project management is automation, including:

- provision of personal gadgets with special software that facilitates interaction of company employees with each other;
- application of advanced knowledge management systems.

The South Korean Railway Corporation Korail organizes interactive group sessions on



creativity, critical thinking and time management as part of its employees' training process. The main goal of such classes is to teach skills of self-adapting to continuous change and accelerating innovation management processes. A feature of interactive classes is the possibility of face-to-face meeting with mentors in order to systematize and refine the knowledge gained.

SNCF, in partnership with the Mines-Télécom Institute, has developed an Identity–Knowledge–Concept–Proposal Innovation Management and Product Innovation Management concept based on four key elements:

- clear definition of the purpose of the project;
- consolidation of existing knowledge;
- application of trigger and open concepts;
- transforming concepts and knowledge into strategically important proposals.

A separate significant area of development of the innovative potential of companies is introduction of intracorporate entrepreneurship tools. The purpose of this approach is to form a system that provides the company's employees with an opportunity to bring their

⁸ Deutsche Bahn StartupXpress. [Electronic resource]: <https://dbmindbox.com/dbstartupxpress/>. Last accessed 12.03.2020.

⁹ Deutsche Bahn Digital Ventures. [Electronic resource]: <https://www.deutschebahn.com/de/Digitalisierung/startups/digitalventures-3242722>. Last accessed 16.03.2020.



own ideas to life by implementing innovative projects within the perimeter of the company's innovation ecosystem.

A typical example of this practice is DB Intrapreneurs program¹⁰, which consists of four stages:

- *involvement stage*: formation of project teams consisting of company's employees and their consecutive intensive training in the field of building business models in a digital environment, transfer of potentially useful contacts into the market;
- *design stage*: evaluation of proposals in the context of «problem—available solutions» within the paradigm of the formed business model;
- *construction stage*: direct development of the minimum viable product;
- *growth stage*: providing funding for projects that demonstrate the most competitive results, followed by development of the relevant project team as a department of the company or as an independent company.

An example of a real project that has gone through all stages of DB Intrapreneurs program is WeColli, an information platform for logistics companies that provide door-to-door parcel delivery services.

Conclusions. These examples indicate that leading foreign railway companies are actively using various tools for interacting with the external innovation environment in their activities. This enables support for a high level of competitiveness in the context of accelerating industry technological development, in which it is difficult to ensure development of advanced solutions solely by the company itself.

An important trend is joining of efforts of companies from related sectors of the economy to obtain a synergistic effect in the field of

¹⁰ Deutsche Bahn Intrapreneurs. [Electronic resource]: <https://intrapreneurs.deutschebahn.com/>. Last accessed 18.03.2020.

innovation management and of introduction of innovations into production activities. At the same time, the intracorporate scientific and technical unit retains its key role as an integrator of various technological solutions.

REFERENCES

1. Zhelezov, M. M. World tendencies of innovative solutions for railway transport [*Mirovye tendentsii innovatsionnykh reshenii dlya zheleznych dorozhno-transportnogo*]. Transport science: innovative solutions for business. Collection of reports of the international forum (Moscow, 20–23 March 2011), 2011, pp. 61–80.
2. Zhelezov, M. M. On the priority directions of scientific research of JSC VNIIZhT [*O prioritetnykh napravleniyakh nauchnykh issledovanii OAO VNIIZhT*]. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2013, Iss. 6, pp. 28–33.
3. Grosfeld, T., Rolandt, T. D. The logic of open innovation: creating value by combining networks and knowledge [*Logika otkrytykh innovatsii: sozdanie stoimosti putem ob'edineniya setei i znanii*]. *Foresight*, 2008, Vol. 2, Iss. 1, pp. 24–29.
4. Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B. From R&D to RID: Design strategies and the management of innovation fields. 8th International Product Development Management Conference, 2001, pp. 415–430. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Benoit_Weil/publication/228601127_From_RD_to RID_Design_strategies_and_the_management_of_innovation_fields/links/02e7e525d437a7b628000000.pdf. Last accessed 01.03.2020.
5. Zhelezov, M. M., Matveev, A. S., Manoilo, D. S. Test Site for Geoinformatics Technology. *World of Transport and Transportation*, 2012, Vol. 10, Iss. 1, pp. 118–121.
6. Dukhin, S. V., Zhelezov, M. M., Manoilo, D. S., Matveev, S. I. Formation of a single geoinformation space of railways [*Formirovanie edinogo geoinformatsionnogo prostranstva zheleznykh dorog*]. *Avtomatika, svyaz, informatika*, 2008, Iss. 9, pp. 11–13.
7. Dukhin, S. V., Zhelezov, M. M., Manoilo, D. S., Matveev, S. I. Single geoinformation space of railways [*Edinoe geoinformatsionnoe prostranstvo zheleznykh dorog*]. *Zheleznych dorozhnyi transport*, 2008, Iss. 10, pp. 26–29.
8. Briscoe, G., Mulligan, C. Digital Innovation: The Hackathon Phenomenon. CreativeWorks London Hub, 2014. [Electronic resource]: <https://qmro.qmul.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/123456789/11418/Briscoe%20Digital%20Innovation%3a%20The%20Hackathon%20Phenomenon%202014%20Published.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Last accessed 01.03.2020.
9. Terekhova, T. A. Competence approach in management of innovative changes [*Kompetentnostnyi podkhod v upravlenii innovatsionnymi izmeneniyami*. *Psichologiya v ekonomike i upravlenii*, 2010, Iss. 1, pp. 31–37. ●

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the colleagues who took part in the research, the results of which were used while preparing the article: Beloshitskiy, Aleksey V., Master in Economics, Deputy Director of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Rakov, Dmitry A., Master in Management, Leading Specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Smirnov, Roman G., Master in Economics, Leading Specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Smirnova, Tatyana V., Ph.D. student of the Department of Statistics, leading economist of the Faculty of Economics of Lomonosov Moscow State University; Tereshchenko, Igor A., Master of Jurisprudence, Leading Specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University; Shitov, Egor A., Master in Management, Leading Specialist of the Center for Storage and Analysis of Big Data of Lomonosov Moscow State University.



ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ В ГОРОДЕ 172

Когда не доехать до конечной станции – во благо.
Это сэкономит силы всем.



ТРАНСПОРТНО- ПЕРЕСАДОЧНЫЕ УЗЛЫ 198

Универсальная методика
оптимального размещения
ТПУ в городах.

КЛИЕНТООРИЕНТИ- РОВАННОСТЬ 214

Построение системы
критериев качества для
перевозки сборных грузов
частных лиц.
Довольны ли клиенты
доставкой своих посылок?

RAILWAYS IN THE CITIES 186

*The situation when it is better
not to reach the final station.
It will save time and effort.*

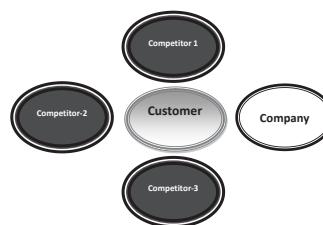
TRANSPORT INTERCHANGE HUBS 206

*Universal technique to select
optimal location of TIHs in the
cities.*

CUSTOMER FOCUS 220

*Building system of quality
assessment criteria for
logistics of groupage cargo
under contracts with private
individuals.*

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ • ADMINISTRATION, MANAGEMENT AND CONTROL





К вопросу о назначении дополнительных остановок пассажирским поездам дальнего следования в границах города Москвы



Олег ПОКУСАЕВ



Александр ЧЕКМАРЕВ



Виктор ЕВСЕЕВ

Покусаев Олег Николаевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Чекмарев Александр Евгеньевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Евсеев Виктор Сергеевич – Российский университет транспорта, Москва*.

Во многих крупных городах мира железные дороги являются неотъемлемым элементом городских транспортных систем. Наиболее часто и широко рассматриваются в этом контексте пригородное и внутригородское пассажирское железнодорожное движение. С другой стороны, постоянный рост пассажиропотоков поездов дальнего следования, традиционно тяготеющих к железнодорожным вокзалам и прилегающим к ним городским транспортным узлам, в том числе станциям метро, через которые прибывающие пассажиры отправляются к конечным точкам назначения в городе, требует поиска новых решений, позволяющих как повысить комфортность поездки для пассажиров, так и снять избыточную нагрузку с городской транспортной системы.

С учётом опыта и специфики организации дальнего пассажирского железнодорожного сообщения в различных странах, в статье на основе ранее проведённых исследований, в первую очередь, предлагаются модели

решений для московского железнодорожного узла, который является сложным транспортным комплексом. С целью организации комфортных условий для пассажиров всех категорий поездов необходимо разработать сбалансированную технологию движения поездов в узле, исключающую перегрузку отдельных элементов транспортной системы (в частности, вокзалов в центре города).

Целью данной статьи является анализ зарубежного опыта организации движения пассажирских поездов дальнего следования в границах крупных агломераций и выработка предложений по организации дополнительных остановочных пунктов поездам дальнего следования в различных районах Москвы, которые помогут снизить нагрузку на центральные транспортно-пересадочные узлы, повысить качество транспортного обслуживания пассажиров и вместе с тем развить прилегающие к новым транспортно-пересадочным узлам районы Москвы и Московской области.

Ключевые слова: железная дорога, пассажирские перевозки, Московский железнодорожный узел, поезда дальнего следования, вокзалы, остановочные пункты, качество транспортного обслуживания.

*Информация об авторах:

Покусаев Олег Николаевич – кандидат технических наук, директор Научно-образовательного центра цифровых высокоскоростных транспортных систем Российского университета транспорта, Москва, Россия, o.pokusaev@rut.digital.

Чекмарев Александр Евгеньевич – заместитель директора Научно-образовательного центра цифровых высокоскоростных транспортных систем Российского университета транспорта, Москва, Россия, a.chekmarev@rut.digital.

Евсеев Виктор Сергеевич – аспирант кафедры высокоскоростных транспортных систем Российского университета транспорта, Москва, Россия, v.evseev@rut.digital.

Статья поступила в редакцию 16.01.2020, актуализирована 12.03.2020, принята к публикации 29.04.2020.

For the English text of the article please see p. 186.

ВВЕДЕНИЕ

Городские агломерации, особенно мегаполисы, характеризуются сложной транспортной инфраструктурой, требуют системного подхода к организации пассажиропотоков, комплексных решений, позволяющих оптимизировать использование различных видов транспорта, а также интегрировать в городскую транспортную систему различные виды сообщений (городские и междугородные автобусные маршруты, внутригородское, пригородное, дальнее пассажирское железнодорожное сообщение).

Особая роль в контексте рассмотрения этой проблемы может быть отведена железнодорожным дорогам. В условиях постоянного развития и модернизации Московского железнодорожного узла, увеличения количества прибывающих пассажиров и роста привлекательности пассажирских перевозок железнодорожным транспортом, обострилась проблема перегрузки железнодорожных вокзалов города Москвы и соответствующих станций Московского метрополитена. В частности, большинство пассажиров поездов дальнего следования, прибывающих на Ленинградский, Ярославский и Казанский вокзалы, в пиковые периоды создают колоссальную нагрузку на станцию метро Комсомольская, являющуюся сегодня самой загруженной в столичном метрополитене. На ней ежедневно фиксируются 125 тысяч проходов через турникеты, а максимальный пассажиропоток в утренний час пик составляет 27 тыс. человек. Пассажиры других вокзалов города Москвы также вынужденно оказываются в одних из самых загруженных транспортно-пересадочных узлов в центре города (станции метро Киевская, Курская, Белорусская) и, нередко передвигаясь с крупным багажом, создают дополнительные препятствия для передвижения в плотном потоке пассажиров столичной подземки.

Вопросам развития железнодорожного сообщения для повышения связанности регионов и агломераций, интеграции внутригородского и пригородного железнодорожного сообщения уделяется традиционно большое внимание. Комплексному рассмотрению этой проблематики посвящены, в частности, работы [1–2], много-

численные публикации в периодических изданиях [3–4]. Связанные с этим общие вопросы и конкретные предложения, в том числе в отношении грузового сообщения, в отношении одного из районов Щецина рассматриваются в [5], Гданьска в [6]. В центре внимания исследователей также аспекты и определения, связанные с функционированием железнодорожных станций, например [7], их интеграцией в городские транспортные системы [8–11]. Отдельным аспектом является изучение пассажиропотоков на железнодорожных станциях¹. Предметом изучения также часто становится контекст размещения железнодорожных станций в интегрированных транспортных системах национального и регионального уровня [12].

Одним из вариантов повышения эффективности транспортной модели крупных городов с учётом роли железнодорожного транспорта, в том числе и поездов дальнего (междугородного) сообщения, является, наряду с улучшением сопутствующей инфраструктуры, проработка вопросов рационального размещения остановочных пунктов для перераспределения пассажиропотоков.

Организационной основой для возможной реализации таких шагов в московской агломерации является ряд положений Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г., утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734р. В ней, в частности, отмечается необходимость модернизации Московского железнодорожного узла. Так, в части организации пассажирских перевозок планируется реализовать ряд мероприятий:

1. Усиление головных участков основных направлений магистральных железнодорожных дорог.

2. Развитие пригородных и межрегиональных перевозок пассажиров в поездах повышенной комфортности на всех радиальных направлениях в сообщении с районными центрами Московской области

¹ См., напр., статистику пассажиропотоков на станциях Англии и Уэльса. Rail passenger numbers and crowding statistics: 2017 report. [Электронный ресурс]: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/728526/rail-passengers-crowding-2017.pdf. Доступ 01.03.2020.



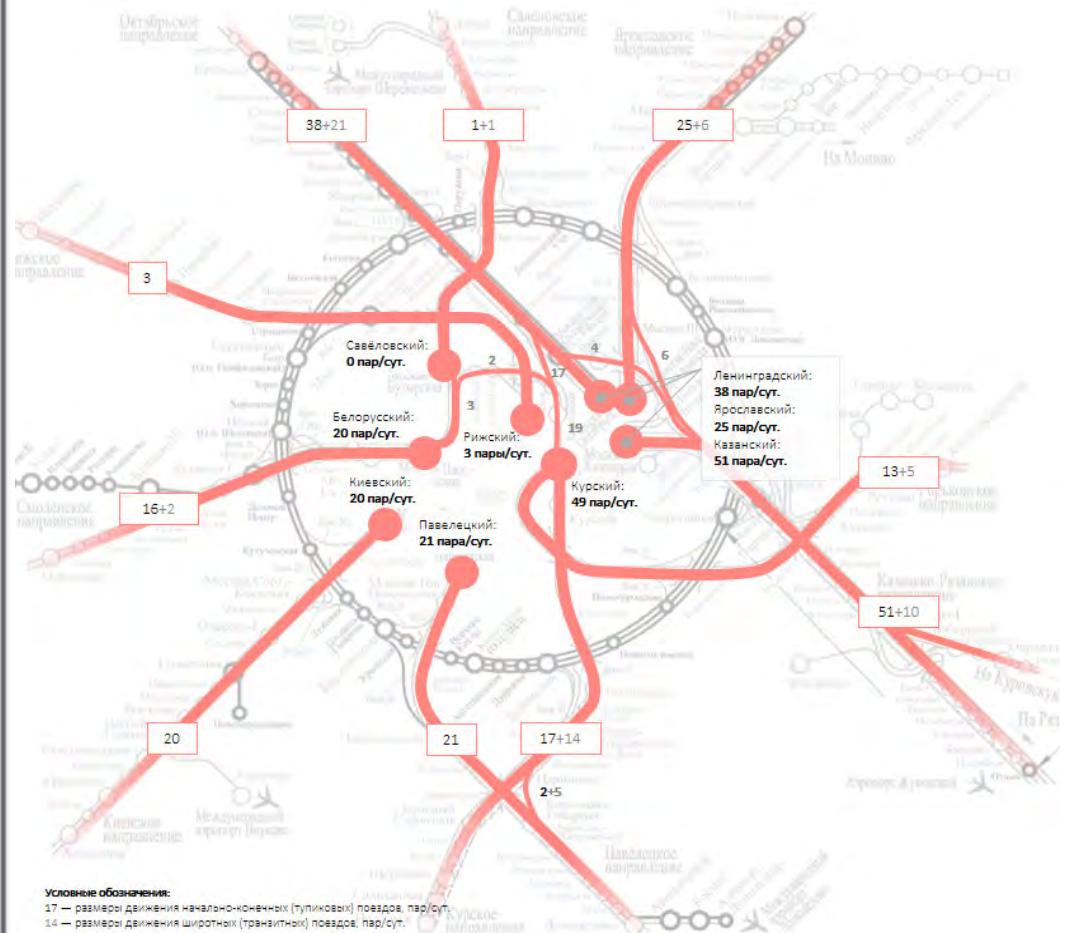


Рис. 1. Существующая схема организации движения пассажирских поездов дальнего следования в Московском железнодорожном узле (составлена авторами).

и соседними субъектами Российской Федерации.

3. Организация пассажирского движения по Малому кольцу Московской железной дороги с организацией пересадочных пунктов на радиальные железнодорожные линии и станции метрополитена².

Целью статьи является разработка предложений по развитию существующей схемы организации движения пассажирских поездов дальнего следования в Московском железнодорожном узле.

Использовались методы статистического и контент-анализа, а также моделирования пассажиропотоков.

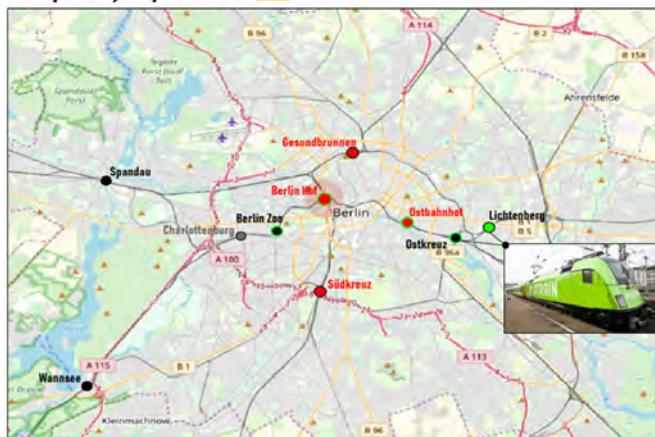
² Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р). [Электронный ресурс]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460/>. Доступ 01.02.2020.

ХАРАКТЕРИСТИКА МОСКОВСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА

Пассажирские поезда дальнего следования прибывают со всех направлений Московского железнодорожного узла на 8 вокзалов Москвы, которыми ежегодно пользуется более 60 миллионов пассажиров в дальнем сообщении [13]. Существующая схема организации движения пассажирских поездов дальнего следования представлена на рис. 1.

Из этой схемы видно, что все вокзалы расположены в центральной части города, при этом альтернативных остановок для большинства пассажирских поездов дальнего следования на территории Москвы и ближайшего Подмосковья в настоящее время не предусмотрено. Нередко это создает парадоксальные ситуации, когда пассажиры, живущие в области вблизи какого-либо из радиальных направлений, вынуж-

Берлин, Германия



Вокзалы с остановками ПДС

Berlin Hauptbahnhof	отпр. и ост.	ICE/IC	ост.	EN/NI	FLX			
Berlin Gesundbrunnen	отпр. и ост.	ICE/IC	ост.	EC				
Berlin Ostbahnhof	отпр. и ост.	ICE/IC	отпр.	EN	ост.	FLX		
Berlin Südkreuz	отпр.	IC	ост.	ICE	EN	ост.	EC	основные терминалы
Berlin Spandau	остановка		ICE/IC					
Zoologischer Garten	остановка	ICE		NI	FLX			
Berlin Ostkreuz	остановка	IC		FLX				
Berlin Lichtenberg	ост.	EC	и отпр.	FLX	FlixTrain			
Berlin Charlottenburg	отправление		EN/NI	и	EC			
Berlin Wannsee	остановка	ICE/IC		NI				

Рис. 2. Схема организации движения поездов дальнего следования по вокзалам в Берлине. Источник: Информационный портал *Germany-online*. [Электронный ресурс]: <https://germania-online.diplo.de/ru-dz-ru>. Доступ 01.03.2020.

дены ехать для посадки в поезд дальнего следования на вокзал в центр Москвы, затрачивая при этом дополнительное время в пути и невольно создавая нагрузку на транспортную инфраструктуру города (в частности, на метрополитен или пригородный железнодорожный транспорт).

К примеру, прибывающие на Ленинградский, Ярославский или Казанский вокзалы пассажиры поездов дальнего следования в качестве дальнейшего транспорта используют для передвижения по столице Московский метрополитен. Станция Комсомольская является самой загруженной станцией метро в Москве, поэтому наличие в пиковые периоды пассажиров с багажом (чемоданами, тележками и крупными сумками) создаёт серьёзную проблему для функционирования метрополитена даже с точки зрения обеспечения транс-

портной безопасности, не говоря уже о базальном комфорте пассажиров.

ГИПОТЕЗА РЕШЕНИЯ: ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ

Обозначенная выше проблема перегрузки центральных транспортно-пересадочных узлов (железнодорожных вокзалов) может иметь несколько решений, но наиболее оптимальным, по мнению авторов данной статьи, является распределение пассажиропотока по нескольким станциям Московского железнодорожного узла путём назначения дополнительных остановок пассажирским поездам дальнего следования в черте города.

Опыт европейских стран говорит нам о широком применении подобных реше-



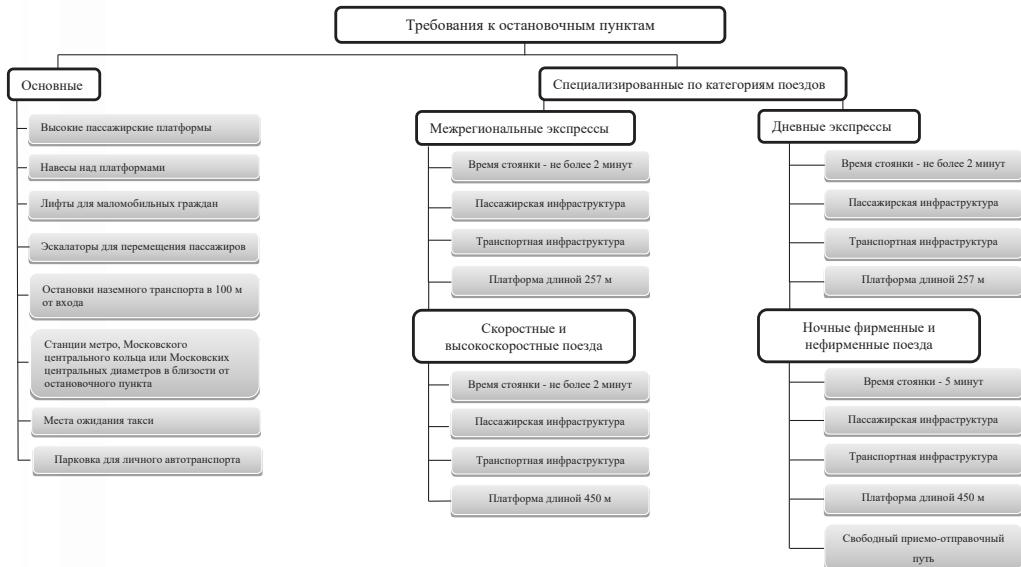


Рис. 3. Базовые требования к дополнительным остановочным пунктам для пассажирских поездов дальнего следования различных категорий (составлено авторами).

ний в границах крупных агломераций. Так, например, схема организации движения поездов дальнего следования по вокзалам в Берлине (Германия), представленная на рис. 2, предусматривает наличие не менее 2 остановок в черте города для любых категорий поездов дальнего следования. Через вокзалы Берлина следуют поезда дальнего следования различных категорий: высокоскоростные поезда (ICE), скоростные поезда (IC/EC), ночные поезда (NJ), международные ночные поезда (EN) и бюджетные «лоукостерные» поезда (FLX).

Все пассажирские поезда дальнего следования проходят через 2 и более вокзала Берлина, а международные транзитные – через 3 и более вокзала. Время стоянки поездов для посадки и высадки пассажиров на всех вокзалах в городской черте, кроме Центрального, при этом составляет всего 2 минуты. Обязательным условием является то, что через Центральный вокзал Берлина (Berlin Hauptbahnhof) проходят поезда дальнего следования со всех направлений. Помимо этого, у пассажиров всегда есть возможность воспользоваться для посадки в поезд остановками, находящимися в пригороде Берлина, за значительно более низкую стоимость, чем при выезде на этом же поезде из центра Берлина. Кроме этого, по территории Германии организовано движение поездов-лоукостеров с низкой

ценой на билет (FLX). Отправляются такие поезда с неосновного вокзала в различные города страны с частотой курсирования 2 раза в сутки³.

Несмотря на то, что не все вокзалы Московского железнодорожного узла являются тупиковыми, принципиальная схема организации движения пассажирских поездов дальнего следования Берлина может быть предложена к реализации и в Московском регионе. В Москву ежедневно прибывает огромное количество поездов дальнего сообщения различных категорий (дневные экспрессы, скоростные и высокоскоростные поезда, фирменные поезда, нефирменные поезда и международные поезда), что говорит о необходимости распределения пассажиропотоков и оптимизации нагрузки на центральные транспортно-пересадочные узлы.

УСЛОВИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К СОЗДАНИЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ

Опираясь на отечественную нормативно-правовую базу и современные тенденции проектирования транспортно-пересадочных узлов, можно выделить базовые требования к дополнительным остановочным пунктам для пассажирских

³ Информационный портал Germania-online. [Электронный ресурс]: <https://germania-online.diplo.de/ru-dz-ru/>. Доступ 01.03.2020.

поездов дальнего следования различных категорий, представленные на рис. 3.

Рассмотрим данные требования более подробно.

Общие требования к остановочным пунктам, обязательные для поездов дальнего следования всех категорий:

1. Высокие пассажирские платформы (не менее 1 островной или 2 боковых).

2. Навесы над пассажирскими платформами на всю их длину.

3. Лифты, обеспечивающие перемещение маломобильных граждан по вертикали.

4. Эскалаторы для перемещения пассажиров между платформой, конкорсом или пешеходным переходом.

5. Остановки наземного городского пассажирского транспорта, располагающиеся не далее, чем в 100 м от входа в транспортно-пересадочный узел.

6. Станции метрополитена, Московского центрального кольца или Московских центральных диаметров, находящиеся в непосредственной близости от планируемого остановочного пункта, либо связанные с ним по принципу пересадки «сухие ноги».

7. Места ожидания такси.

8. Парковка для личного автотранспорта [14].

Помимо указанных выше общих требований, для различных категорий поездов существуют свои специализированные требования к остановочным пунктам в черте города, обусловленные различной структурой пассажиропотока. Так, пассажиры «дневных экспрессов» (например, поезд № 741А Белгород–Москва Курская) чаще всего осуществляют поездку без крупного багажа, в отличие от пассажиров нефирменныхочных поездов (например, поезд № 246У Челябинск–Москва-Ярославская), которые могут путешествовать порой с несколькими крупными чемоданами. К тому же пассажирыочных поездов не смогут осуществить посадку и высадку из вагона за 2 минуты ввиду наличия багажа, в отличие от пассажиров скоростных поездов «Сапсан» и «Ласточка», поэтому время стоянки на таких остановочных пунктах для поездов различных категорий также отличается.

Основными требованиями для межрегиональных экспрессов являются:

1. Время стоянки: не более 2 минут.

2. Транспортная инфраструктура: пересадки на наземный и подземный городской пассажирский транспорт, удобный подъезд для такси и личных автомобилей, стоянка для автомобилей каршеринга, велосипедов и самокатов.

3. Пассажирская инфраструктура: кассы и БПА, туалетные комнаты, вендинговые аппараты.

4. Путь с высокой платформой для посадки или высадки пассажиров длиной 257 м.

Основными требованиями к инфраструктуре для «дневных экспрессов» являются:

1. Время стоянки: не более 2 минут.

2. Транспортная инфраструктура: пересадки на наземный и подземный городской пассажирский транспорт, удобный подъезд для такси и личных автомобилей, стоянка для автомобилей каршеринга, велосипедов и самокатов.

3. Пассажирская инфраструктура: кассы и БПА, туалетные комнаты, досмотровая зона, вендинговые аппараты.

4. Путь с высокой платформой для посадки или высадки пассажиров длиной 257 м.

Основными требованиями для скоростных и высокоскоростных поездов являются:

1. Время стоянки: не более 2 минут.

2. Транспортная инфраструктура: пересадки на наземный и подземный городской пассажирский транспорт, удобный подъезд для такси и личных автомобилей, стоянка для автомобилей каршеринга, велосипедов и самокатов.

3. Пассажирская инфраструктура: кассы и БПА, досмотровая зона, туалетные комнаты, объекты торговли и общепита, зал ожидания.

4. Путь с высокой платформой для посадки (высадки) пассажиров длиной 450 м.

Основными требованиями дляочных фирменных и нефирменных поездов являются:

1. Время стоянки: 5 минут.

2. Транспортная инфраструктура: пересадки на наземный и подземный городской пассажирский транспорт, удобный подъезд для такси и личных автомобилей, стоянка для автомобилей каршеринга, велосипедов и самокатов.





Новые остановки для ПДС в черте города

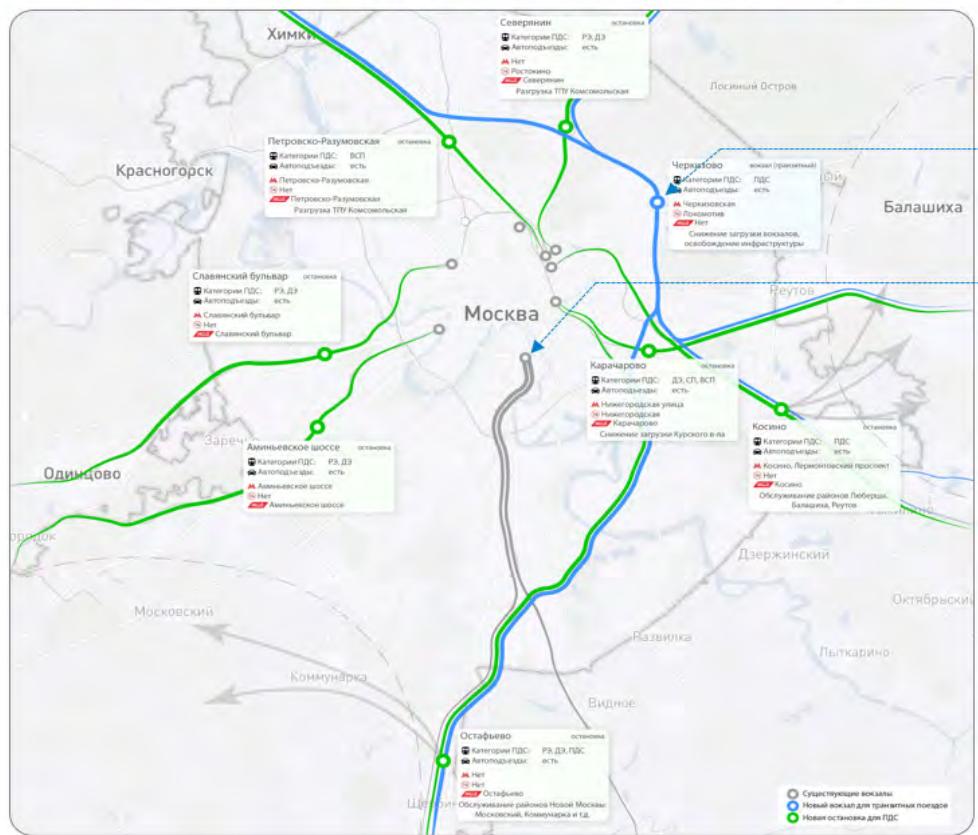


Рис. 4. Предложения по организации дополнительных остановок поездам дальнего следования в черте г. Москвы (рисунок составлен авторами).

3. Пассажирская инфраструктура: кассы и БПА, досмотровая зона, туалетные комнаты, объекты торговли и общепита, зал ожидания.

4. Путь с высокой платформой для посадки (высадки) пассажиров длиной 450 м.

5. Свободный приёмо-отправочный путь для возможности обгона (остановочный пункт должен иметь путевое развитие).

МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ

Учитывая эти требования и многообразие категорий поездов дальнего следования, прибывающих в Москву, предлагается организовать им дополнительные остановки в черте города Москвы с целью снижения нагрузки на центральные вокзалы и станции метро. Всего в московском регионе предлагается назначить семь дополнительных остановочных пунктов поездам дальнего следования на базе существующих

пригородных остановочных пунктов Киевского, Смоленского, Ленинградского, Ярославского, Горьковского, Казанского и Курского радиальных направлений, а также Малого кольца Московской железной дороги (рис. 4).

Рассмотрим некоторые предложения более подробно. Одной из дополнительных остановок для пассажирских поездов дальнего следования, по нашему мнению, должен стать транспортно-пересадочный узел Косино, который, как показано на рис. 5, формируется на основе существующей железнодорожной платформы Косино Казанского направления. Основной функцией планируемого транспортно-пересадочного узла является возможность осуществления посадки и высадки в поезда дальнего следования Казанского и Рязанского направлений для разгрузки Казанского вокзала, самого загруженного пасса-



Рис. 5. Предлагаемая конфигурация транспортно-пересадочного узла Косино (рисунок составлен авторами).

жирскими поездами дальнего следования вокзала, и сокращения времени в пути для пассажиров, проживающих в восточных и юго-восточных районах Москвы и восточных районах Московской области.

Предлагаемый транспортно-пересадочный узел Косино может состоять из станции с четырьмя главными, двумя приёмо-отправочными путями и четырьмя пассажирскими платформами. При этом одна платформа будет специализирована для поездов Московских центральных диаметров (маршрут D3 Зеленоград—Раменское), ещё одна — для пригородных поездов дальних зон и экспрессов, а две другие — для пассажирских поездов дальнего следования.

Хорошая транспортная доступность данного района будет обеспечена станциями метро Косино Некрасовской линии и Лермонтовский проспект Таганско-

Краснопресненской линии, железнодорожной платформой Косино и сетью автомобильных дорог с маршрутами наземного городского общественного транспорта. Поэтому будет обеспечена связь наземного городского и внеуличного рельсового транспорта.

По предварительным данным, организация дополнительной остановки пассажирским поездам дальнего следования на территории транспортно-пересадочного узла Косино позволит разгрузить пассажирскую инфраструктуру Казанского вокзала не менее чем на 15 %. Внешний вид проектируемого транспортно-пересадочного узла Косино представлен на рис. 6.

Помимо транспортно-пересадочного узла Косино, ещё одним дополнительным остановочным пунктом для поездов дальнего следования является остановочный пункт Остафьево, расположенный на Кур-





Рис. 6. Внешний вид будущего транспортно-пересадочного узла Косино. Источник: Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. [Электронный ресурс]: <https://stroi.mos.ru/>. Доступ 01.03.2020.



Рис. 7. Остановочный пункт «Остафьево». Источник: Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. [Электронный ресурс]: <https://stroi.mos.ru/>. Доступ 01.03.2020.

ском направлении. Новый остановочный пункт организован ввиду строительства новых перспективных жилых комплексов между существующим остановочным пунктом Силикатная и станцией Подольск. Назначение дополнительной остановки пассажирским поездам дальнего следования на данном транспортно-пересадочном узле позволит разгрузить Курский вокзал

и сократить времени в пути для пассажиров Троицкого и Новомосковского административных округов и юга Московской области. Учитывая планы по освоению территории Новой Москвы, ожидается, что в перспективе доля пассажиров останавливающихся там поездов может достигнуть 20 % от общего числа пассажиропотока по г. Москве.

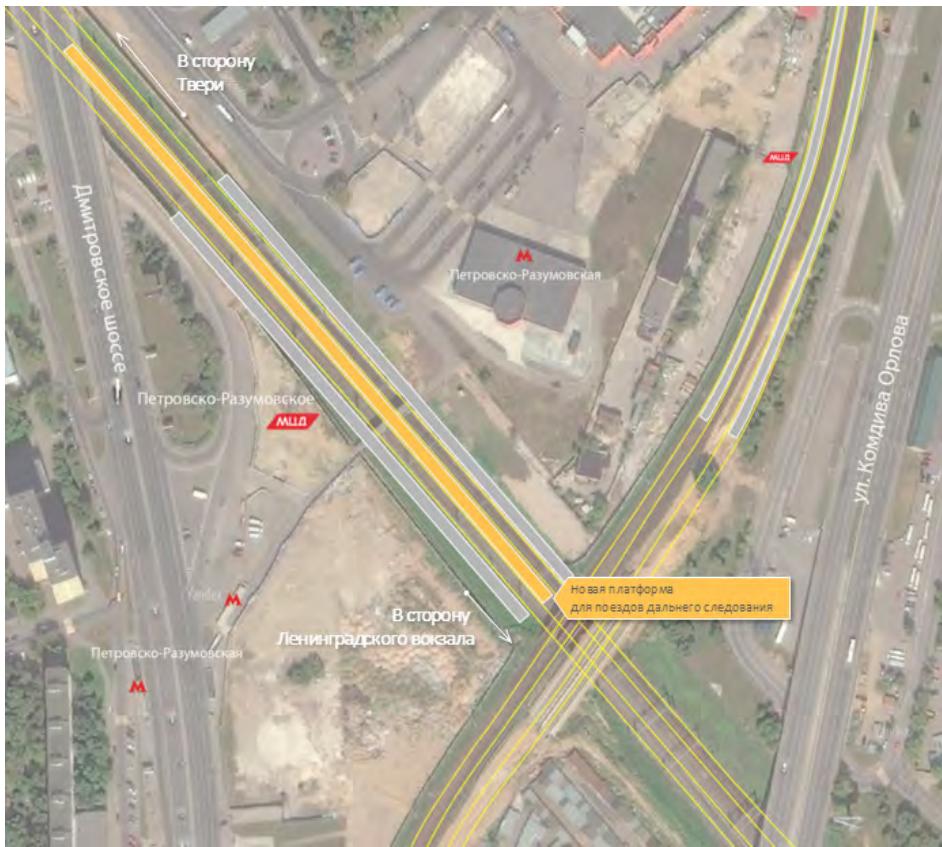


Рис. 8. Предлагаемая конфигурация транспортно-пересадочного узла Петровско-Разумовская (рисунок составлен авторами).

Остановочный пункт Остафьево, (на рис. 7) состоит из двух островных пассажирских платформ. При этом одна платформа специализирована для поездов Московских центральных диаметров (маршрут D2 Нахабино–Подольск), а две другие – для пригородных поездов дальних зон и экспрессов.

В настоящее время транспортно-пересадочный узел Остафьево представляет собой современный конкорс, железнодорожные платформы, оборудованные навесом на всю длину, лавочками, энергосберегающим освещением и навигационными стелами. Транспортная доступность обеспечивается парковкой для личных автомобилей и организованным автобусным сообщением.

На первом этапе для организации остановок межрегиональным экспрессным поездам сообщением Москва–Курская–Тула, а также «дневным экспрессам», курсирующими по маршрутам Москва–Курская–

Курск, Москва–Курская–Орёл и Москва–Курская–Белгород, обслуживаемым электропоездами «Ласточка», достаточно существующей пассажирской платформы длиной 275 м. На перспективу, в случае назначения остановок пассажирским поездам «дневной экспресс», обслуживаемым цельнометаллическими вагонами с локомотивной тягой, возможен вариант удлинения пассажирской платформы по III–IV главным путям до 400 м.

Еще одним остановочным пунктом для пассажирских поездов дальнего следования станет транспортно-пересадочный узел, который формируется на основе строящейся железнодорожной платформы Петровско-Разумовская Ленинградского направления (рис. 8). Назначение дополнительной остановки высокоскоростным поездам Ленинградского направления на данном остановочном пункте позволит разгрузить Ленинградский вокзал и сократить время в пути для пассажиров Северного, Северо-



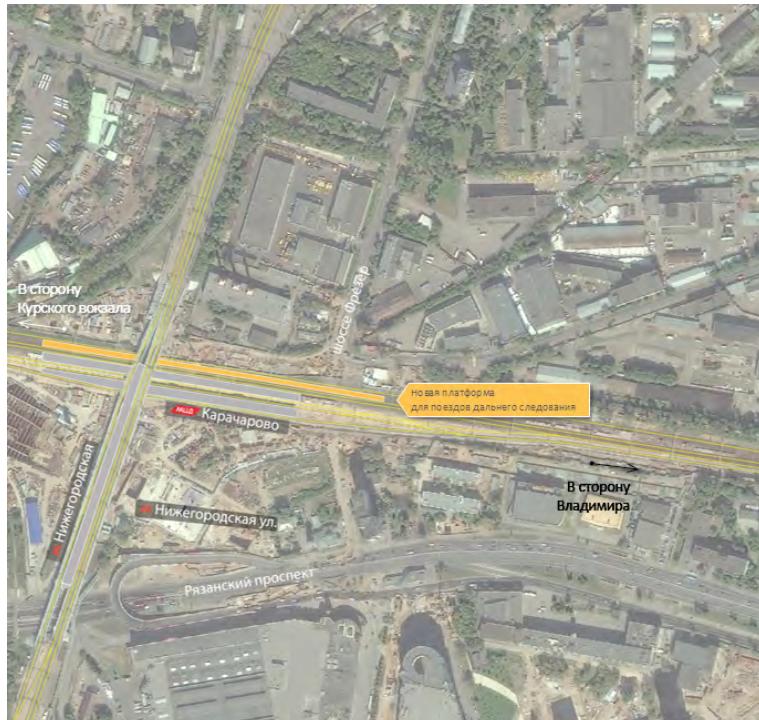


Рис. 9. Предлагаемая конфигурация транспортно-пересадочного узла Карабарово (рисунок составлен авторами).

Восточного и Зеленоградского административных округов города Москвы.

В состав транспортно-пересадочного узла входят две платформы для поездов Московских центральных диаметров (маршрут D3 Зеленоград–Раменское), островная платформа для пригородных поездов дальних зон, экспрессов и поездов дальнего следования Ленинградского направления, есть возможность пересадки на одноименный остановочный пункт Савёловского направления (маршрут D1 Одинцово–Лобня), станции метро Петровско-Разумовская Серпуховско-Тимирязевской и Люблинско-Дмитровской линий, парковки и остановки наземного городского пассажирского транспорта.

На этом транспортном узле предлагается назначить остановки высокоскоростным поездам «Сапсан» Москва–Октябрьская–Санкт-Петербург и электропоезду «Ласточка» № 725/726, следующему по маршруту Москва–Октябрьская–Санкт-Петербург. Наличие остановки у поездов «Сапсан» позволит сделать график более параллельным относительно пригородных поездов, что также скажется положительно

на пропускной способности головного участка Ленинградского направления.

На Горьковском направлении для пропуска пассажирских поездов дальнего следования планируется организация транспортно-пересадочного узла Карабарово, сформированного на основе существующей станции Карабарово. Транспортно-пересадочный узел Карабарово состоит из остановочного пункта с тремя пассажирскими платформами, четырьмя главными путями и двумя приёмоотправочными путями. При этом две платформы на перспективу будут предназначены для поездов Московских центральных диаметров (маршрут D4 Апрелевка–Железнодорожная), а третья платформа станет совмешённой для пригородных поездов дальних зон, экспрессов и поездов дальнего следования.

В состав транспортно-пересадочного узла Карабарово входит остановочный пункт Горьковского направления, станция Московского центрального кольца Нижегородская, станция Нижегородская Некрасовской и Большой кольцевой линий метро (рис. 9).

Так же важнейшим транспортно-пересадочным узлом, располагающимся на

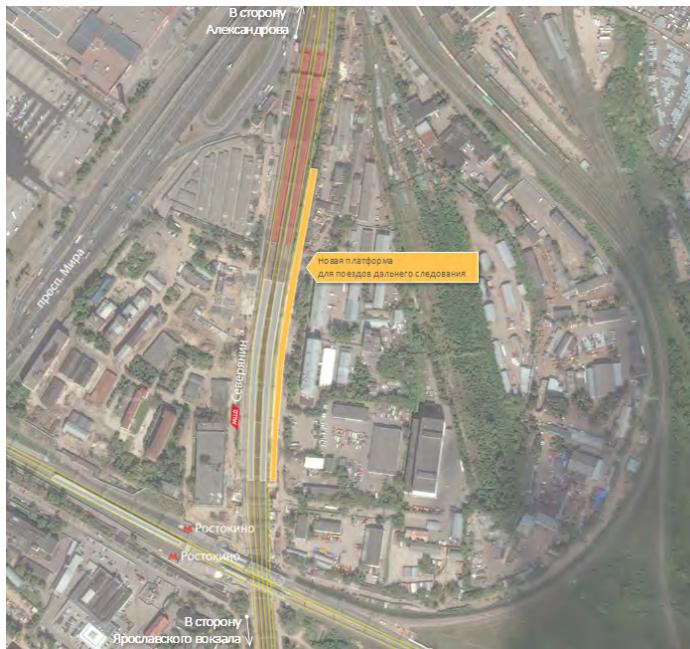


Рис. 10. Предлагаемая конфигурация транспортно-пересадочного узла Северянин (рисунок составлен авторами).

пересечении с Московским центральным кольцом, является остановочный пункт Северянин Ярославского направления (рис. 10).

Назначение дополнительной остановки некоторым поездам дальнего следования на данном остановочном пункте позволит разгрузить Ярославский вокзал и сократить время в пути для пассажиров Северо-Восточного административного округа Москвы и северо-восточных районов Московской области. В состав транспортно-пересадочного узла войдут остановочный пункт Северянин Ярославского направления (поезда Московских центральных диаметров маршрута D5, пригородные поезда дальних зон, экспрессы и поезда дальнего следования), а также станция Московского центрального кольца Ростокино.

Ввиду начала масштабной реконструкции участка Москва-Пассажирская-Курская-Москва-Каланчёвская с целью строительства дополнительной пары главных путей, было принято решение об отклонении транзитных (широтных) поездов дальнего следования, обращающихся в настоящее время по данному участку, на третий главный путь Малого кольца Московской железной дороги, где в настоящее

время осуществляется только грузовое движение. В перспективе на Малое кольцо Московской железной дороги могут быть переведены транзитные поезда, следующие с Ленинградского и Ярославского направлений на Казанское направление через Митьковскую соединительную ветвь: новый маршрут пропуска позволит назначить таким поездам тарифную остановку в Москве.

Для обеспечения всех условий, предъявляемых к организации транспортно-пересадочного узла, был разработан проект по строительству пассажирского терминала Черкизово, находящегося между станциями Локомотив и Бульвар Рокоссовского Малого кольца Московской железной дороги. Транспортную доступность терминала, помимо наличия пассажирского здания и платформ для посадки и высадки пассажиров поездов дальнего следования, обеспечат станция метро Черкизово, станция Малого кольца Московской железной дороги Локомотив, парковка для личного автотранспорта и места ожидания общественного городского транспорта. Размещение данного терминала показано на рис. 11.

Вокзальный комплекс на станции Черкизово является композиционным цент-



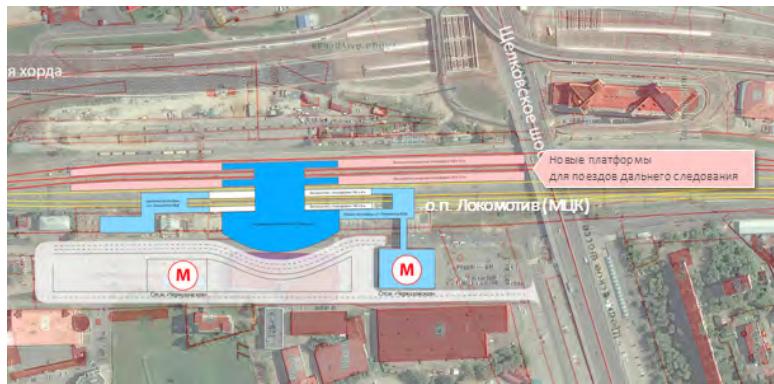


Рис. 11. Размещение перспективного пассажирского терминала Черкизово (рисунок составлен авторами).

ром транспортно-пересадочного узла, в состав которого включены:

1. Трёхэтажное пассажирское здание.
2. Надземный пешеходный переход (конкорс), выполненный в монолитных железобетонных конструкциях, с теплыми наземными остеклёнными павильонами из легких металлических конструкций для выхода на платформы и вокзал посредством лестниц, эскалаторов и пассажирских лифтов с утеплёнными лифтовыми шахтами и устройством утеплённых лифтовых холлов на платформах.
3. Две высокие островные пассажирские платформы длиной 500 м, оборудованные навесами из легких металлических конструкций.
4. Привокзальная площадь с двумя контрольно-пропускными пунктами (КПП), оборудованная стоянками для автобусов и легковых автомобилей, включая парковочные места для автомобилей маломобильных групп населения.

Таким образом, появление дополнительных остановочных пунктов для пассажирских поездов дальнего следования станет эффективным шагом в снижении нагрузки на самых загруженных элементах транспортной системы города Москвы. Выбирая местом начала или окончания поездки модернизированные транспортно-пересадочные узлы, пассажир дальнего следования не только беспрепятственно осуществляет пересадку, избегая встречи с потоками стремящихся на работу пассажиров, но и затрачивает меньше времени на то, чтобы добраться до места назначения, потому что главная задача пассажирских перевозок – доставить пассажира

в необходимый район города с минимальными потерями времени.

ВЫВОДЫ

Критическая загруженность определённых элементов транспортной системы Москвы (в частности, метрополитена) диктует необходимость решения вопроса о назначении дополнительных остановок для пассажирских поездов дальнего следования с целью распределения пассажиропотоков ещё до прибытия поезда дальнего следования на вокзал в центр города. Благодаря такому решению пассажиры смогут осуществить посадку, высадку и пересадку на другой вид транспорта в более комфортных условиях с возможностью построения более удобного маршрута в зависимости от места проживания или пребывания.

Главными преимуществами назначения дополнительных остановок являются:

1. Снижение нагрузки на вокзалы Москвы.
2. Уменьшение пассажиропотока на крупных транспортно-пересадочных узлах с критической загрузкой.
3. Развитие транспортной доступности районов Москвы.
4. Рациональное распределение нагрузки на транспортную инфраструктуру города.
5. Создание более гибкой возможности выбора места отправления или прибытия по Москве для пассажиров, проживающих в различных районах.
6. Модернизация существующей транспортной инфраструктуры.

Основываясь на зарубежном опыте европейских стран, в частности, на примере

Германии, где в границах столичной агломерации города Берлин пассажирские поезда дальнего следования проходят через 2 и более вокзала, было принято решение о развитии транспортно-пересадочных узлов с возможностью остановки поездов дальнего следования не только на центральных вокзалах, но и в других районах Москвы. Такими дополнительными остановочными пунктами для пассажирских поездов дальнего следования станут Косино, Остафьево, Петровско-Разумовское, Черкизово, Карабарово, Северянин и другие, привлекающие пассажиров расположением, развитостью прилегающих территорий и транспортной доступностью. Поэтому реализацию данного решения по разгрузке Московского транспортного узла можно считать целесообразной.

Аналогичные подходы с полным учётом локальной специфики могут быть рекомендованы для проработки и для крупных городов мира, где эта модель ещё не получила развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Okamoto, Takaо; Tadakoshi, Norihisa. Rail Transport in the World's Major Cities. Japan Railway & Transport Review, October 2000, Vol. 25, pp. 4–17. [Электронный ресурс]: https://www.ejrccf.or.jp/jrtr/jtr25/pdf/f04_oka.pdf. Доступ 01.03.2020.
2. Вакуленко С. П., Копылова Е. В. Логистика пассажирских перевозок: особенности и основные понятия // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 3. – С. 32–36. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/214/404>. Доступ 01.03.2020.
3. Grey, E. A railway's role in the modern Smart City. [Электронный ресурс]: <https://www.railway-technology.com/features/railways-role-modern-smart-city/>. Доступ 01.03.2020.
4. Свиричук Г. П. Пассажирский комплекс железнодорожных дорог России и его развитие в условиях реструктуризации отрасли // Вестник университета. – 2015. – № 13. – С. 47–52. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/passazhirskiy-kompleks-zheleznodorozhnyh-dorog-rossii-i-ego-razvitiye-v-usloviiyah-restrukturizatsii-otrasli/>. Доступ 01.03.2020.
5. Pietrzak, O., Pietrzak, K. The role of railway in handling transport services of cities and agglomerations. Transportation Research Procedia, 2019, Vol. 39, pp. 405–416. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Oliwia_Pietrzak/publication/328568035_The_role_of_railway_in_handling_transport_services_of_cities_and_agglomerations/_links/. Доступ 01.03.2020.
6. Polom, M., Tarkowski, M., Puzdrakiewicz, K. Urban Transformation in the Context of Rail Transport Development: The Case of a Newly Built Railway Line in Gdansk (Poland). Journal of Advanced Transportation, Vol. 2018, Article ID1218041, 15 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1218041>.
7. Choi, Ho Jin; Hwang, Sun Yon; Kim, Hyo Seung; Park, Chang Ho. An Analysis about the Effects of Railway Station on Regional Economy: Related To Standard Of Location. The 7th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2007, Vol. 6, p. 236. [Электронный ресурс]: https://www.jstage.jst.go.jp/article/eastpro/2007/0/2007_0_236/_pdf/_char/en. Доступ 01.02.2020. DOI: <https://doi.org/10.11175/eastpro.2007.0.236.0>.
8. Nag, D., Manoj, B. S., Goswami, A. K., Bharule, S. Framework for Public Transport Integration at Railway Stations and Its Implications for Quality of Life. ADBI Working Paper 1054, December 2019. Tokyo, Asian Development Bank Institute, 16 p. [Электронный ресурс]: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/546861/adb-wp1054.pdf>. Доступ 01.02.2020.
9. Zacharias, John; Tianxin, Zhang; Nakajima, Naoto. Tokyo Station City: The railway station as urban place. Urban Design International, 2011, Vol. 16, Iss. 4, pp. 242–251. DOI: [10.1057/udi.2011.15](https://doi.org/10.1057/udi.2011.15).
10. Мадяр О. Н. Разработка методики определения целесообразности назначения остановок пассажирских поездов в крупных транспортных узлах / Дис... канд. тех. наук. – М.: РУТ (МИИТ). – 2019. – 250 с. [Электронный ресурс]: https://miit.ru/content/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%80%D1%82.pdf?id_wm=812813. Доступ 01.03.2020.
11. Трофимова Т. Е., Родионовский А. Н. Размещение и развитие транспортной инфраструктуры для формирования благоприятной городской среды территорий исторических поселений Московской области // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 11. – С. 282–286. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/razmeshenie-irazvitiye-transportnoy-infrastruktury-dlya-formirovaniya-blagopriyatnoy-gorodskoy-sredy-territoriy-istoricheskikh/>. Доступ 01.03.2020.
12. Goldman, B. Improving Intercity Passenger Rail Service in the United States. Congressional Research Service (CRS), R45783, June 25, 2019, 29 p. [Электронный ресурс]: <https://fas.org/sgp/crs/misc/R45783.pdf>. Доступ 01.02.2020.
13. Концепция развития пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в Московском транспортном узле, 2018.
14. Единые требования к формированию транспортно-пересадочных узлов и транспортно-пересадочных комплексов на сети железных дорог ОАО «РЖД» (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22 сентября 2016 № 1945р). [Электронный ресурс]: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-22092016-n-1945r-ob-utverzhdenii/>. Доступ 01.02.2020.

Авторы выражают признательность коллегам, принимавшим участие в исследовании, результаты которых были использованы при подготовке данной статьи, и предоставившим материалы: Волковой Анастасии Эдуардовне, специалисту Научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» Российского университета транспорта; Кожемякиной Ксении Александровне, специалисту Научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» Российского университета транспорта; Потапову Илье Павловичу, заместителю директора Научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» Российского университета транспорта.





On the Issue of Assigning Additional Stops for Long-Distance Passenger Trains within the Boundaries of the City of Moscow



Oleg N. POKUSAEV



Alexander E. CHEKMAREV



Victor S. EVSEEV

*Pokusaev, Oleg N., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
 Chekmarev, Alexander E., Russian University of Transport, Moscow, Russia.
 Evseev, Victor S., Russian University of Transport, Moscow, Russia*.*

ABSTRACT

In many world's most populous cities, railways are an integral part of urban transport systems. Commuter and intraurban passenger railway traffic is often and widely considered in this context. On the other hand, the constant growth in passenger traffic of long-distance trains, traditionally gravitating towards railway stations and adjacent urban transport hubs, including metro stations through which arriving passengers pass towards their final destinations in the city, requires search for new solutions to improve comfort of the trip for passengers, and to remove the excess load from the urban transit system.

Considering the experience and features of organization of long-distance passenger railway traffic in various countries, the authors based on previous

research suggests certain solutions regarding Moscow railway hub. To organize comfortable environment for passengers of all categories of trains, it is advisable to develop a balanced technology of train traffic within the Moscow junction, excluding overloading of individual elements of the transport system (in particular, of rail stations in the city center).

The objective of the article is to analyze global experience in organizing traffic of long-distance passenger trains within the boundaries of large agglomerations and to develop proposals to organize additional stopping points for long-distance trains in various districts of Moscow, which will help reduce the load on central transport and interchange hubs, improve quality of transportation services for passengers, and develop the districts of Moscow and Moscow region adjacent to the new TIHs.

Keywords: railway, passenger transportation, Moscow railway junction, long-distance trains, stations, stopping points, quality of transportation services.

*Information about the authors:

Pokusaev, Oleg N. – Ph.D. (Eng), Director of the Research and Training Center for Digital High-Speed Transport Systems of Russian University of Transport, Moscow, Russia, o.pokusaev@rut.digital.

Chekmarev, Alexander E. – Deputy Director of the Research and Training Center for Digital High-Speed Transport Systems, Moscow, Russia, a.chekmarev@rut.digital.

Evseev, Victor S. – Ph.D. student at the Department of High-Speed Transport Systems of Russian University of Transport, Moscow, Russia, v.evseev@rut.digital.

Article received 16.01.2020, revised 12.03.2020, accepted 29.04.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 172

Background.

Urban agglomerations, especially megalopolises, are characterized by complex transport infrastructure, require a systematic approach to organization of passenger flows, complex solutions that would optimize the use of various modes of transport, as well as integrate various types of transportation into the urban transport system (urban and intercity bus routes, intracity, suburban, long-distance passenger railway traffic).

A special role in the context of that problem can be assigned to railways. With constant development and modernization of Moscow railway junction, an increase in the number of arriving passengers and an increase in attractiveness of passenger transportation by rail, the problem of overloading the railway stations in Moscow and the corresponding stations of Moscow metro has become aggravated. In particular, the majority of long-distance train passengers arriving at Leningradsky, Yaroslavsky and Kazansky railway stations, during peak periods, create a colossal load on Komsomolskaya metro station, which is currently the busiest in Moscow metro, where 125 thousand people pass through turnstiles daily, and the maximum passenger traffic during morning rush hours attain 27 thousand people. Passengers of other Moscow railway stations are also forced to find themselves in some of the busiest transport hubs in the city center (metro stations Kievskaya, Kurskaya, Belorusskaya) and, often moving with large luggage, create additional obstacles to movement of a dense flow of passengers of Moscow metro.

Traditionally, great attention is paid to development of railways in order to increase connectivity of regions and agglomerations, to achieve integration of intracity and suburban railway traffic. In particular, works [1–2], numerous publications in periodicals [3–4] are devoted to a comprehensive consideration of this problem. More general issues and specific proposals, including, e.g., those with respect to cargo traffic in a district of the city of Szczecin [5], in Gdansk [6] are also studied. Definitions and other aspects of operation of rail stations [e.g., 7], their integration into urban transport systems [8–11] are considered by many researchers. Particular attention is paid to the analysis of passenger flows at rail

stations¹. Studies often focus on the positioning of railway stations in integrated transport systems of national and regional levels [12].

Among the options allowing to achieve better efficiency of the transport model of large cities, taking into account the role of railway transport and particularly of long-distance (intercity) trains, along with the improvement of the relevant infrastructure, we can refer to the development of the issues of rational location of stopping points for redistribution of passenger flows.

The organizational basis for possible implementation of such steps in Moscow agglomeration is provided by several provisions of the Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030. It particularly notes the need to modernize Moscow railway junction. So, in terms of organizing passenger transportation, it is planned to implement measures providing for:

1. Strengthening head sections of main railways.

2. Development of commuter and interregional passenger transportation in trains of improved comfort on all radial directions linking Moscow with district centers of Moscow region and neighboring constituent entities of the Russian Federation.

3. Organization of passenger traffic along the Moscow Central Circle² providing for interchange points to radial railway lines and metro stations³.

The *objective* of the article is to develop proposals for development of the existing scheme of traffic of long-distance passenger trains within Moscow railway junction. *Methods* of statistical and content analysis, as well as modelling of passenger flows were used.

¹ Please see, e.g., Rail passenger numbers and crowding statistics: 2017 report. [Electronic resource]: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/728526/rail-passengers-crowding-2017.pdf. Last accessed 01.03.2020.

² Small Moscow Rail Ring of Moscow Railway and Moscow Central Circle have the same configuration but technically they are different, and not all the tracks of Small Moscow Rail Ring belong to Moscow Central Circle, but both will be called Moscow Central Circle further on in the text

³ Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 (appr. by the order of the Government of the Russian Federation dated November 22, 2008 No.1734-r). [Electronic resource]: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460/>. Last accessed 01.02.2020.





Pic. 1. The existing scheme of long-distance passenger trains traffic within Moscow railway junction (compiled by the authors).

Features of Moscow Railway Junction

Long-distance passenger trains arrive from all directions of Moscow railway junction at 8 Moscow railway stations. More than 60 million passengers travel yearly with those long-distance trains [13]. The existing traffic scheme of long-distance passenger trains is shown in Pic. 1.

It can be seen from this scheme that all stations are in the central part of the city, while there are currently no alternative stops for most long-distance passenger trains in the territory of Moscow and in the nearest Moscow region. This often creates paradoxical situations when passengers living in Moscow region near a radial direction of a main railway are forced to travel to the center of Moscow to board a long-distance train at a railway station, spending additional time for the trip and inadvertently creating an extra load on the city's transport infrastructure (in particular, on metro and/or commuter railway).

For example, long-distance train passengers arriving at Leningradsky, Yaroslavsky or Kazansky railway stations use Moscow metro to move around the capital. Komsomolskaya station is the busiest metro station in Moscow, so presence of passengers with luggage (suitcases, trolleys and large bags) during peak hours creates a serious problem for metro functioning, as well as from the point of view

of ensuring transport security, not to mention the banal comfort of passengers.

Hypothetic solution: Redistribution of Passenger Flows to Additional Stations

The above problem of overloading of central transport hubs (railway stations) can have several solutions, but the most optimal, according to the authors of this article, is distribution of passenger flows across several stations of Moscow railway junction by assigning additional stops to long-distance passenger trains within the city.

The experience of European countries tells us about widespread use of such solutions within the boundaries of large agglomerations. So, for example, the scheme of long-distance trains' traffic through railway stations in Berlin (Germany), shown in Pic. 2, provides for at least 2 stops within the city for any category of long-distance trains. Berlin train stations are used by long-distance trains of various categories: high-speed trains (ICE), speed trains (IC/EC), night trains (NJ), international night trains (EN) and low-cost trains (FLX).

All long-distance passenger trains pass through 2 or more Berlin railway stations, and international transit trains pass through 3 or more railway stations. The parking time of trains for embarking and disembarking



Pic. 2. Scheme of organization of long-distance train traffic at railway stations in Berlin. Source: Germania-online information portal. [Electronic resource]: <https://germania-online.diplo.de/ru-dz-ru>. Last accessed 01.03.2020.

Stations with stops					
Berlin Hauptbahnhof	dep. and stop	ICE/IC	stop	EN/NI	FLX
Berlin Gesundbrunnen	dep. and stop	ICE/IC	stop	EC	
Berlin Ostbahnhof	dep. and stop	ICE/IC	dep.	EN	stop FLX
Berlin Südkreuz	dep.	IC	stop	ICE	main terminal
Berlin Spandau	stop	ICE/IC			
Zoologischer Garten	stop	ICE		NI	FLX
Berlin Ostkreuz	stop	IC		FLX	
Berlin Lichtenberg	stop	EC	and dep	FLX	FlixTrain
Berlin Charlottenburg	departure			EN/NI	stop EC
Berlin Wannsee	stop	ICE/IC		NI	

passengers at all stations within the city limits, except for the Central one, is only 2 minutes. A prerequisite is that long-distance trains from all directions pass through Berlin Central Station (Berlin Hauptbahnhof). In addition, passengers always have an opportunity to use stops located in the suburbs of Berlin to board the train at a significantly lower cost than when leaving the center of Berlin on the same train. Besides, there are low-cost trains with a low ticket price (FLX) in Germany. Such trains depart from a non-main station to various cities of the country twice a day⁴.

Despite the fact that not all railway stations of Moscow railway junction are dead-ends, a basic scheme of traffic of long-distance passenger trains in Berlin can be proposed for implementation in Moscow region. A huge number of long-distance trains of various categories (daily express trains, speed and high-speed trains, branded trains, non-branded trains and international trains) arrive in Moscow every day, which indicates the need to distribute passenger flows and optimize the load on central transport hubs.

⁴ Information portal Germania-online. [Electronic resource]: <https://germania-online.diplo.de/ru-dz-ru>. Last accessed 01.03.2020.

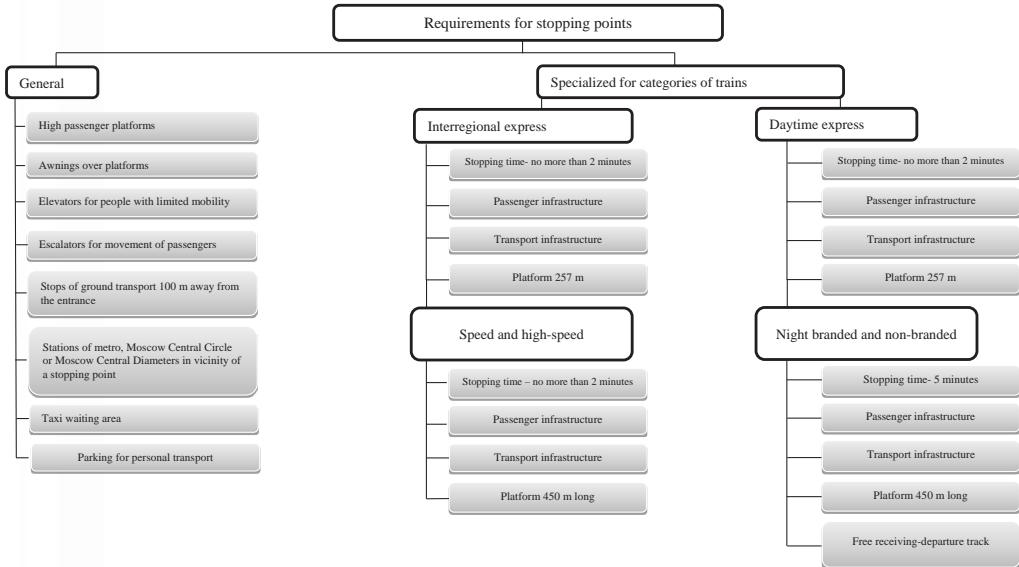
Conditions and Requirements for Creation of Additional Stopping Points

Based on the domestic regulatory framework and modern trends in design of transport interchange hubs, it is possible to identify the basic requirements for additional stopping points for long-distance passenger trains of various categories, shown in Pic. 3. Let's consider these requirements in more detail.

General requirements for stopping points, mandatory for long-distance trains of all categories:

1. High passenger platforms (at least 1 island or 2 side platforms).
2. Awnings over passenger platforms along their entire length.
3. Elevators providing vertical movement of people with limited mobility.
4. Escalators to move passengers between platforms, concourse or pedestrian crossing.
5. Stops of ground urban passenger transport, located no further than 100 m from the entrance to the transport interchange hub.
6. Metro stations, Moscow Central Circle or Moscow Central Diameters stations, located in the immediate vicinity of the planned stopping point, or connected to in compliance with «dry feet» transfer principle.





Pic. 3. Basic requirements for additional stopping points for long-distance passenger trains of various categories (compiled by the authors).

7. Taxi waiting areas.

8. Parking for personal vehicles [14].

Besides the above general requirements, different categories of trains have their own specific requirements for stopping points within the city, due to the different structure of passenger traffic. Thus, passengers of «daytime express trains» (for example, train No. 741A Belgorod–Moscow-Kurskaya), most often, travel without large luggage, unlike passengers of non-branded night trains (for example, train No. 246U Chelyabinsk–Moscow-Yaroslavskaya), which can sometimes travel with several large suitcases. In addition, passengers of night trains will not be able to board and disembark from the coach in 2 minutes due to presence of luggage, unlike passengers of high-speed trains Sapsan and Lastochka, therefore, stopping time at such stopping points for trains of various categories is also different.

The main requirements for inter-regional express trains are:

1. Stopping time: no more than 2 minutes.

2. Transport infrastructure: transfers to ground and underground urban passenger transport, convenient access for taxis and private cars, parking for carsharing cars, bicycles and scooters.

3. Passenger infrastructure: cash desks and ticket-printing machines, restrooms, vending machines.

4. Track with a high platform for embarking or disembarking passengers 257 m long.

The main infrastructure requirements for daytime express trains are:

1. Stopping time: no more than 2 minutes.

2. Transport infrastructure: transfers to ground and underground urban passenger transport, convenient access for taxis and private cars, parking for carsharing cars, bicycles and scooters.

3. Passenger infrastructure: cash desks and ticket-printing machines, restrooms, inspection area, vending machines.

4. Track with a high platform for embarking or disembarking passengers 257 m long.

The main requirements for speed and high-speed trains are:

1. Stopping time: no more than 2 minutes.

2. Transport infrastructure: transfers to ground and underground urban passenger transport, convenient access for taxis and private cars, parking for carsharing cars, bicycles and scooters.

3. Passenger infrastructure: cash desks and ticket-printing machines, inspection area, restrooms, trade and catering facilities, waiting room.

4. Track with a high platform for embarkation (disembarkation) of passengers 450 m long.

The main requirements for night branded and non-branded trains are:

1. Stopping time: 5 minutes.

2. Transport infrastructure: transfers to ground and underground urban passenger transport, convenient access for taxis and



Pic. 4. Proposals for organization of additional stops for long-distance trains within the city of Moscow (authors' drawing).

private cars, parking for carsharing cars, bicycles and scooters.

3. Passenger infrastructure: cash desks and ticket-printing machines, inspection area, restrooms, trade and catering facilities, waiting room.

4. Track with a high platform for embarkation (disembarkation) of passengers 450 m long.

5. Free receiving and departure track for the possibility of overtaking (stopping point must have track development).

A model of problem solution

Considering these requirements and variety of categories of long-distance trains arriving in Moscow, it is proposed to organize additional stops for them within the city of Moscow to reduce the load on central rail stations and metro stations. In total, in Moscow region, it is proposed to designate seven additional stopping points for long-distance trains based on the existing suburban stopping points of Kievsky, Smolensky, Leningradsky, Yaroslavsky, Gorkovsky, Kazansky and Kursky radial rail lines (directions), as well as the Moscow Central Circle (Pic. 4).

Let's consider some proposals in more detail. One of the additional stops for long-distance passenger trains, in our opinion, should be Kosino transport hub, which, as shown in Pic. 5, is developed based on the

existing railway platform Kosino, of Kazan line (direction). The main function of the planned transport hub is the possibility of embarking and disembarking on/from long-distance trains of Kazan and Ryazan lines to unload Kazansky railway station, the busiest station with long-distance passenger trains, and reduce travel time for passengers living in the eastern and southeastern districts of Moscow and the eastern districts of Moscow region.

The proposed Kosino transport interchange hub may consist of a station with four main, two receiving and departing tracks and four passenger platforms. At the same time, one platform will be dedicated to trains of Moscow Central Diameters (route D3 Zelenograd–Ramenskoye), another one will serve long-distance commuter trains and express trains, and two others will be dedicated to long-distance passenger trains.

Good transport accessibility of this area will be provided by Kosino metro stations of Nekrasovskaya line and Lermontovsky prospect of Tagansko-Krasnopresnenskaya line, Kosino railway platform and a network of motor roads with ground urban public transport routes. Therefore, connection between ground urban and off-street rail transport will be provided.

According to preliminary data, organization of an additional stop for long-distance passenger trains on the territory of Kosino transport





Pic. 5. The proposed configuration of Kosino transport interchange hub (authors' drawing).

interchange hub will relieve the passenger infrastructure of Kazansky railway station by at least 15 %. The appearance of the projected Kosino transport hub is shown in Pic. 6.

In addition to Kosino transport interchange hub, another additional stopping point for long-distance trains is Ostafyevo, located at Kursk line. The new stopping point was organized due to construction of new promising residential complexes between the existing stopping point Silikatnaya and Podolsk station. The appointment of an additional stop for long-distance passenger trains at this transport interchange hub will relieve the load on Kursky railway station and reduce travel time for passengers of Troitsky and Novomoskovsky administrative districts and the south of Moscow region. Taking into account the plans for development of the territory of New Moscow, it is expected that in the future the share of passengers of trains stopping there may reach 20 % of the total passenger traffic in Moscow.

Stopping point Ostafyevo (Pic. 7) consists of two island passenger platforms. At the same time, a platform is dedicated to trains of Moscow Central Diameters (route D2 Nakhabino–Podolsk), and the other two are for suburban trains of distant zones and express trains.

Currently, Ostafyevo transport interchange hub is a modern concourse, railway platforms are equipped with a full-length canopy, benches, energy-efficient lighting and navigation steles. Transport accessibility is provided by parking for private cars and an organized bus service.

At the first stage, for organization of stops for interregional express trains connecting Moscow–Kurskaya and Tula, as well as for «daytime express trains» running along the routes Moscow–Kurskaya–Kursk, Moscow–Kurskaya–Oryol and Moscow–Kurskaya–Belgorod, served by electric trains *Lastochka*, the existing passenger platform with a length of 275 m is quite sufficient. In the future, if stops are assigned to the daily express passenger trains served by all-metal locomotive-hauled cars, it is possible to lengthen the passenger platform along III–IV main tracks up to 400 m.

Another stopping point for long-distance passenger trains will be Petrovsko-Razumovskaya transport interchange hub, which is developed (Pic. 8) on the basis of Petrovsko-Razumovskaya platform of Leningradsky line which is now under construction. The appointment of an additional stop for high-speed trains of Leningradsky line



Pic. 6. Exterior view of future Kosino transport interchange hub. Source: Complex of urban planning policy and construction of the city of Moscow. [Electronic resource]: <https://stroi.mos.ru/>. Last accessed 01.03.2020.

at this stopping point will unload Leningradsky railway station and reduce travel time for passengers of Northern, North-Eastern and Zelenogradsky administrative districts of Moscow.

The transport hub includes two platforms for trains of Moscow Central Diameters (route D3 Zelenograd–Ramenskoye), an island platform for commuter trains of distant zones, express and long-distance trains of Leningradsky line. There is the possibility of transferring to the stopping point of the same name at Savelovsky line (route D1 Odintsovo–Lobnya), metro stations Petrovsko-Razumovskaya of Serpukhovsko-Timiryazevskaya and Lyublinsko-Dmitrovskaya lines, parking and stops for ground urban passenger transport.

At Petrovsko-Razumovskaya transport hub, it is proposed to assign stops to high-speed Sapsan trains Moscow–Oktyabrskaya–St. Petersburg and Lastochka electric train No. 725/726 following the route Moscow–Oktyabrskaya–St. Petersburg. The presence of a stop for Sapsan trains will make the schedule more parallel with respect to commuter trains, and this will also make a positive effect on transit capacity of the head section of Leningradsky line.

On the Gorkovsky line, for long-distance passenger trains, it is planned to organize Karacharovo transport interchange hub, developed on the basis of the existing Karacharovo station. Karacharovo transport interchange hub consists of a stopping point with three passenger platforms, four main tracks and two receiving and departure tracks. At the same time, two platforms in the future

will be intended for trains of Moscow Central Diameters (route D4 Aprelevka–Zhelezno-dorozhnaya), and the third platform will serve long-distance commuter trains, express trains and long-distance trains.

Karacharovo transport interchange hub includes a stopping point of Gorkovsky line, Moscow Central Circle station Nizhegorodskaya, Nizhegorodskaya station of Nekrasovskaya and Big circle metro lines (Pic. 9).

Also, one of the most important transport interchange hubs located at the intersection with Moscow Central Circle is Severyanin stopping point of Yaroslavl line (Pic. 10).

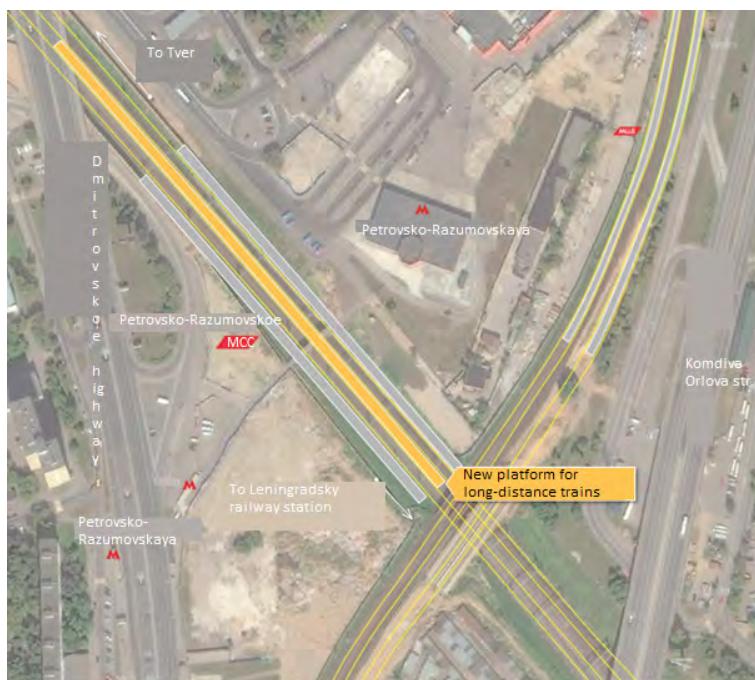
Assigning an additional stop to some long-distance trains at this stopping point will help relieve Yaroslavsky railway station and reduce travel time for passengers in North-Eastern Administrative District of Moscow and northeastern districts of Moscow region. The transport interchange hub will include Severyanin stopping point of Yaroslavl line (trains of Moscow central diameters of D5 route, suburban trains of distant zones, express and long-distance trains), as well as the Rostokino station of Moscow Central Circle.

In view of the start of a large-scale renewal of Moscow–Passazhirskaya–Kurskaya–Moscow–Kalanchevskaya section with the aim of building an additional pair of main tracks, it was decided to send long-distance transit (latitudinal) trains currently circulating on this section to the third main track of the Moscow Central Circle, where currently only cargo traffic is carried out. In the future, transit trains now going from Leningradsky and Yaroslavl lines to Kazan line through Mitkovskaya connecting





Pic. 7. Stopping point Ostafyevo. Source: Complex of urban planning policy and construction of the city of Moscow. [Electronic resource]: <https://stroi.mos.ru/>. Last accessed 01.03.2020.



Pic. 8. The proposed configuration of Petrovsko-Razumovskaya transport interchange hub (authors' drawing).

branch can be transferred to the Moscow Central Circle: the new connecting route will allow such trains to be assigned a tariff stop in Moscow.

To enable all the conditions required for organization of a transport interchange hub, a project was developed for construction of Cherkizovo passenger terminal located between the stations Lokomotiv and Bulvar Rokossovskogo of MCC. Transport accessibility of the terminal, in addition to the presence of

a passenger building and platforms for embarking and disembarking passengers of long-distance trains, will be provided by Cherkizovo metro station, Lokomotiv station of the MCC, parking for personal vehicles and waiting areas for public transport. The location of this terminal is shown in Pic. 11.

The set of station buildings at Cherkizovo station is a center of the transport interchange hub, which includes:



Pic. 9. The proposed configuration of transport interchange hub Karacharovo (authors' drawing).

1. Three-story passenger building.
2. An overhead pedestrian crossing (concourse), made in monolithic reinforced concrete structures, with warm ground glazed pavilions made of light metal structures for access to platforms and the station through stairs, escalators and passenger elevators with insulated lift shafts and arrangement of insulated lift halls on the platforms.
3. Two high island passenger platforms, 500 m long, equipped with canopies made of light metal structures.
4. Station square with two checkpoints, equipped with parking for buses and cars, including parking spaces for cars of people with limited mobility.

Thus, emergence of additional stopping points for long-distance passenger trains will be an effective step in reducing the load on the busiest elements of Moscow transport system. Choosing modernized transport hubs as a starting or ending point for a trip, a long-distance passenger not only seamlessly transfers, avoiding the flow of passengers traveling to their job, but also spends less time getting to the destination, because the main task of passenger transportation is to deliver passenger to the

required area of the city with minimal loss of time.

Conclusions.

The critical loading on some elements of Moscow transport system (in particular, metro) has led to the need to resolve the issue of assigning additional stops for long-distance passenger trains to distribute passenger traffic even before the long-distance train arrives at the station in the city center. Thanks to this solution, passengers will be able to board, disembark and transfer to another mode of transport in more comfortable conditions with the possibility of building a more convenient route depending on the place of residence or stay.

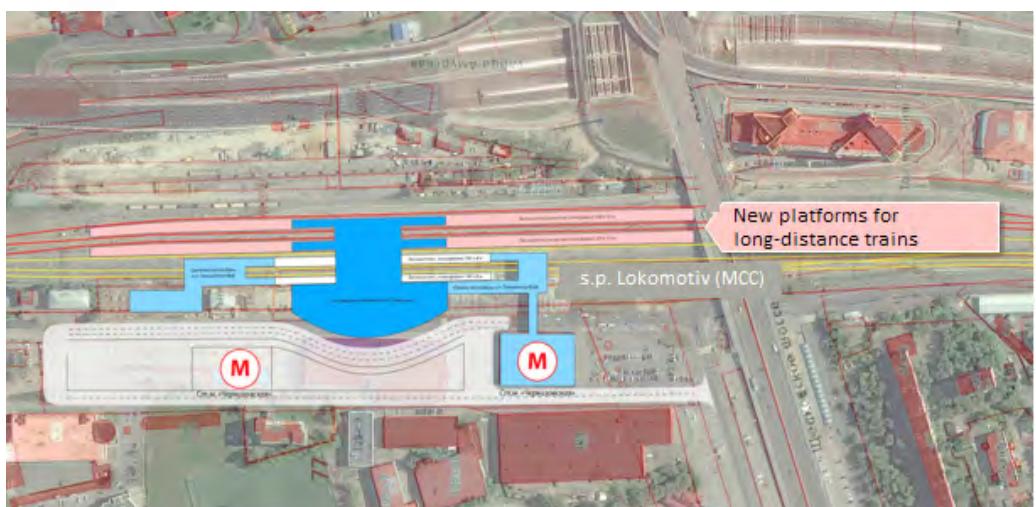
The main advantages of making additional stops are:

1. Reducing the load on Moscow railway stations.
2. Decrease in passenger traffic at large transport hubs with a critical load.
3. Development of transport accessibility of Moscow districts.
4. Rational distribution of the load on the transport infrastructure of the city.





Pic. 10. The proposed configuration of transport interchange hub Severyanin (authors' drawing).



Pic. 11. Location of the promising passenger terminal Cherkizovo (authors' drawing).

5. Creation of a more flexible opportunity to choose the place of departure or arrival in Moscow for passengers living in different areas.

6. Modernization of the existing transport infrastructure.

Based on the experience of European countries at the example of Germany, where

long-distance passenger trains pass through 2 or more railway stations within the metropolitan area of Berlin, it was decided to develop transport hubs with the possibility of stopping long-distance trains not only at central stations, but also in other areas of Moscow. Such additional stopping points for long-distance

passenger trains will be Kosino, Ostafyevo, Petrovsko-Razumovskoye, Cherkizovo, Karacharovo, Severyanin, etc., attracting passengers by the location, development of adjacent territories and transport accessibility. Therefore, implementation of this solution to unload Moscow transport junction can be considered reasonable.

Similar approaches with full consideration of local features can be recommended to large cities of the world, where this model has not yet been developed.

REFERENCES

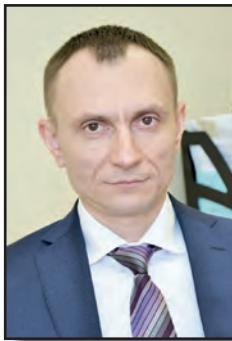
1. Okamoto, Takao; Tadakoshi, Norihisa. Rail Transport in the World's Major Cities. *Japan Railway & Transport Review*, October 2000, Vol. 25, pp. 4–17. [Electronic resource]: https://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr25/pdf/104_oka.pdf. Last accessed 01.03.2020.
2. Vakulenko, S. P., Kopylova, E. V. Logistics of passenger transportation: features and basic concepts. *World of Transport and Transportation*, Vol.13, 2015, Iss. 3, pp. 32–36. [Electronic resource]: <https://mirtr.eplpub.ru/jour/article/view/214/404>. Last accessed 01.03.2020.
3. Grey, E. A railway's role in the modern Smart City. [Electronic resource]: <https://www.railway-technology.com/features/railways-role-modern-smart-city/>. Last accessed 01.03.2020.
4. Sviridchuk, G. P. Passenger complex of Russian railways and its development in the context of industry restructuring [*Passazhirskiy kompleks zheleznykh dorog Rossii i ego razvitiye v usloviyakh restrukturizatsii otrazhi*]. *Vestnik universiteta*, 2015, Iss. 13, pp. 47–52. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/passazhirskiy-kompleks-zheleznodorozhnyh-dorog-rossii-i-ego-razvitiye-v-usloviyah-restrukturizatsii-otrasli/pdf>. Last accessed 01.03.2020
5. Pietrzak, O., Pietrzak, K. The role of railway in handling transport services of cities and agglomerations. *Transportation Research Procedia*, 2019, Vol. 39, pp. 405–416. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Oliwia_Pietrzak/publication/328568035_The_role_of_railway_in_handling_transport_services_of_cities_and_agglomerations/links/5bd7790892851c6b27972f4a/The-role-of-railway-in-handling-transport-services-of-cities-and-agglomerations.pdf. Доступ 01.03.2020.
6. Polom, M., Tarkowski, M., Puzdrakiewicz, K. Urban Transformation in the Context of Rail Transport Development: The Case of a Newly Built Railway Line in Gdansk (Poland). *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2018, Article ID1218041, 15 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1218041>.
7. Choi, Ho Jin; Hwang, Sun Yon; Kim, Hyo Seung; Park, Chang Ho. An Analysis about the Effects of Railway Station on Regional Economy: Related To Standard Of Location. The 7th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2007, Vol. 6, p. 236. [Electronic resource]: https://www.jstage.jst.go.jp/article/eastpro/2007/0/2007_0_236/_pdf-char/en. Last accessed 01.02.2020. DOI: <https://doi.org/10.11175/eastpro.2007.0.236.0>.
8. Nag, D., Manoj, B. S. Goswami, A. K., Bharule, S. Framework for Public Transport Integration at Railway Stations and Its Implications for Quality of Life. ADBI Working Paper 1054, December 2019. Tokyo, Asian Development Bank Institute, 16 p. [Electronic resource]: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/546861/adbi-wp1054.pdf>. Last accessed 01.02.2020.
9. Zacharias, John; Tianxin, Zhang; Nakajima, Naoto. Tokyo Station City: The railway station as urban place. *Urban Design International*, 2011, Vol. 16, Iss. 4, pp. 242–251. DOI: 10.1057/udi.2011.15.
10. Madyar, O. N. Development of a method for determining appropriateness of appointment of stops of passenger trains in large transport hubs. Ph.D. (Eng) thesis [*Razrabotka metodiki opredeleniya tselesoobraznosti naznacheniya ostanovok passazhirskikh poezdov v krupnykh transportnykh uzelakh. Dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2019, 250 p. [Electronic resource]: https://miit.ru/content/%D0%90%D0%82%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%82%D0%B0%D1%82.pdf?id_wm=812813. Last accessed 01.03.2020.
11. Trofimova, T. E., Rodionovskiy, A. N. Placement and development of transport infrastructure for formation of a favorable urban environment in the territories of historical settlements of Moscow region [*Razmeshchenie i razvitiye transportnoi infrastruktury dlya formirovaniya blagopriyatnoi gorodskoi sredy territorii istoricheskikh poselenii Moskovskoi oblasti*]. *Innovatsii i investitsii*, 2019, Iss. 11, pp. 282–286. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/razmeshchenie-i-razvitiye-transportnoi-infrastruktury-dlya-formirovaniya-blagopriyatnoi-gorodskoy-sredy-territoriy-istoricheskikh-pdf>. Last accessed 01.03.2020.
12. Goldman, B. Improving Intercity Passenger Rail Service in the United States. Congressional Research Service (CRS), R45783, June 25, 2019, 29 p. [Electronic resource]: <https://fas.org/sgp/crs/misc/R45783.pdf>. Last accessed 01.02.2020.
13. Concept for development of suburban passenger transportation by rail in Moscow transport junction, 2018 [*Konseptsiya razvitiya prigorodnykh passazhirskikh perevozok zheleznodorozhnym transportom v Moskovskom transportnom uzel*, 2018].
14. Uniform requirements for formation of transport interchange hubs and transport interchange complexes on the railway network of JSC Russian Railways (approved by order of JSC Russian Railways dated September 22, 2016 No. 1945r) [*Edinie trebovaniya k formirovaniyu transportno-peresadochnykh uzlov i transportno-peresadochnykh kompleksov na seti zheleznykh dorog OAO «RZD» (utv. Rasporyazheniem OAO «RZD» ot 22 sentyabrya 2016 № 1945r)*]. [Electronic resource]: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-22092016-n-1945r-ob-utverzhdenii/>. Last accessed 01.02.2020.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to the colleagues who took part in the research, the results of which were used while preparing the article, as well as for sharing the materials: Anastasiya Volkova, expert of the Research and Training Center for Digital High-Speed Transport Systems of Russian University of Transport; Kseniya Kozhemyakina, expert of the Research and Training Center for Digital High-Speed Transport Systems of Russian University of Transport; Ilya Potapov, Deputy Director of the Research and Training Center for Digital High-Speed Transport Systems of Russian University of Transport.



Методика выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов на основе оптимизационной математической модели



Олег МОСКВИЧЕВ



Светлана ЛЕОНОВА

Москвичев Олег Валерьевич – Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

Леонова Светлана Александровна – Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия*.

В статье рассмотрено формирование системы транспортно-пересадочных узлов (ТПУ). Необходимость создания ТПУ обусловлена возможностью повышения эффективности организации пассажиропотоков в системе городского общественного транспорта, сокращения времени поездки пассажиров, обеспечения комфортных, безопасных условий пересадки и улучшения качества обслуживания населения.

Цель работы – разработка методики, позволяющей решать задачу оптимального выбора мест размещения ТПУ любого города по экономическому критерию и критерию среднего времени поездки с использованием методов математического моделирования. Методика включает поиск оптимальных маршрутов поездки по городу и определе-

ние эффективных пересадочных узлов с помощью разработанного программного продукта «Эффективные пересадки». При этом эффективные пересадочные узлы с максимальной величиной пассажиропотока являются кандидатами на создание в них ТПУ. В работе выполнены расчёты согласно предлагаемой методике и определены оптимальные варианты размещения транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара при ограниченных денежных средствах с учётом величины сокращения времени поездки и количества пассажиров, пользующихся этими пересадочными узлами. Получена зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу от количества транспортно-пересадочных узлов.

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, городская транспортная сеть, общественный транспорт, пассажиропоток, среднее время поездки, оптимизационная математическая модель.

*Информация об авторах:

Москвичев Олег Валерьевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой управления эксплуатационной работой Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия, moskvichev063@yandex.ru.

Леонова Светлана Александровна – специалист учебно-методического управления, старший преподаватель кафедры управления эксплуатационной работой Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС), Самара, Россия, Svetlana.8709@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 14.01.2020, принята к публикации 11.05.2020.

For the English text of the article please see p. 206.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость создания транспортно-пересадочных узлов обусловлена возможностью повышения эффективности организации пассажиропотоков в системе городского общественного транспорта, улучшения качества обслуживания населения, повышения привлекательности городского общественного транспорта [1–6]. Вопросы обеспечения транспортной доступности, повышения качества транспортных услуг для населения, увеличения роли городского общественного транспорта, сокращения среднего времени поездки (что возможно за счёт создания системы транспортно-пересадочных узлов) отмечены как одни из наиболее важных в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [7].

При этом важно определить тип ТПУ, виды транспорта, взаимодействующие в узле, спроектировать каждый элемент пересадочного узла таким образом, чтобы обеспечить быструю, безопасную пересадку и одновременно высокий уровень обслуживания пассажиров [8–10].

Оптимальный выбор мест расположения транспортно-пересадочных узлов позволит повысить спрос на городской общественный транспорт, сократить время поездки за счёт использования пассажирами оптимальных маршрутов, обеспечить комфортные, безопасные условия пересадки и попутное обслуживание пассажиров объектами социальной инфраструктуры [11; 12].

В мировой практике основой для создания ТПУ являются станции скоростного внеуличного транспорта, что связано с развитой системой городских железных дорог и метрополитена [1; 3; 4; 9; 13; 14]. По примеру зарубежных городов строятся транспортно-пересадочные узлы Москвы [15] и Санкт-Петербурга [16]. Однако важно разработать универсальную методику определения количества и мест размещения ТПУ, которая позволит сформировать систему пересадочных узлов даже для городов с недостаточно развитой системой внеуличного транспорта, но развитой системой городского наземного транспорта.

Задача выбора количества и мест размещения пересадочных узлов рассматривалась такими российскими учёными, как

Д. Н. Власов [11; 17–19], А. А. Шагимуратова [20; 21], Н. А. Калюжный [22–25], М. А. Пиир [26; 27].

Д. Н. Власов [11; 17; 18] предложил определять приоритетные (первоочередные) транспортно-пересадочные узлы с использованием квалиметрии. Автор отмечает ряд градостроительных факторов, влияющих на выбор места строительства пересадочных узлов с учётом обеспечения экологичного устойчивого развития городской среды [19].

А. А. Шагимуратова [20; 21] разработала методику выбора приоритетных ТПУ, формируемых с участием железнодорожного транспорта, путём расчёта рейтинга каждого из них на основании экспертных оценок.

Н. А. Калюжный [22–25] осуществляет выбор приоритетных ТПУ по признаку устойчивости к изменениям пассажиропотока. Автор рассматривает узлы, формируемые вокруг станций метро и пригородной железной дороги. Важным критерием выбора узлов на роль ТПУ является коэффициент влияния величины задержки на размер пассажиропотока. При этом величина этого коэффициента и его определяющая роль в выборе пересадочных узлов в работе не обоснована.

Методика определения оптимального количества транспортно-пересадочных узлов в городах и мегаполисах, предложенная М. А. Пииром [26; 27], базируется на расчёте числа пересадочных узлов в зависимости от площади города и зоны влияния ТПУ. Однако методика предполагает расчёт количества узлов без определения мест их размещения, не учитывает специфику роста современных городов и мегаполисов.

Следовательно, требует дальнейшей проработки вопрос выбора количества и мест размещения пересадочных узлов. При этом *необходимо провести комплексный анализ городской транспортной сети и потребностей пассажиров, определить основные критерии*, которые позволяют сформировать систему ТПУ любого города таким образом, чтобы при этом достичь максимального социально-экономического эффекта [12; 28].

Целью работы является разработка методики определения количества и мест размещения транспортно-пересадочных



Рис. 1. Программные продукты, используемые для реализации алгоритма методики выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов.



узлов любого города по экономическому критерию и критерию среднего времени поездки на основе оптимизационной математической модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предлагаемая методика включает три этапа:

- **1 этап.** Изучение потребностей пассажиров в части транспортного обслуживания, расчёт величины пассажиропотока, составление матрицы межостановочных корреспонденций.

- **2 этап.** Выбор оптимальных маршрутов пассажиров в системе городского общественного транспорта. Определение «эффективных» пересадочных узлов, в которых осуществляются пересадки, составление их рейтинга по критерию величины пассажиропотока.

- **3 этап.** Выбор мест размещения ТПУ на основе оптимизационной математической модели по экономическому критерию или критерию среднего нормативного времени поездки.

Для реализации предлагаемой методики используются известные и разработанные

программные продукты. Программные продукты, используемые для реализации алгоритма методики выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов представлены на рис. 1.

Задача выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов рассматривается с точки зрения генерального критерия – среднего времени поездки пассажиров в системе городского общественного транспорта [12; 22–25; 28; 29].

На первом этапе выполняется анализ городской транспортной системы [29; 30], изучается спрос на общественный транспорт, рассчитывается матрица корреспонденций. Разделение городской территории на зоны и автоматизированный расчёт матрицы межрайонных корреспонденций рассматривались в работах О. Н. Сапрыкина [31; 32], М. Р. Якимова [33; 34]. Однако для реализации предлагаемой методики выбора мест размещения ТПУ важно получить матрицу межостановочных корреспонденций, при этом учитывается доступность каждой остановки общественного транспорта [12; 29].

Выполняется пересчёт матрицы межрайонных корреспонденций, полученной

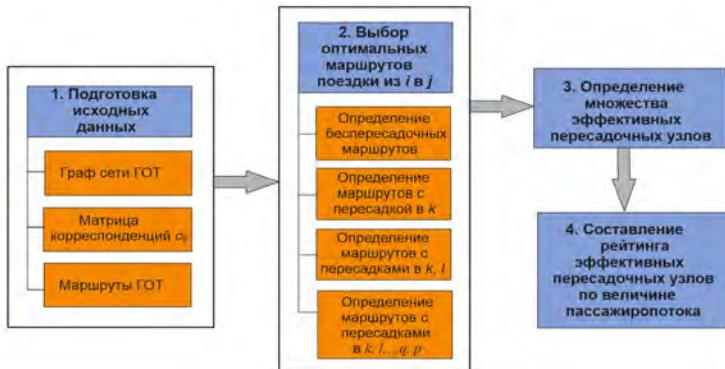


Рис. 2. Блок-схема алгоритма вычисления эффективных пересадочных узлов.

Таблица 1

Фрагмент матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$

Номер остановки отправления, i	Номер остановки прибытия, j	Среднесуточный пассажиропоток $c_{i,j}$ пасс.
1	2	2
1	3	3
.....		
1006	1004	1
1006	1005	71

путём математического моделирования (с использованием «гравитационной» модели в PTV Visum) [32; 33], в матрицу межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$, используя при этом упрощённую городскую транспортную сеть общественного транспорта, представляющую собой сеть с меньшим числом остановок за счёт объединения ряда остановок, которые лежат на линии одного маршрута, в блоки [12; 28].

Матрица межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ показывает среднесуточное число пассажиров, которые перемещаются от остановки i до остановки j по городской сети общественным транспортом. Фрагмент матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ представлен в табл. 1.

На втором этапе осуществляется выбор оптимальных маршрутов следования пассажиров в системе городского общественного транспорта по критерию минимального времени поездки, определяются эффективные пересадочные узлы, и составляется их рейтинг по критерию величины пассажиропотока. Блок-схема алгоритма вычисления эффективных пересадочных узлов представлена на рис. 2.

На основе матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ (табл. 1) и

упрощённой городской транспортной сети общественного транспорта определяются маршруты следования пассажиров из i в j . Часть пассажиров пользуется известными, привычными для себя маршрутами, особенно это касается трудовых корреспонденций. Другая часть пассажиров пользуется специальными программами и приложениями для выбора маршрута поездки. Выбор пути следования основан на выборе прямого (беспересадочного) маршрута, что связано с нежеланием платить за проезд дважды, а также неудобством самой пересадки. Однако при этом затрачивается значительное время на продолжительный пеший подход к нужной остановке отправления и прибытия.

Считаем, что действует единая система оплаты проезда, то есть, например, в течение часа пассажир перемещается по городской сети общественного транспорта по одному билету, независимо от числа пересадок и используемых видов городского транспорта. При выборе маршрута передвижения пассажир принимает решение на основании времени, затрачиваемого на поездку, с учётом комфортных, безопасных условий пересадки и возможности попутного социального обслуживания, и при этом оплачивает проезд один раз, даже если пользуется несколькими





видами городского общественного транспорта.

Для решения задачи выбора оптимального маршрута поездки из i в j разработан программный продукт «Эффективные пересадки» на языке C# (среда разработки *Microsoft Visual Studio 2017*), который позволяет выбрать оптимальный маршрут из i в j : прямой (если таковой имеется), с одной или несколькими пересадками. В результате получаем места, где находятся наиболее крупные по числу пассажиров пересадочные узлы. Именно эти пересадочные узлы пассажирского транспорта должны рассматриваться как кандидаты на создание в них транспортно-пересадочных узлов.

Для каждого маршрута с одной пересадкой из всего множества возможных пересадочных узлов k найден такой пересадочный узел r , который обеспечивает минимальное время проезда из i в j :

$$t_{i,r,j} = \min_k t_{i,k,j}. \quad (1)$$

Перебирая варианты, получаем один или несколько равнозначных пересадочных узлов. С помощью программы «Эффективные пересадки» получаем список всех узлов r , в которых осуществляется пересадка. Назовем их эффективные пересадочные узлы. Подсчитываем мощности таких узлов. Это максимально возможное количество пассажиров, которые будут пользоваться этим эффективным пересадочным узлом r :

$$c_r = \sum_{i,j} c_{i,r,j} + \sum_i c_{i,r} + \sum_j c_{r,j}, r = 1, 2, \dots, R, \quad (2)$$

где $\sum_{i,j} c_{i,r,j}$ – количество пассажиров, пересаживающихся в r -м эффективном пересадочном узле;

$\sum_i c_{i,r}$ – количество пассажиров, приезжающих в r -й эффективный пересадочный узел (он же j);

$\sum_j c_{r,j}$ – количество пассажиров, уезжающих из r -го эффективного пересадочного узла (он же i).

Далее составляем рейтинг эффективных пересадочных узлов по мощности пассажиропотока (величине c_r). На третьем этапе осуществляется выбор мест размещения ТПУ на основе оптимизационной математической модели по

экономическому критерию или критерию среднего нормативного времени поездки.

Рассматривая экономический подход к выбору мест размещения пересадочных узлов, задаётся величиной затрат S_r на строительство каждого конкретного ТПУ. Создание транспортно-пересадочных узлов имеет целью повышение удобства обслуживания пассажиров при пересадке и требует значительных затрат на перепланировку территории, строительство удобных переходов и дополнительной инфраструктуры (торговые точки, места ожидания и другое).

Создание ТПУ должно привести к уменьшению временных затрат пассажиров на совокупное обслуживание. То есть, при создании пересадочных узлов важно сократить время поездки за счёт уменьшения каждого $t_{i,j}$ и, следовательно, среднего времени поездок через систему транспортно-пересадочных узлов.

Необходимо распределить средства E_0 на создание транспортно-пересадочных узлов из возможного множества эффективных пересадочных узлов (кандидатов на роль ТПУ). При этом следует достичь максимального снижения среднего времени поездок через систему ТПУ при заданном E_0 . Получаем оптимизационную задачу линейного булева программирования, где булевые переменные $x_r = 1$, если в r -м узле будет ТПУ, и $x_r = 0$ в противном случае [12; 28]:

$$\Delta T = \frac{1}{\sum_r c_r} \sum_r c_r \Delta_r x_r \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$\sum_r S_r x_r \leq E_0. \quad (4)$$

Решая задачу (3), (4), выберем среди всех эффективных пересадочных узлов те, в которых будем строить транспортно-пересадочные узлы.

Через каждый эффективный пересадочный узел r проходит один или несколько маршрутов с пересадкой в r . Для каждого такого маршрута с пересадкой определено время поездки. Сравнивая время поездки до и после определения оптимального маршрута получаем сокращение времени данной поездки через рассматриваемый пересадочный узел r . Если через r проходит несколько пересадочных маршрутов N_r , то для каждого

Таблица 2

Рейтинг эффективных пересадочных узлов городского округа Самара по величине пассажиропотока c_r

№ п/п	№ остановки	Название	Среднесуточный пассажиропоток (c_r), пасс.
1	122	Железнодорожный вокзал	92154,5
2	183	Автостанция Аврора	88150,76
3	257	пл. Кирова	78206,33
4	163	Барбошина Поляна	76829,26
5	292	Галактионовская (ул. Красноармейская)	71891
6	46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)	69064,28
7	265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)	68801,35
8	220	пр. Металлургов (ул. Советская)	63937,97
9	269	Победа	62279,45
10	60	Стара-Загора (пр. Кирова)	60913,49
11	133	Полевая	60003,01
12	297	Железнодорожный вокзал	59221,62
13	323	Автостанция Вольская	57061,23
14	236	Тухачевского	54994,64
15	199	Дом печати	53717
16	47	Ново-Вокзальная (ул. Стара-Загора)	52732,45
17	266	Стара-Загора (ул. Ташкентская)	51049,21
18	213	Безымянка	50647,14
19	212	Вольская	48198,67
20	143	Дачная (трамвай)	47989,96
.....			
271	155	Уфимская	96,73184
272	314	ГАТП-3	84,437

r определяется среднее сокращение времени поездки Δt_r .

Рассмотрим решение задачи выбора мест расположения транспортно-пересадочных узлов по критерию среднего времени поездки. Зная величины сокращения среднего времени одной поездки с пересадкой (Δt_r) в узле r , если в нём будет оборудован ТПУ, можно сформулировать требование, чтобы выбор системы пересадочных узлов обеспечил максимальное сокращение среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} :

$$\Delta t_{cp} = \frac{1}{(\sum_i c_i + \sum_r c_r)} \sum_r c_r \Delta t_r x_r \rightarrow \max, \quad (5)$$

где c_{ij} – количество пассажиров, которые едут из i в j беспересадочными маршрутами.

Апробация методики оптимального выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара позволила определить 272 эффективных пересадочных узла, которые являются кандидатами на роль ТПУ.

Так как считаем, что величины c_r определяют основной критерий создания пере-

садочных узлов [12; 28], то эффективные пересадочные узлы выстраиваем в рейтинг в порядке убывания величины c_r (табл. 2).

При рассмотрении экономического подхода к выбору мест размещения пересадочных узлов получены оптимальные варианты расположения ТПУ в Самаре, которые представлены на рис. 3.

В результате решения задачи выбора мест расположения транспортно-пересадочных узлов по критерию среднего нормативного времени поездки получена зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} от числа ТПУ N (рис. 4).

Следует отметить, что величина Δt_{cp} достигает предельного значения 6 минут. При дальнейшем увеличении числа транспортно-пересадочных узлов среднее время поездки по городу t_{cp} будет практически неизменным.

ВЫВОДЫ

Таким образом, разработанная методика позволяет решать задачу выбора мест





Рис. 3. Оптимальные варианты размещения ТПУ в Самаре при ограниченных денежных средствах с учётом величины сокращения времени поездки и количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ.

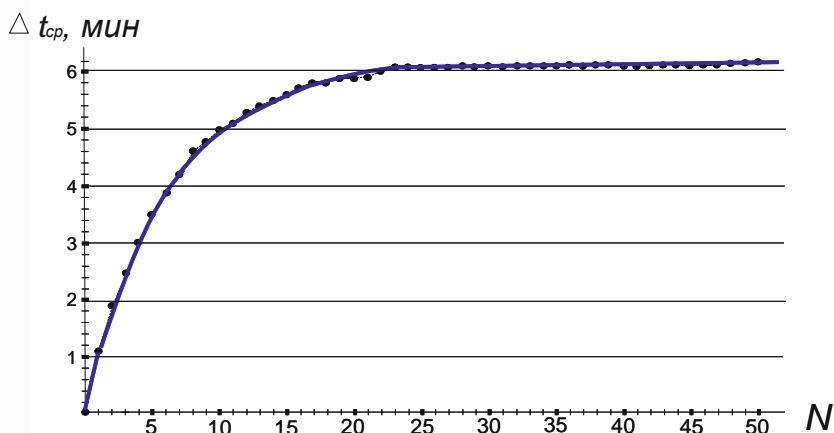
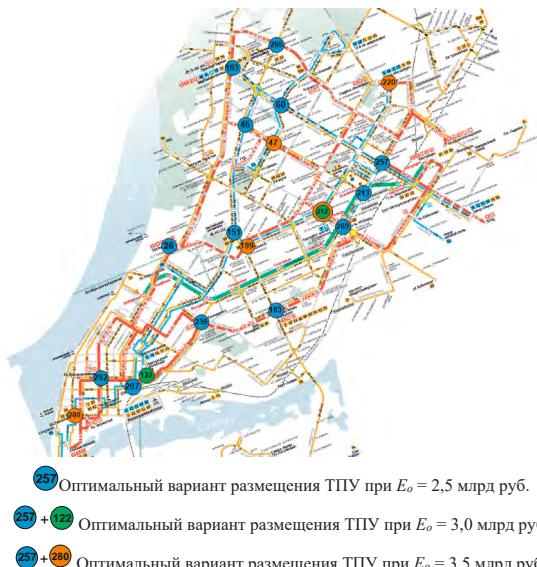


Рис. 4. Зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} от числа ТПУ N.

расположения транспортно-пересадочных узлов. Методика включает поиск оптимальных маршрутов поездки по городу и определение эффективных пересадочных узлов с помощью разработанного программного продукта «Эффективные пересадки». При этом эффективные пересадочные узлы с максимальной величиной пассажиропотока являются кандидатами на создание в них ТПУ. Далее на основе математической модели осуществляется оптимальный выбор количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов любого города, исходя из данных о размерах пассажиропотока, среднего времени поездки между остановками, числа остановок транспортной сети, стоимости строительства каждого ТПУ.

ЛИТЕРАТУРА

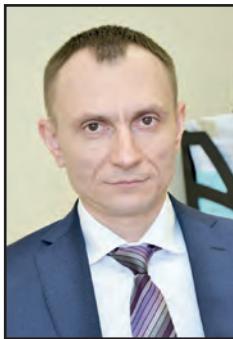
1. Monzón, A., Hernández, S., Di Ciommo, F. Efficient urban interchanges: the City-HUB model. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 14, pp. 1124–1133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.183>.
2. Graham-Rowe, E., Skippon, S., Gardner, B., Abraham, C. Can we reduce car use and, if so, how? A review of available evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, Vol. 45, Iss. 5, pp. 401–418. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.02.001>.
3. Kristersson, P. The role of public transport interchanges in regional planning. *Regions Magazine*, January 2012, Vol. 285, Iss. 1, pp. 16–17.
4. Di Ciommo, F., Monzón, A., Barberan, A. Interchange place: Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges. In book: CITY-HUBs, March 2016, pp. 37–50. DOI: [10.1201/b19519-5](https://doi.org/10.1201/b19519-5).
5. Hernandez, S., Monzon, A., de Oña, R. Urban transport interchanges: A methodology for evaluating perceived quality. *Transportation Research Part A*, 2016, Vol. 84, pp. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.08.008>.
6. Redman, L., Friman, M., Gärling, T., Hartig, T. Quality attributes of public transport that attract car users:

- A research review. *Transport Policy*, 2013, Vol. 25, pp. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.005>.
7. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: офиц. текст распор. Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р: на 11.06.2014. [Электронный ресурс]: http://government.ru/dep_news/13190/. Доступ 05.02.2020.
8. Di Ciommo, F., Vassallo, J.M., Oliver, A. Private Funding of Intermodal Exchange Stations in Urban Areas: Case of Madrid, Spain. *Transportation Research Record*, January 2009, Vol. 2115, Iss. 12, pp. 20–26. DOI: <https://doi.org/10.3141/2115-03>.
9. Pitsiava-Latinopoulou, M., Iordanopoulos, P. Intermodal Passengers Terminals: Design Standards for Better Level of Service. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, *Transport Research Arena*, 2012, Vol. 48, pp. 3297–3306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1295>.
10. Dell'Asin, G., Monzón, A., Lopez-Lambas, M. E. Key quality factors at urban interchanges. *Proceedings of the ICE – Transport*, 2014, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1680/tran.13.00039>.
11. Власов Д. Н. Транспортно-пересадочные узлы: Монография / 2-е изд. – М.: МГСУ, 2017. – 192 с.
12. Леонова С. А. Выбор мест расположения пересадочных узлов сети городского пассажирского транспорта // Транспорт Урала. – 2019. – № 4 (63). – С. 101–105.
13. Li, Zhi-Chun; Lam, W. H. K.; Wong, S. C. Modeling intermodal equilibrium for bimodal transportation system design problems in a linear monocentric city. *Transportation Research Part B*, 2012, Vol. 46, Iss. 1, pp. 30–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.08.002>.
14. Liu, Li Fen; Wang, Wen. Analysis of Urban Rail Transit Seamless Transfer Standard. *MATEC Web of Conferences* 81, 03002, 2016. [Электронный ресурс]: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/44/matecconf_ictte2016_03002.pdf. Доступ 05.02.2020. DOI: 10.1051/matecconf/20168103002.
15. Постановление Правительства Москвы от 06 сентября 2011 г. № 413-ПП «О формировании транспортно-пересадочных узлов в городе Москве». [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/537907102>. Доступ 05.02.2020.
16. Стратегия развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года. [Электронный ресурс]: <http://www.spbtrd.ru/program-development/>. Доступ 05.02.2020.
17. Власов Д. Н. Приоритетные направления развития системы транспортно-пересадочных узлов агломерации // Academia. Архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 86–89.
18. Власов Д. Н. Структура и состав нормативных требований к городским транспортно-пересадочным узлам // Градостроительство. – 2015. – № 3 (37). – С. 11–19.
19. Sherbina, E. V., Danilina, N. V., Vlasov, D. N. City planning issues for sustainable development. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, Vol. 10, No. 22, pp. 43131–43138. [Электронный ресурс]: <http://www.ripublication.com/Volume/ijaerv10n22.htm>. Доступ 05.02.2020.
20. Шагимуратова А. А. Системный анализ в определении приоритетных направлений развития транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта // Градостроительство. – 2016. – № 2 (42). – С. 63–71.
21. Шагимуратова А. А. Методика оценки развития транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта // Интернет-журнал «Науковедение».
2017. – Т. 9. – № 1. [Электронный ресурс]: <http://naukovedenie.ru/PDF/58TVN117.pdf>. Доступ 05.02.2020.
22. Калужный Н. А. Методика оптимизации размещения транспортно-пересадочных узлов в системе городского пассажирского транспорта // Дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС. – 2019. – 254 с.
23. Булычева Н. В., Калужный Н. А., Лосин Л. А. Модели размещения транспортно-пересадочных узлов городского пассажирского транспорта // Финансы и бизнес. – 2018. – № 1. – С. 54–63.
24. Калужный Н. А. Обоснование приоритетности мест размещения транспортно-пересадочных узлов в структуре агломерации методом математического моделирования // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 5 (64). – С. 142–148.
25. Kalyuzhnyi, N., Losin, L. A method of mathematical modeling for transfer hub establishment in Saint Petersburg. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 245–251. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.075.
26. Пиир М. А. Определение необходимого количества пересадочных узлов при формировании комплексной транспортной системы крупного города // Труды второй Свердловской научно-практ. конференции «Современное состояние и перспективы развития транспортных систем крупного города» / Свердловский институт народного хозяйства. – 1974. – Вып. 1. – Методологические аспекты исследований и проектирования транспортных систем городов и агломераций. Исследования закономерностей расселения и передвижения населения в городах и агломерациях. – С. 21–24.
27. Пиир М. А. Вопросы формирования системы пассажирского транспорта крупного города // Практика разработки и реализации генеральных планов городов. – Киев: Будивильник, 1975. – С. 96.
28. Леонова С. А. Оптимальный выбор мест расположения транспортно-пересадочных узлов // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике / Сб. научных трудов III международной научно-практ. конференции. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 214–216.
29. Chao, Sun; Xiaohong, Chen; H. Michael Zhang, and Ze Huang. An Evaluation Method of Urban Public Transport Facilities Resource Supply Based on Accessibility. *Hindawi Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2018, Article ID 3754205, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3754205>.
30. Федоров В. П., Пахомова О. М., Лосин Л. А., Булычёва Н. В. Анализ проблем транспортной системы центра крупного города: опыт применения методов математического моделирования // Управление развитием территории. – 2009. – № 4. – С. 18–25.
31. Ludan, I., Maiorov, E., Santana, J. D. M., Saprykin, O. Integrated approach to building a microscopic city model. In Proceedings of the 5th International Young Scientists Conference on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, 2018, 8 p.
32. Saprykin, O., Saprykina, O. Multilevel Modelling of Urban Transport Infrastructure, In Proceedings of the 1st International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS-2015). Portugal, Lisbon, SCITEPRESS, 2015, pp. 78–82.
33. Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: Монография. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
34. Якимов М. Р., Арефьева А. А. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: Монография. – М.: Логос, 2016. – 280 с.





Methods of Selection of Transport Interchange Hubs Location Based on Optimization Mathematical Model



Oleg V. MOSKVICHÉV



Svetlana A. LEONOVÁ

*Moskvichev, Oleg V., Samara State Transport University, Samara, Russia.
Leonova, Svetlana A., Samara State Transport University, Samara, Russia*.*

ABSTRACT

The article discusses development of a system of transport and interchange hubs (TIH). The need to create TIHs is due to an opportunity to increase efficiency of passenger flows in the urban public transport system, to reduce travel time for passengers, to ensure comfortable and safe conditions for transfer, and to improve quality of service to the population.

The objective of the research is to develop methods that allow solving the problem of optimal selection of TIH locations in any city according to the economic criterion and the criterion of the average travel time using the

methods of mathematical modelling. The technique comprises search for optimal travel routes in the city and identification of effective interchange hubs using the developed software product called «Efficient transfers». Efficient transfer hubs with maximum passenger traffic are candidates for TIH locations. The work describes calculations made according the proposed methods and optimal options for location of this in the city of Samara considering limited funds, reduction in travel time and in the number of passengers using these TIHs. The research also resulted in obtaining the dependence of reduction in the average time of an urban trip on the number of TIHs.

Keywords: transport and interchange hub, urban transport network, public transport, passenger flow, average travel time, optimization mathematical model.

*Information about the authors:

Moskvichev, Oleg V. – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of operations management of Samara State Transport University (SamGUPS), Samara, Russia, moskvichev063@yandex.ru.

Leonova, Svetlana A. – expert of Educational and Methodological Direction, Senior Lecturer at the Department of Operations Management of Samara State Transport University (SamGUPS), Samara, Russia, Svetlana.8709@mail.ru.

Article received 14.01.2020, accepted 11.05.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 198.

Background.

The need to create transport interchange hubs is due to the opportunity to increase the efficiency of organizing passenger flows in the urban public transport system, to improve quality of services to the population, to increase attractiveness of urban public transport [1–6]. The topics of providing better transport accessibility, improving quality of transport services to the population, increasing the role of urban public transport, reducing average travel time (which is possible due to development of systems of transport interchange hubs) are among most important issues in the Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 [7].

In each case it is important to select the type of TIH, the modes of transport interacting in the hub, to design each element of the interchange so that it could provide a fast, safe transfer along with high level of passenger service [8–10].

The optimal selection of location of transport and interchange hubs (TIH) will increase demand for urban public transport, reduce travel time due to the use of optimal routes by passengers, provide comfortable, safe conditions for transfer, and facilitate acquisition by passengers of accompanying services provided by social facilities [11; 12].

Global practices show that development of TIHs is often linked to off-street stations of rapid transit, which is associated with the developed system of urban railways and underground (metro) [1; 3; 4; 9; 13; 14]. Following the example of foreign cities, TIHs are being built in Moscow [15] and St. Petersburg [16]. However, it is important to develop a universal methodology for determining the number and locations of TIHs, which will make it possible to develop a system of transfer hubs even for cities with an insufficiently developed off-street transport system, but a developed system of urban land transport.

The problem of choosing the number and location of transfer hubs was considered by Russian researchers: D. N. Vlasov [11; 17–19], A. A. Shagimuratova [20; 21], N. A. Kalyuzhny [22–25], M. A. Piir [26; 27].

D. N. Vlasov [11; 17; 18] proposed to determine priority (high-priority) TIHs using qualimetry. The author notes a number of urban planning factors influencing the selection of a

construction site for transfer hubs, considering provision of ecological sustainable development of the urban environment [19].

A. A. Shagimuratova [20; 21] has developed a methodology for selecting priority TIHs developed with participation of railway transport, by calculating the rating of each of them based on expert assessments.

N. A. Kalyuzhny [22–25] selects priority TIHs on the criterion of resistance to changes in passenger flows. The author examines the junctions developed around metro stations and suburban (commuter) railways. An important criterion for choosing junctions as possible future TIH is the rate of influence of the delays on the size of passenger flows. Besides, the value of this coefficient and its determining role in the selection of transfer hubs in the work are not substantiated.

The method for determining the optimal number of TIHs in cities and megacities, proposed by M. A. Piir [26; 27], is based on the calculation of the number of transfer hubs depending on the area of the city and the zone of influence of TIHs. However, the method involves calculating the number of junctions without determining their locations, does not take into account the specifics of the growth of modern cities and megalopolises.

Consequently, the issue of determining the number and selecting locations of transfer hubs requires further study. It is necessary to carry out a comprehensive analysis of the urban transport network and the needs of passengers, to determine the main criteria that will allow to develop a TIH system of any city in such a way as to achieve the maximum social and economic effect [12; 28].

The *objective* of the research is to develop methods for determining the number and location of TIHs in any city using the economic criterion and the criterion of the average travel time and applying an optimization mathematical model.

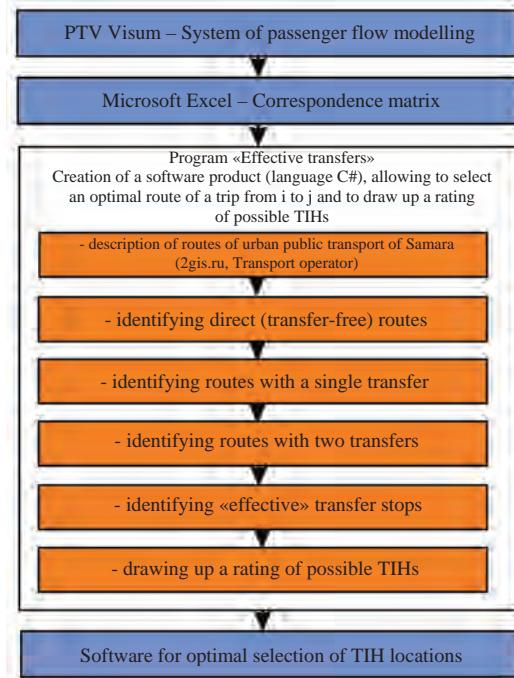
Results.

The application of proposed methods includes three stages:

- *1 stage.* Studying the needs of passengers in terms of transportation services, calculating the amount of passenger flow, compiling a matrix of inter-stop correspondence.

- *2 stage.* Selection of optimal routes for passengers within the urban public transport





Pic. 1. Software products used to implement the algorithm for selection the location of transport interchange hubs.

Table 1

Fragment of an inter-stop correspondence matrix $C^0 = \{c^0(i, j)\}$

Number of a departure stop, i	Number of an arrival stop, j	Average daily passenger flow $c_{i,j}$, pass.
1	2	2
1	3	3
.....		
1006	1004	1
1006	1005	71

system; determination of «effective» transfer hubs, in which transfers are carried out; drawing up their rating according to the criterion of the size of passenger flow.

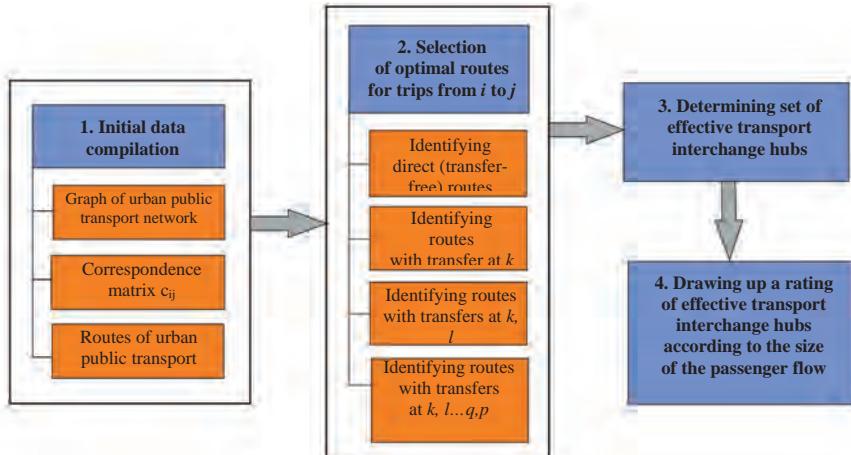
• 3 stage. Selection of TIHs locations based on an optimization mathematical model using the economic criterion or the criterion of the average standard travel time.

To implement the proposed methods, well-known and developed software products are used. The software products used to implement the algorithm for selection of locations of TIHs are shown in Pic. 1.

The problem of choosing the location of transport interchange hubs is considered from the point of view of the general criterion which is average travel time of passengers in the urban public transport system [12; 22–25; 28; 29].

At the first stage, the analysis of the urban transport system is carried out [29; 30], demand for public transport is studied, the correspondence matrix is calculated. The division of the urban area into zones and the automated calculation of the interdistrict correspondence matrix were considered in the works of O. N. Saprykin [31; 32], M. R. Yakimov [33; 34]. However, for implementation of the proposed methods for selection of TIH locations, it is important to obtain an inter-stop correspondence matrix, considering accessibility of each stop of public transport [12; 29].

Interdistrict correspondence matrix obtained by mathematical modelling (using the gravity model in PTV Visum) is recalculated [32; 33] into the inter-stop correspondence matrix



Pic. 2. Block diagram of the algorithm for calculating effective interchange hubs.

$C^0 = \{c^0(i, j)\}$, using a simplified urban transport network of public transport, where the number of stops is reduced by grouping some stops of the line of one and the same route [12; 28].

The inter-stop correspondence matrix $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ shows the average daily number of passengers who travel from stop i to stop j along the urban network with public transport. A fragment of the interstop correspondence matrix $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ is shown in Table 1.

At the second stage, the selection of optimal routes for passengers within the urban public transport system is carried out according to the criterion of the minimum travel time, efficient transfer hubs are determined, and their rating is compiled according to the criterion of passenger flow. The block diagram of the algorithm for calculating effective transfer hubs is shown in Pic. 2.

With an inter-stop correspondence matrix $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ (Table 1) and a simplified urban transport network of public transport, the routes for passengers traveling from i to j are determined. Some passengers use well-known, familiar routes for themselves, especially for traveling to job location and back. Another part of passengers uses special software and applications to choose the route of the trip. The choice of the route is based on the choice of a direct (non-stop, transfer-free) route, which is associated with unwillingness to pay for travel twice, as well as with inconvenience of the transfer itself. However, this takes a lot of time for a long walking approach to the desired departure and arrival stop.

We believe that there is a single system of payment for the trips, that is, for example,

within an hour a passenger travels through the urban public transport network with one and the same ticket, regardless of the number of transfers and the types of urban transport used. When choosing the route for the trip, the passenger makes a decision based on time spent on the trip, considering comfortable, safe conditions of transfer and possibility to get accompanying social services, and on a possibility to pay the fare only once, even if he uses several types of urban public transport.

To solve the problem of choosing the optimal route for a trip from i to j , the software product «Effective transfers» was developed in C# (Microsoft Visual Studio 2017 development environment), which allows you to choose an optimal route from i to j : whether it is direct (if there is any), or it provides for a single or more transfers. As a result, we get the locations where the largest transfer hubs in terms of the number of passengers are located. Exactly those interchange hubs of passenger transport should be considered as candidates for location of transport interchange hubs.

For each route with a single change, out of the whole set of possible interchange junctions k , such interchange hub r is found that provides the minimum travel time from i to j :

$$t_{i,r,j} = \min_k t_{i,k,j}. \quad (1)$$

Going through the options, we get a single or more equivalent transfer hubs. Using Effective transfers software, we obtain a list of all hubs r where transfer is performed. Let's call them effective transfer hubs. We calculate the capacity of those hubs. The capacity means the maximum possible number of



Table 2

Rating of effective interchange hubs of the urban district of Samara according to the value of passenger flow c_r

No.	No. of a stop	Name	Average daily passenger flow (c_r), pass.
1	122	Railway station	92154,5
2	183	Bus station Aurora	88150,76
3	257	Kirova sq.	78206,33
4	163	Barboshina Polyana	76829,26
5	292	Galaktionovskaya (Krasnoarmeiskaya str.)	71891
6	46	Novo-Vokzalnaya (Moskovskoe highway)	69064,28
7	265	Moskovskoe highway (Tashkentskaya str.)	68801,35
8	220	pr. Metallurgov (Sovetskaya str.)	63937,97
9	269	Pobeda	62279,45
10	60	Stara-Zagora (pr.Kirova)	60913,49
11	133	Polevaya	60003,01
12	297	Railway station	59221,62
13	323	Bus station Volskaya	57061,23
14	236	Tukachevskogo	54994,64
15	199	Dom pechatи	53717
16	47	Novo-Vokzalnaya (Stara-Zagora str.)	52732,45
17	266	Stara-Zagora (Tashkentskaya str.)	51049,21
18	213	Bezmyanka	50647,14
19	212	Volskaya	48198,67
20	143	Dachnaya (tram)	47989,96
.....			
271	155	Ufimskaya	96,73184
272	314	GATP-3	84,437

passengers who will use this effective transport interchange hub r :

$$c_r = \sum_{i,j} c_{i,r,j} + \sum_i c_{ir} + \sum_j c_{rj}, r=1,2,\dots,R, \quad (2)$$

where $\sum_{i,j} c_{i,r,j}$ is the number of passengers,

making transfers in r -th effective transfer interchange hub;

$\sum_i c_{ir}$ is the number of passengers coming

to r -th effective transport interchange hub (it is the same as j);

$\sum_j c_{rj}$ is the number of passengers, departing

from r -th effective transport interchange hub (it is the same as i).

Then we draw up a rating of effective transport interchange hubs according to the intensity of passenger flow (the value c_r).

At the third stage, selection of TIH locations is carried out on the basis of an optimization

mathematical model according to the economic criterion or the criterion of average standard travel time.

Considering the economic approach to selection of TIH locations, we set the cost S_r for construction of each specific TIH. The development of TIHs is aimed at improving convenience of servicing passengers when transferring and requires significant costs for redevelopment of the territory, construction of convenient crossings and additional infrastructure (retail outlets, waiting areas, etc.).

Creation of TIH should lead to a decrease in time spent by passengers on total service. That is, when creating TIH, it is important to reduce travel time by reducing each t_{ij} and, consequently, average travel time through the system of TIHs.

It is necessary to allocate funds E_0 for creation of transport interchange hubs selected



- 257 Optimal option of location of TIH when $E_o = 2,5$ bln rub.
- 257 + 222 Optimal option of location of TIH when $E_o = 3,0$ bln rub.
- 257 + 280 Optimal option of location of TIH when $E_o = 3,5$ bln rub.

Pic. 3. Optimal options for location of TIHs in Samara considering limited funds, reduction in travel time and the number of passengers using the selected TIHs.

from a possible set of effective interchange hubs (candidates for the role of TIH). In this case, it is necessary to achieve the maximum reduction in average travel time through TIH system for a given E_o . We get an optimization problem of linear Boolean programming, where Boolean variables $x_r = 1$, if the r -th junction will have a TIH, and $x_r = 0$ otherwise [12; 28]:

$$\Delta T = \frac{1}{\sum_r c_r} \sum_r c_r \Delta t_r x_r \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$\sum_r S_r x_r \leq E_o. \quad (4)$$

Solving problems (3), (4), we shall select among all effective transfer hubs those in which we will build transport interchange hubs.

Each effective transfer hub r is crossed by one or more routes with interchange at r . For each such route with an interchange, travel time is determined. Comparing travel time before and after determining the optimal route, we obtain a reduction in time of this trip through the considered interchange r . If several interchange routes N pass through r , then for

each r the average travel time reduction Δt_r is determined.

Let us consider the solution to the problem of selecting locations of TIHs using the criterion of average travel time. Knowing the value of reduction in average time of a single trip with a transfer (Δt_r) at the hub r , if it is equipped with TIH, it can be required that the selection of the system of transfer junctions ensures the maximum reduction in average time of a trip around the city Δt_{av} :

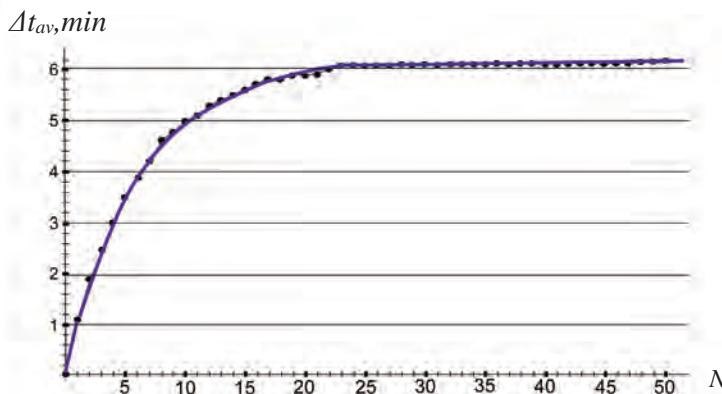
$$\Delta t_{av} = \frac{1}{(\sum_{ij} c_{ij} + \sum_r c_r)} \sum_r c_r \Delta t_r x_r \rightarrow \max, \quad (5)$$

where c_{ij} is the number of passengers, who travel from i to j using transfer-free routes.

Approbation of the technique of optimal selection of location of TIHs in Samara urban district made it possible to identify 272 effective interchange hubs that are candidates for the role of TIH.

Since we believe that the values of c_r determine the main criterion for creation of interchange hubs [12; 28], then the effective





Pic. 4. Dependence of reduction of average travel time of a trip in the city Δt_{av} on the number of TIH N .

interchange hubs are ranked in descending order of c_r (Table 2).

Considering the economic approach to selection of transfer hub locations, the optimal options for the location of TIHs in Samara were obtained, which are shown in Pic. 3.

Having solved the problem of selection of locations of TIHs according to the criterion of average standard travel time, we acquire the dependence of reduction in average time of a trip in the city Δt_{av} on the number of TIH N (Pic. 4).

It should be noted that the value Δt_{av} reaches the limit value of 6 minutes. With a further increase in the number of TIHs, average travel time in the city t_{av} will be practically unchanged.

Conclusions.

Thus, the developed methods allow solving the problem of selection of the locations of TIHs. The technique comprises the search for optimal routes for traveling within the city and identification of effective interchange hubs using the developed «Effective transfers» software product. Efficient transfer hubs with maximum passenger traffic are candidates for TIH location. Further, on the basis of a mathematical model, the optimal selection of the number and of locations of TIHs in any city is carried out based on data on the volume of passenger flow, average travel time between stops, the number of stops of the transport network, and the cost of building each TIH.

REFERENCES

1. Monzón, A., Hernández, S., Di Ciommo, F. Efficient urban interchanges: The City-HUB model. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 14, pp. 1124–1133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.183>.

2. Graham-Rowe, E., Skippon, S., Gardner, B., Abraham, C. Can we reduce car use and, if so, how? A review of available evidence. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, Vol. 45, Iss. 5, pp. 401–418. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.02.001>.

3. Kristersson, P. The role of public transport interchanges in regional planning. *Regions Magazine*, January 2012, Vol. 285, Iss. 1, pp. 16–17.

4. Di Ciommo, F., Monzón, A., Barberan, A. Interchange place: Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges. In the book: CITY-HUBs, March 2016, pp. 37–50. DOI: [10.1201/b19519-5](https://doi.org/10.1201/b19519-5).

5. Hernandez, S., Monzon, A., de Oña, R. Urban transport interchanges: A methodology for evaluating perceived quality. *Transportation Research Part A*, 2016, Vol. 84, pp. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.08.008>.

6. Redman, L., Friman, M., Gärling, T., Hartig, T. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. *Transport Policy*, 2013, Vol. 25, pp. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.005>.

7. Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030: official text of resolution of Government of the Russian Federation of November 22, 2008 No. 1734-r: as of 11.06.2014 [Transportnaya strategiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda: ofits. tekst raspis. Pravitelstva RF ot 22 noyabrya 2008 g. № 1734-r: na 11.06.2014]. [Electronic resource]: http://government.ru/dep_news/13190/. Last accessed 05.02.2020.

8. Di Ciommo, F., Vassallo, J.M., Oliver, A. Private Funding of Intermodal Exchange Stations in Urban Areas: Case of Madrid, Spain. *Transportation Research Record*, January 2009, Vol. 2115, Iss. 12, pp. 20–26. DOI: <https://doi.org/10.3141/2115-03/>.

9. Pitsiava-Latinopoulos, M., Iordanopoulos, P. Intermodal Passengers Terminals: Design Standards for Better Level of Service. *Procedia – Social and Behavioral Sciences, Transport Research Arena*, 2012, Vol. 48, pp. 3297–3306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1295>.

10. Dell'Asin, G., Monzón, A., Lopez-Lambas, M. E. Key quality factors at urban interchanges. *Proceedings of the ICE – Transport*, 2014, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1680/tran.13.00039>.

11. Vlasov, D. N. Transport interchange hubs: Monograph [Transportno-peresadochnie uzly: Monografiya]. 2nd ed. Moscow, MGSPU publ., 2017, 192 p.

12. Leonova, S. A. Choice of locations of interchange hubs of the urban passenger transport network [Vybor mest raspolozheniya peresadochnykh uzlov seti gorodskogo passazhirskogo transporta]. *Transport Urala*, 2019, Iss. 4 (63), pp. 101–105.
13. Li, Zhi-Chun; Lam, W. H. K.; Wong, S. C. Modeling intermodal equilibrium for bimodal transportation system design problems in a linear monocentric city. *Transportation Research Part B*, 2012, Vol. 46, Iss. 1, pp. 30–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.08.002>.
14. Liu, Li Fen; Wang, Wen. Analysis of Urban Rail Transit Seamless Transfer Standard. MATEC Web of Conferences 81, 03002, 2016. [Electronic resource]: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/44/matecconf_icte2016_03002.pdf. Last accessed 05.02.2020. DOI: 10.1051/matecconf/20168103002.
15. Resolution of Moscow Government dated September 6, 2011 No. 413-PP «On the development of transport interchange hubs in the city of Moscow» [Postanovlenie Pravitelstva Moskvy ot 06 sentyabrya 2011 g. № 413-PP «O formirovaniyu transportno-peresadochnykh uzlov v gorode Moskve»]. [Electronic resource]: <http://docs.cntd.ru/document/537907102>. Last accessed 05.02.2020.
16. Strategy for development of the transport system of St. Petersburg and Leningrad region for the period up to 2030 [Strategiya razvitiya transportnoi sistemy Sankt-Peterburga i Leningradskoi oblasti na period do 2030 goda]. [Electronic resource]: <http://www.spbtrd.ru/program-development/>. Last accessed 05.02.2020.
17. Vlasov, D. N. Priorities of development of the system of transport interchange hubs of an agglomeration [Prioritetnye napravleniya razvitiya sistemy transportno-peresadochnykh uzlov v aglomeratsii]. *Academia. Architecture and construction*, 2013, Iss. 3, pp. 86–89.
18. Vlasov, D. N. Structure and composition of regulatory requirements for urban transport interchange hubs [Struktura i sostav normativnykh trebovaniy k gorodskim transportno-peresadochnym uzlom]. *Gradostroitelstvo*, 2015, Iss. 3 (37), pp. 11–19.
19. Sherbina, E. V., Danilina, N. V., Vlasov, D. N. City planning issues for sustainable development. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, Vol. 10, No. 22, pp. 43131–43138. [Electronic resource]: <http://www.ripublication.com/Volume/ijaerv10n22.html>. Last accessed 05.02.2020.
20. Shagimuratova, A. A. System analysis in determining the priority directions of development of transport interchange hubs of railway transport [Sistemnyi analiz i opredelenie prioritetnykh napravlenii razvitiya transportno-peresadochnykh uzlov zheleznyodorozhnogo transporta]. *Gradostroitelstvo*, 2016, Iss. 2 (42), pp. 63–71.
21. Shagimuratova, A. A. Methodology for assessing development of transport interchange hubs of railway transport [Metodika otsenki razvitiya transportno-peresadochnykh uzlov zheleznyodorozhnogo transporta]. *Internet journal «Naukovedenie»*, 2017, Vol. 9, Iss. 1. [Electronic resource]: <http://naukovedenie.ru/PDF/58TVN117.pdf>. Last accessed 05.02.2020.
22. Kalyuzhny, N. A. Methods for optimizing location of transport interchange hubs in the system of urban passenger transport. Ph.D. (Eng) thesis [Metodika optimizatsii razmeshcheniya transportno-peresadochnykh uzlov v sisteme gorodskogo passazhirskogo transporta. Dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2019, 254 p.
23. Bulycheva, N. V., Kalyuzhny, N. A., Losin, L. A. Models of location of transport interchange hubs of urban passenger transport [Modeli razmeshcheniya transportno-peresadochnykh uzlov gorodskogo passazhirskogo ransporta]. *Finansy i biznes*, 2018, Iss. 1, pp. 54–63.
24. Kalyuzhny, N. A. Justification of the priority of location of transport interchange hubs in the structure of the agglomeration by the method of mathematical modelling [Obosnovanie prioritetnosti mest razmeshcheniya transportno-peresadochnykh uzlov v strukture aglomeratsii metodom matematicheskogo modelirovaniya]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2017, Iss. 5 (64), pp. 142–148.
25. Kalyuzhnyi, N., Losin, L. A method of mathematical modeling for transfer hub establishment in Saint Petersburg. *Transportation Research Procedia*, 2018, Vol. 36, pp. 245–251. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.075.
26. Piir, M. A. Determination of the required number of transfer hubs while developing an integrated transport system of a large city [Opredelenie neobkhodimogo kolichestva peresadochnykh uzlov pri formirovaniyu kompleksnoi transportnoi sistemy krupnogo goroda]. *Proceedings of the second Sverdlovsk scientific and practical conference «Current state and development prospects of transport systems in a large city» / Sverdlovsk Institute of National Economy*, 1974, Iss. 1. *Methodological aspects of research and design of transport systems of cities and agglomerations. Studies of the patterns of settlement and movement of the population in cities and agglomerations*, pp. 21–24.
27. Piir, M. A. Issues of development of a system of passenger transport in a large city [Voprosy formirovaniya sistemy passazhirskogo transporta krupnogo goroda]. *Practice of development and implementation of master plans of cities*. Kiev, Budivelnik publ., 1975, p. 96.
28. Leonova, S. A. Optimal choice of locations for transport interchange hubs [Optimalniy vybor mest raspolozheniya transportno-peresadochnykh uzlov]. *Transport and logistics: strategic priorities, technological platforms and solutions in the globalized digital economy. Proceedings of 3rd international scientific and practical conference, Rostov-on-Don, 2019*, pp. 214–216.
29. Chao, Sun; Xiaohong, Chen; H. Michael Zhang, and Ze Huang. An Evaluation Method of Urban Public Transport Facilities Resource Supply Based on Accessibility. *Hindawi Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2018, Article ID 3754205, 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/3754205>.
30. Fedorov, V. P., Pakhomova, O. M., Losin, L. A., Bulycheva, N. V. Analysis of the problems of the transport system of the center of a large city: the experience of using methods of mathematical modeling [Analiz problem transportnoi sistemy tsentra krupnogo goroda: opyt primeneniya metodov matematicheskogo modelirovaniya]. *Management of territory development*, 2009, Iss. 4, pp. 18–25.
31. Ludan, I., Maiorov, E., Santana, J. D. M., Saprykin, O. Integrated approach to building a microscopic city model. In Proceedings of the 5th International Young Scientists Conference on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, 2018, 8 p.
32. Saprykin, O., Saprykina, O. Multilevel Modelling of Urban Transport Infrastructure. In Proceedings of the 1st International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS-2015). Portugal, Lisbon, SCITEPRESS, 2015, pp. 78–82.
33. Yakimov, M. R. Transport planning: creating transport models of cities: Monograph [Transportnoe planirovaniye: sozdanie transportnykh modelei gorodov]. Moscow, Logos publ., 2013, 188 p.
34. Yakimov, M. R., Arepyeva, A. A. Transport planning. Features of modeling traffic flows in large Russian cities: Monograph [Transportnoe planirovaniye. Osobennosti modelirovaniya transportnykh potokov v krupnykh rossiiskikh gorodakh]. Moscow, Logos publ., 2016, 280 p.





Анализ качества обслуживания грузоотправителей-частных лиц



Юсупова Ольга Анатольевна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Ольга ЮСУПОВА

По оценкам экспертов, объём рынка перевозок сборных грузов в России в 2019 г. составлял от 180 до 200 млрд руб. Этот сегмент грузоперевозок развивается в непрерывном режиме: появляется всё больше новых схем доставки, балансирующих в коридоре параметров «цена–сроки–сервис».

Принцип ориентации на потребителя влияет на формирование стандартов взаимодействия грузоперевозчиков с клиентами на различных стадиях оказания услуги. Для этого необходимо выявление и оценка потребностей клиента и степени его удовлетворённости.

В статье проанализирована модель клиентоориентированного поведения транспортно-логистической компании в условиях рынка. В качестве объекта исследования выбран сервис ОАО «РЖД» – «РЖД-Экспресс», предметом исследования выступают перевозки сборных грузов по договорам с частными лицами – отправителями груза. Аргументирован выбор в качестве предмета исследования транспортных услуг по грузоперевозке сборных грузов частных лиц. Такой выбор позволяет преодолеть проблему закрытости информации, организовать проведение опроса посредством Интернета, обеспечить получение обратной связи для формирования объективной

оценки клиентоориентированности компании. В качестве цели написания данной статьи выступает разработка авторской методики анализа качества оказания услуг перевозки груза физическим лицам с позиций клиентоориентированности. В процессе достижения указанной цели автором использовались методы анкетирования и анализа полученных данных; были поставлены и решены такие задачи, как обоснование необходимости разработки специальной методики анализа качества оказания исследуемых услуг; разработка авторской системы критериев качества; оценка на их основании потребителями при помощи анкетирования качества этих услуг; выявление «узких мест» и формулирование рекомендаций по повышению качества транспортного обслуживания клиентов.

Разработанная автором система критериев оценки качества перевозок сформирована с уклоном на клиентоориентированные параметры, она может быть использована для оценки качества транспортно-логистических услуг перевозчиками на любом виде транспорта, базовые критерии могут расширяться, внутри каждого из них выделяются подкритерии, что позволит провести анализ более детально внутри предложенных магистральных направлений.

Ключевые слова: транспорт, качество транспортного обслуживания, критерии качества, грузовые перевозки, клиентоориентированность, сборные грузы.

*Информация об авторе:

Юсупова Ольга Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и кредита Российского университета транспорта, Москва, Россия, qwerty6020@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.01.2020, принятая к публикации 24.02.2020.

For the English text of the article please see p. 220.

НЕОБХОДИМОСТЬ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА В ПЕРЕВОЗКАХ

По разным оценкам, объём рынка перевозок сборных грузов в России в 2019 г. составлял от 180 до 200 млрд рублей [1]. Этот сегмент грузоперевозок развивается в непрерывном режиме: появляется всё больше новых схем доставки, балансирующих в коридоре параметров «цена–сроки–сервис».

Если в Европе классика доставки сборных грузов предполагает использование терминальных линий (консолидацию/расконсолидацию грузов на складах) перевозчиков [2], то в России в силу протяжённости территории, более широкой географии перевозок, требуется более сложный комплексный подход к решению вопроса оптимизации доставки сборных грузов.

В Европе востребованность этого вида услуг стимулирует крупные и средние компании организовывать собственные линии доставки сборных грузов, обеспечивающие полную прозрачность движения груза, возможность управлять сроками и стоимостью доставки [2]. При этом в перевозках в основном задействован автомобильный транспорт, что влечёт многокилометровые пробки на европейских трассах, задержки грузов. И основной проблемой компаний является нарушение сроков доставки, снижающее качество оказываемых услуг.

В России круг задач, стоящих перед транспортно-логистическими компаниями, включает несколько сегментов:

- разработка новых продуктов. Мощным драйвером к неотложному решению этих задач служит рост отправок сборных грузов из Китая в РФ и Европу, рост интернет-торговли, рост количества грузов в сегменте LCL. Для этого требуется не только обновление продуктовой линейки, но и принятие масштабных бизнес-решений, меняющих расстановку сил в борьбе за клиента на рынке в целом. В интервью [3] глава «РЖД-Логистики», В. Валентик, заявил о возможности «приобретения различных логистических активов, в том числе через сделки M&A», что свидетельствует о готовности компаний вкладывать средства в развитие клиентской базы в РФ и за рубежом, а также расширять собственные компетенции. О намерении развивать направление перевозки сборных грузов заявляют в этом же интервью такие лидеры рынка, как «DHL Express Россия», ОТЛК «ЭРА», Major Cargo Service (операционное подразделение ГК Major), «Элтранс+» и др.;
- развитие действующих сервисов – устранение причин задержек, утерь, порчи, недостачи грузов;
- повышение гибкости и клиентаориентированности компаний-грузоперевозчиков в борьбе за клиента в условиях высококонкурентного рынка.

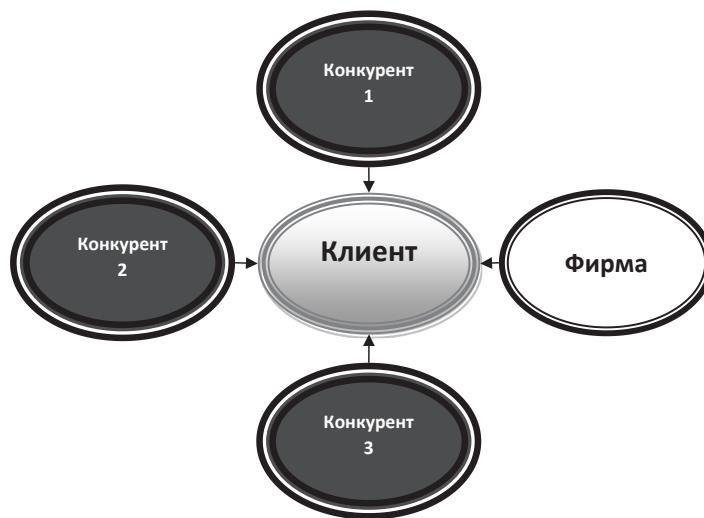


Рис. 1. Клиентаориентированный рынок (рисунок автора).



Модель клиентоориентированного поведения на рынке выглядит следующим образом (рис. 1).

Принцип ориентации на потребителя влияет на формирование стандартов взаимодействия грузоперевозчиков с клиентами на различных стадиях оказания услуги. Для этого необходимы выявление и оценка потребностей клиента и степени его удовлетворённости.

В рамках данной статьи речь пойдёт об оценке и анализе клиентоориентированности ОАО «РЖД» при оказании услуг по грузоперевозке сборных грузов с использованием сервиса «РЖД-Экспресс».

МЕТОДИКИ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА УСЛУГ ПО ГРУЗОПЕРЕВОЗКЕ СБОРНЫХ ГРУЗОВ

Автором статьи поставлена цель разработки методики оценки качества данного вида услуг, проведение на её основе анализа, выявление «узких мест» и формирование рекомендаций по повышению клиентоориентированности ОАО «РЖД». Детальный анализ критериев качества, получивших самую низкую оценку, предполагает написание цикла статей, где каждой выявленной проблеме будет посвящено отдельное исследование.

В качестве объекта исследования выбран сервис «РЖД-Экспресс», предметом исследования выступают перевозки сборных грузов по договорам с физическими лицами: это позволяет преодолеть проблему закрытости информации, организовать проведение опроса посредством Интернета, обеспечить получение обратной связи для формирования объективной оценки клиентоориентированности компаний.

Автором статьи было проведено монографическое исследование, рассмотрены методики анализа качества транспортного обслуживания, предложенные такими авторами как В. Bagabino, E. Deiana, E. Nathanail, P. Tilocca, A. M. Аса-лиев, Н. Б. Завьялова, О. В. Сагинова, И. В. Спирин, М. П. Городон, А. С. Зверева, А. Д. Молокович, М. О. Сураева, Л. В. Эйхлер, Ю. И. Соколов, И. М. Лавров, А. С. Стринковская, С. Д. Ильинкова и др., а также критериев оценки

качества, представленных в Единой политике клиентоориентированности холдинга «РЖД» [4–6].

Для оценки качества транспортного обслуживания указанными авторами предлагается рассчитывать индекс качества транспортного обслуживания грузо-владельцев, определяемый как среднее арифметическое на основе результатов маркетинговых исследований, оценивать производственное и потребительское качество транспортной услуги с использованием системы коэффициентов и критериев качества, рассчитывать интегральный показатель качества транспортной услуги на основе данных управленческой отчётности.

По ряду причин использование данных методик для оценки качества перевозки сборных грузов по договорам с частными лицами-грузоотправителями с позиций клиентоориентированности в полном объёме невозможно:

1) в них присутствуют показатели, оценка которых для частного лица является затруднительной в силу малой осведомлённости и отсутствия специальных знаний («наличие вагонов нужного типа», «техническое состояние вагонов», «подача вагонов под погрузку/выгрузку по графику», «высокий уровень соблюдения графиков подачи и уборки вагонов с путей необщего пользования», «полнота удовлетворённости спроса на перевозки» и др.);

2) индикаторы качества в большей степени направлены на оценку производственного качества, которое не всегда очевидно для клиента и больше затрагивает внутренние процессы компании (степень использования, годность, обновление и возраст подвижного состава, показатель грузоподъёмности, среднее расстояние поездки, производительность единицы подвижного состава и др.);

3) критерии качества дублируют друг друга в пределах одной методики (например, в Единой политике клиентоориентированности холдинга «РЖД» присутствуют одновременно такие критерии качества, как «Готовность к согласованию особых финансовых условий перевозки» и «Гибкость ценообразования» [7]);

Таблица 1

**Критерии оценки частными лицами – отправителями груза уровня
клиентоориентированности ОАО «РЖД» (авторская разработка)**

Показатели качества оказания услуг	Показатели надёжности услуг	Финансовые показатели	Гибкость и простота оформления
Удовлетворённость качеством предоставляемых услуг (география доставки, график работы, удобство расположения, оперативность сдачи/принятия груза и др.)	Соблюдение сроков доставки груза	Справедливая стоимость услуг	Прозрачность механизма формирования стоимости услуг
Полнота перечня дополнительных услуг на стадиях подготовки и оказания услуги	Обеспечение сохранности перевозимых грузов	Деловая репутация грузоперевозчика на рынке	Возможность удалённого оформления заказа услуг через сайт
Уровень квалификации персонала, доброжелательность отношения к клиенту	Оперативность в решении проблем клиента	Эффективная программа лояльности для клиентов	Возможность согласования индивидуальных условий перевозки

4) критерии, представленные в методиках, недостаточны для оценки запросов частных лиц и степени их удовлетворения.

Отдельно следует отметить, что в существующих методиках не уделяется внимание такому важному направлению изучения мнения потребителей, как оценка значимости для них тех или иных критерии качества, а не просто получение обратной связи в виде оценки предлагаемых в анкете критерий.

ЭТАПЫ АНАЛИЗА И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСЛУГ

Проведённое исследование позволяет предложить собственную методику оценки качества транспортного обслуживания грузоотправителей – физических лиц.

Методика включает:

- критерии оценки качества услуг, адаптированные для частных лиц – отправителей груза;
- интерпретацию и обоснование критерий;
- десятибалльную шкалу ранжирования значимости критерий;
- анкету для проведения опроса частных лиц – отправителей груза, воспользовавшихся услугой «РЖД-Экспресс».

Предлагаемая система критерий представлена в табл. 1. Она в наибольшей степени отражает потребительскую оценку качества оказываемых услуг. Эта система может быть использована в качестве основы при формировании перечня во-

просов для проведения анкетирования грузоотправителей. Формулировка критериев осуществлена таким образом, чтобы, с одной стороны, сделать их понятными для респондентов – физических лиц, с другой – позволить провести оценку качества оказываемой услуги и выявить состав проблем, требующих решения с точки зрения потребителей.

Авторская методика содержит уникальные критерии, отсутствующие в упомянутых выше методиках и Единой политике клиентоориентированности холдинга «РЖД», а именно:

1) Возможность удалённого оформления заказа услуг на сайте перевозчика – в эпоху тотальной экономии времени, повышения ценности скорости оформления услуг, обеспечивающей развитием удалённых сервисов, она приобретает особое значение [8]. Возможность оформления услуги «под ключ», не выходя из дома, делает её для клиента привлекательной. Получение высокой клиентской оценки по данному критерию позволит сформулировать вывод о том, что заказ услуги и документальное оформление через сайт не вызывает затруднений и отвечает клиентским ожиданиям. В свою очередь, низкий балл послужит индикатором необходимости совершенствования механизма заказа услуги онлайн.

2) Эффективная программа лояльности – она направлена на удержание действующей клиентской базы, благодаря наличию специальных предложений,



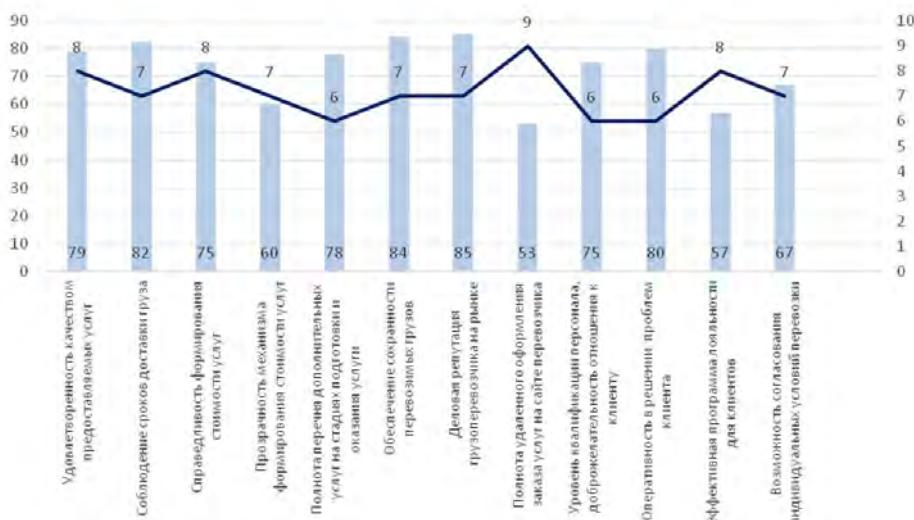


Рис. 2. Результаты проведённого опроса среди респондентов (составлено автором по результатам опроса).

скидок, бонусов. Кроме того, такая программа позволит привлечь клиентов потенциальной базы, в т.ч. обслуживающихся у других операторов. Высокую оценку по данному критерию компания может получить в том случае, если грузоперевозчик на постоянной основе не только организует различные акции, но и эффективно обеспечивает открытость информации о них, доступность её для неограниченного числа клиентов. Низкая оценка, напротив, будет свидетельством либо отсутствия подобных программ, либо их неэффективности, либо неосведомлённости потребителя о них.

3) Прозрачность механизма формирования стоимости услуг представляет собой критерий, который иллюстрирует мнение потребителя о том, насколько свободно можно отследить ценообразование на услуги с учётом изменения различных параметров, включённых в раздел дополнительных услуг. Трактовка высокой оценки по этому критерию такова: клиенту в целом ясен механизм формирования стоимости его услуги, составляющие этой стоимости, услуге присуща высокая степень свободы в части варьирования этими составляющими. В свою очередь, низкая оценка является признаком расплывчатости в понимании клиента процесса ценообразования.

Для оценки качества транспортного обслуживания считаем необходимым в рамках опроса дополнительно ранжировать значимость критериев в анкете с использованием десятибалльной шкалы, в которой 0 баллов присваивается критерию в случае абсолютной незначимости для клиента, а 10 баллов присваивается тем, которым клиент уделяет особое внимание при выборе грузоперевозчика.

Разработанная система критериев была положена в основу анкеты, размещённой в Интернете с использованием сервиса «Google-таблицы». Опрос проведён среди 135 респондентов – частных лиц, воспользовавшимся в качестве отправителей груза услугой «РЖД-экспресс» за период сентябрь–ноябрь 2019 года. Результат опроса можно увидеть на рис. 2.

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫВОДОВ И ПРЕДЛОЖЕНИЙ

По итогам опроса высокую оценку получил критерий «Финансовая стабильность грузоперевозчика», которая, по мнению респондентов, составляет 75 баллов из 100, при высокой значимости, равной 8 баллам. Полученный исследователем результат оценки по этому критерию можно считать вполне закономерным, поскольку компания «РЖД-Логистика» по праву считается одним из лидеров на транспортно-логистическом рынке, более

чем за десять лет своего существования зарекомендовавшим себя потребителям. Чистая прибыль организации возросла практически на 20 % на протяжении последних двух лет.

Как видно на рисунке, высокую оценку респондентов в размере 84 баллов получил критерий «Сохранность перевозимых грузов», при его значимости в 7 баллов. Такая оценка является закономерным следствием политики компании в области отслеживания и контроля сохранности груза на всех этапах перевозки, о чём упоминается в годовом отчёте АО «РЖД-Логистика» [9].

По результатам анкетирования стало возможным выявление ряда «узких мест», нуждающихся в более детальном анализе. Среди них в первую очередь следует обратить внимание на достаточно невысокую оценку потребителями «возможности удалённого заказа услуг через сайт», которая составила всего 53 балла, при высокой значимости в 9 баллов. Полученный результат для исследователя служит бесспорным сигналом о необходимости проведения развернутого анализа механизма оформления услуг потребителем на сайте «РЖД-Логистика», сравнении этого механизма с практикой наиболее успешных представителей транспортно-логистического рынка, разработке комплекса рекомендаций по модернизации сайта.

Невысокую оценку респондентов получил критерий «Эффективная программа лояльности для клиентов» (57 баллов), при значимости показателя в 8 баллов. Полученный результат свидетельствует о необходимости пересмотра программы скидок, предоставляемых частным лицам-грузоотправителям, рассмотрения возможности внедрения бонусной программы, системы уведомления клиентов об имеющихся акциях и скидках.

Резюмируя проведённое исследование, отметим, что предложенная в нём методика оценки качества транспортного обслуживания частных лиц – отправителей груза позволяет компании-грузоперевозчику проанализировать свои сильные и слабые стороны, увидеть свою деятельность глазами клиента с позиций его удовлетворённости и адекватно ей выбрать

пути роста качества предоставляемых услуг.

Предложенная система критериев оценки качества перевозок сформирована с уклоном на клиентоориентированные параметры, она может быть использована для оценки качества транспортно-логистических услуг перевозчиком на любом виде транспорта, система базовых критериев может быть расширена, внутри каждого из них могут быть выделены подкритерии, что позволит провести анализ более детально внутри выделенных магистральных направлений.

Автором поставлена задача в последующих статьях провести углубленный анализ природы выявленных «узких мест» с целью выработки возможных путей их устранения и повышения уровня клиентоориентированности ОАО «РЖД».

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор отрасли грузоперевозок в России 2019 год. [Электронный ресурс]: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/\\$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf). Доступ 02.02.2020.
2. Жикин А. Логистика отраслей и сегментов. – М.: ЛитРес: Самиздат, 2019. – 60 с.
3. Скорлыгина Н. Рост без активов. Логистические компании ждут быстрого развития рынка // Коммерсантъ. – 2019. – № 13 (6493). – 7 с. [Электронный ресурс]: <https://www.kommersant.ru/doc/3862169>. Доступ 02.02.2020.
4. Аслиев А. М., Завьялова Н. Б., Сагинова О. В., Спирин И. В., Скоробогатых И. И. и др. Маркетинговый подход к управлению качеством транспортного обслуживания: Монография / Под ред. Н. Б. Завьяловой, О. В. Сагиновой, И. В. Спириной. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2016. – 172 с.
5. Соколов Ю. И., Лавров И. М. Анализ динамики индекса качества транспортного обслуживания грузовладельцев // Корпоративное управление экономической и финансовой деятельностью на железнодорожном транспорте: Сборник трудов по результатам III Международной научно-практической конференции. – М.: РУТ (МИИТ). – 2019. – Вып. 17. – С. 83–86.
6. Стринковская А. С. Диагностика качества транспортного обслуживания на грузовых автотранспортных предприятиях // Техника и технологии строительства. – № 3 (11). – 2017. – С. 75–80.
7. Единая политика клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок. [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/456025278>. Доступ 02.02.2019.
8. Российский рынок Интернет-торговли к 2024 году достигнет 2,78 трлн руб. [Электронный ресурс]: <https://www.rbc.ru/business/13/03/2019/5c88f46a9a79479761da827d>. Доступ 02.02.2020.
9. Годовой отчёт 2018 АО «РЖД-Логистика». [Электронный ресурс]: <https://www.rzdlog.ru/upload/iblock/23e/23e15f4bc9e30e74a88a11d443d13624.pdf>. Доступ 02.02.2020.





Assessment of Quality of Service Provided to Private Consignors



Yusupova, Olga A., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Olga A. YUSUPOVA

ABSTRACT

According to experts, the volume of groupage cargo transportation market in Russia in 2019 ranged from 180 to 200 billion rubles. This segment of cargo transportation is developing in a continuous mode: there are more and more new delivery schemes balancing in the corridor of «price-time-service» parameters.

The principle of customer focus affects formation of standards for interaction of shippers with customers at various stages of service delivery. This requires identification and assessment of customer needs and their satisfaction.

The article analyzes a model of customer-oriented behavior of a transport and logistics company in a market environment. The RZD-Express service provided by JSC Russian Railways was chosen as the object of the study, the subject of the study is transportation of groupage cargo under contracts with private individuals – shippers. The choice of transport services for transportation of groupage cargo of private individuals as the subject of research was reasoned. This choice allows to overcome the problem of information confidentiality, organize a survey via the Internet, and provide feedback to form

objective assessment of the company's customer focus. The objective of this article is development of an author's methodology for analyzing quality of provision of services for transportation of goods to individuals from a customer-oriented perspective. In the process of achieving this objective, the author used methods of questioning and analysis of data. The following tasks were set and solved: substantiation of the need to develop a special methodology for analyzing quality of research services; development of the author's system of quality criteria; assessment on their basis by consumers using a questionnaire of the quality of these services, identification of bottlenecks and formulation of recommendations to improve quality of transport customer service.

The system of criteria for assessing quality of transportation, developed by the author, is formed with a focus on customer-oriented parameters, it can be used to assess quality of transport and logistics services by carriers of any mode of transport, the basic criteria can be expanded, subcriteria will be highlighted within each of them, which will allow for analysis in more detail following proposed main guidelines.

Keywords: transport, quality of transport services, quality criteria, cargo transportation, customer focus, groupage cargo.

*Information about the author:

Yusupova, Olga A. – Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Department of Finance and Credit of Russian University of Transport, Moscow, Russia, qwerty6020@mail.ru.
Article received 08.01.2020, accepted 24.02.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 214.

The need for a customer-oriented approach in transportation

According to various estimates, the volume of groupage cargo transportation market in Russia in 2019 ranged from 180 to 200 billion rubles [1]. This segment of cargo transportation is developing in a continuous mode: there are more and more new delivery schemes balancing in the corridor of «price–time–service» parameters.

If in Europe the classic delivery of groupage cargo involves the use of terminal lines (consolidation/deconsolidation of goods in warehouses) of carriers [2], then in Russia, due to the length of the territory and the wider geography of transportation, a more complex integrated approach to solving the issue of optimizing delivery of groupage cargo is required.

In Europe, the demand for this type of service encourages large and medium-sized companies to organize their own delivery lines for groupage cargo, ensuring complete transparency of movement of goods, the ability to control timing and cost of delivery [2]. At the same time, road transport is mainly involved in transportation, which entails multi-kilometer traffic jams on European routes, cargo delays. And the main problem of companies is violation of delivery terms, which reduces quality of the services provided.

In Russia, the range of tasks facing transport and logistics companies includes several segments:

- development of new products. A powerful driver for urgently solving these problems is the growth of groupage shipments from China to the Russian Federation and Europe, the growth of online commerce, and the increase in the number of goods in the LCL segment. This requires not only updating the product line, but also making large-scale business decisions that change the balance of power in the fight for the customer in the market as a whole. In an interview [3], the head of RZD-Logistics, V. Valentik, stated the possibility of «acquiring various logistics assets, including through M&A transactions», which indicates the company's readiness to invest in developing its client base in the Russian Federation and abroad, and also expand their own competencies. In the same interview, such major market leaders as DHL Express Russia, UTLC ERA, Major Cargo Service (operating division of Major Group of Companies), Altrans + and others also stated their desire to develop the delivery of groupage cargo;

- development of existing services – eliminating the causes of delays, loss damage, shortage of cargo;
- increasing flexibility and customer focus of cargo companies in the fight for the client in a highly competitive market.

The model of customer-focused behaviour in the market is as follows (Pic. 1).

The principle of customer orientation affects formation of standards for interaction of cargo carriers with customers at various stages of service delivery. This requires identification and assessment of customer needs and their satisfaction.

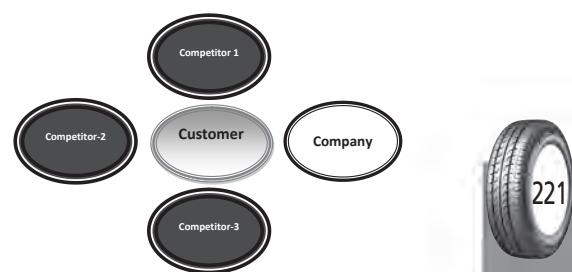
In the framework of this article, we will focus on assessment and analysis of the customer focus of JSC Russian Railways when providing services for transportation of groupage cargo using the service called RZD-express.

Methods of analysis of quality of groupage cargo transportation services

The author of the article has set *the objective* of developing a methodology for assessing quality of this type of service, analyzing it based on it, identifying bottlenecks and making recommendations for improving the customer focus of JSC Russian Railways. A detailed analysis of quality criteria, which received the lowest rating, involves writing a series of articles where a separate study will be devoted to each identified problem.

RZD-Express service was chosen as the object of the study, the subject of the study is transportation of groupage cargo under contracts with individuals: this helps to overcome the problem of information confidentiality, organize a survey via the Internet, and provide feedback to form an objective estimate of the company's customer focus.

The author of the article conducted a monographic study, reviewed the methods of analysis of quality of transport services proposed by such authors as V. Barabino, E. Deiana, E. Nathanail, R. Tilocca, A. M. Asaliev, N. B. Zavyalova, O. V. Saginova, I. V. Spirin, M. P. Gorodon, A. S. Zvereva, A. D. Molo-



Pic. 1. Customer-focused market (author's picture).



kovich, M. O. Suraeva, L. V. Eichler, Yu. I. Sokolov, I. M. Lavrov, A. S. Strinkovskaya, S. D. Ilyenkov, and others, as well as quality assessment criteria presented in the Single Customer Focus Policy of Russian Railways Holding Company [4–6].

To assess quality of transport services, these authors propose to calculate the quality index of transport services for cargo owners, which is determined as the arithmetic average based on the results of marketing research, to evaluate production and consumer quality of transport services using a system of coefficients and quality criteria, and to calculate the integral indicator of quality of transport services based on management data reporting.

For a number of reasons, the use of these methods to assess quality of transportation of groupage cargo under contracts with private shippers from the perspective of customer focus in full is impossible:

1) they contain indicators whose assessment for a private person is difficult due to low awareness and lack of special knowledge («availability of cars of the required type», «technical condition of cars», «supply of cars for loading/unloading on schedule», «high level of compliance with schedule of supply and removal of cars from non-public tracks», «completeness of satisfaction of demand for transportation», etc.);

2) quality indicators are mainly aimed at assessing production quality, which is not always obvious to the customer and affects the internal processes of the company more (degree of use, suitability, renewal and age of rolling stock, load rating, average travel distance, rolling stock unit productivity, etc.);

3) quality criteria duplicate each other within the same methodology (for example, in the Single Customer Focus Policy of Russian Railways Holding Company there are simultaneously such quality criteria as «Willingness to agree on special financial conditions of transportation» and «Pricing flexibility» [7]);

4) the criteria presented in the methods are insufficient to assess the requests of individuals and their degree of satisfaction.

Separately, it should be noted that existing methods do not pay attention to such an important area of studying consumers' opinions as estimate of significance of certain quality criteria for them, as opposed to just receiving feedback in the form of estimate of the criteria proposed in the questionnaire.

Stages of analysis and criteria for assessing quality of services

The study allows us to offer our own methodology for assessing quality of transport services for individual shippers (private consignors).

The method includes:

- criteria for assessing quality of services, adapted for individuals;
- interpretation and justification of criteria;
- ten-point scale for ranking the significance of criteria;
- a questionnaire for interviewing private consignors who used the RZD-Express service.

The proposed system of criteria is presented in Table 1. It most closely reflects consumer assessment of quality of services provided. This system can be used as a basis for formation of a list of questions for conducting a survey of shippers. The criteria are formulated in such a way as to, on the one hand, make them understandable to respondents who are individuals, and on the other hand, to allow assessment of quality of the service provided and to identify the composition of problems that need to be addressed from the point of view of consumers.

The author's methodology contains unique criteria that are absent in the above-mentioned methods and in the Single Customer Focus Policy of Russian Railways Holding Company, namely:

1) The possibility to remotely place an order for services on the carrier's website – in an era of total time saving, increasing the value of speed of processing services provided by development of remote services, is of particular importance [8]. The ability to design a turnkey service without leaving your home makes it attractive for a customer. Obtaining a high client rating by this criterion will allow us to formulate the conclusion that its order and documentation through the website does not cause difficulties and meets client expectations. In turn, a low score will serve as an indicator of the need to improve the mechanism for ordering services online.

2) Effective loyalty program – it is aimed at maintaining the existing customer base, due to availability of special offers, discounts, bonuses. In addition, such a program will attract potential customers, including those now served by other operators. A company can get a high score according to this criterion if the cargo carrier on a regular basis not only organizes various promotions, but also effectively ensures transparency of information about them and its availability to an

Table 1
Criteria of assessment by individual shippers of customer focus of JSC Russian Railways
(author's development)

Indicators of service quality	Indicators of service reliability	Financial indicators	Flexibility and ease of execution
Satisfaction with quality of services provided (geography of delivery, work schedule, convenient location, speed of delivery/acceptance of cargo, etc.)	Compliance with delivery time	Fair cost of services	Transparency of the mechanism of costing of services
Completeness of the list of additional services at the stages of preparation and provision of services	Ensuring safety of goods transported	Business reputation of a cargo carrier in the market	Possibility to remotely place an order for services through the website
Staff qualification level, friendly attitude towards the customer	Efficiency in solving customer problems	Effective customer loyalty program	Possibility of negotiating individual terms of transportation

unlimited number of customers. A low rating, on the contrary, will be evidence of either the absence of such programs, or their inefficiency, or consumer ignorance about them.

3) Transparency of the mechanism of costing is a criterion that illustrates the opinion of the consumer about how freely it is possible to track the pricing of services taking into account changes in various parameters included in the additional services section. The interpretation of high assessment of this criterion is as follows: the client as a whole understands the mechanism of costing of its services, the components of this cost, the service has a high degree of freedom in terms of varying these components. In turn, a low rating is a sign of vagueness in the understanding by the client of the pricing process.

To assess the quality of transport services, we consider it necessary, within the framework of the survey, to further rank the significance of the criteria in the questionnaire using a ten-point scale, in which 0 points are assigned to the criterion in case of absolute insignificance for the client, and 10 points are assigned to those to which the client pays special attention when choosing a cargo carrier.

The developed system of criteria was the basis for the questionnaire posted on the Internet using the Google-table service. The survey was conducted among 135 respondents from individuals who used the RZD-Express service as shippers for the period September–November 2019. The survey results can be seen in Pic. 2.

Conclusions and suggestions

According to the results of the survey, the criterion «Financial stability of the cargo carrier» was highly rated, which, according to the respondents, is 75 points out of 100,

with a high significance of 8 points. The result of assessment obtained by the researcher according to this criterion can be considered quite natural, since the company RZD-Logistics is rightfully considered one of the leaders in the transport and logistics market, which has proven its worth to consumers over more than ten years of its existence. The net profit of the organization has increased by almost 20 % over the past two years.

As can be seen in the picture, the criterion «Safety of goods transported» received a high rating of 84 points, with its significance of 7 points. Such an estimate is also a natural consequence of the company's policy in the field of tracking and control of cargo safety at all stages of transportation, which is mentioned in the annual report of JSC RZD-Logistics [9].

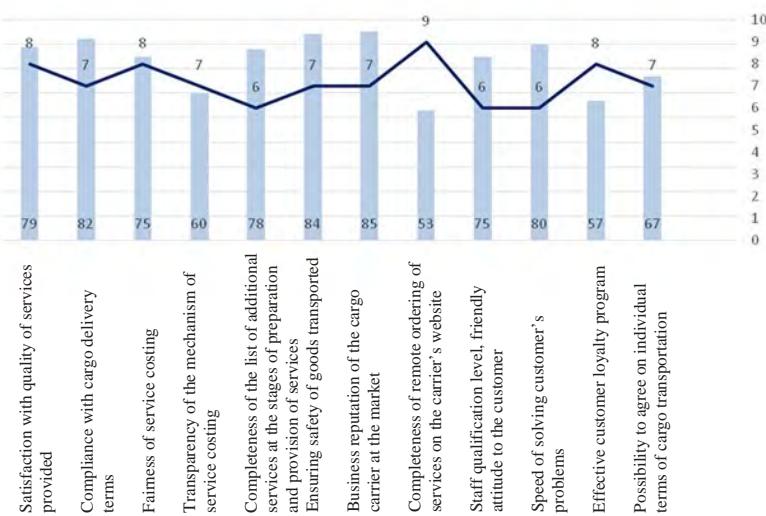
According to the results of the questionnaire, it became possible to identify a number of «bottlenecks» that require a more detailed analysis. Among them, first of all, attention should be paid to a rather low assessment by consumers of «possibility of remote ordering services through the website», which amounted to only 53 points, with a high significance of 9 points. The obtained result for the researcher serves as an indisputable signal about the need for a detailed analysis of the mechanism for providing services to consumers on the website of RZD-Logistics, comparing this mechanism with the most successful examples of the transport and logistics market, and developing a set of recommendations for modernizing the website.

The criterion «Effective customer loyalty program» (57 points) received a low rating of respondents, with a significance of 8 points. The





Pic. 2. The results of the survey among respondents (compiled by the author based on the results of the survey).



obtained result indicates the need to revise the discount program provided to individual shippers, to consider the possibility of introducing a bonus program, a system for notifying customers about existing promotions and discounts.

Summarizing the study, we note that the methodology proposed in it for assessing quality of transport services for individual shippers allows the cargo carrier to analyze its strengths and weaknesses, see its activities through the eyes of the customer from the point of view of his satisfaction and adequately choose ways to increase quality of the services provided.

The proposed system of criteria for assessing quality of transportation is formed with a focus on customer-focused parameters, it can be used to assess quality of transport and logistics services by a carrier using any mode of transport, the system of basic criteria can be expanded, identification of subcriteria inside basic criteria will allow for more detailed analysis following main guidelines.

The author has set the task to conduct and publish an in-depth analysis of the nature of the identified bottlenecks in order to develop possible ways to address them and increase the level of customer focus of JSC Russian Railways.

REFERENCES

1. Overview of cargo transportation industry in Russia 2019 [Obzor otrasi gruzoperevozok v Rossii 2019 god]. [Electronic resource]: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/\\$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-transportation-services-2019-rus/$FILE/ey-transportation-services-2019-rus.pdf). Last accessed 02.02.2020.

2. Zhikin, A. Logistics of industries and segments [Logistika otrasi i segmentov]. Moscow, LitRes: Samizdat, 2019, 60 p.

3. Skorlygina, N. Growth without assets. Logistics companies are waiting for rapid development of the market [Rost bez aktivov. Logisticheskie kompanii zdut bystrogo razvitiya rynka]. *Kommersant*, 2019, Iss. 13 (6493), 7 p. [Electronic resource]: <https://www.kommersant.ru/doc/3862169>. Last accessed 02.02.2020.

4. Asaliev, A. M., Zavyalova, N. B., Saginova, O. V., Spirin, I. V., Skorobogatykh, I. I. [et al]. Marketing approach to quality management of transport services: Monograph [Marketingoviy podkhod k upravleniyu kachestvom transportnogo obsluzhivaniya: Monografiya]. Ed. by N. B. Zavyalova, O. V. Saginova, I. V. Spirin. Novosibirsk, TsRNS Publishing House, 2016, 172 p.

5. Sokolov, Yu. I., Lavrov, I. M. Analysis of the dynamics of the index of quality of transport services for cargo owners [Analiz dinamiki indeksa kachestva transportnogo obsluzhivaniya gruzovladelcav]. *Corporate Governance of Economic and Financial Activities in Rail Transport: Proceedings based on the results of 3rd International Scientific and Practical Conference*. Moscow, RUT (MIIT), 2019, Iss. 17, pp. 83–86.

6. Strinkovskaya, A. S. Diagnostics of quality of transport services at cargo motor transport enterprises [Diagnostika kachestva transportnogo obsluzhivaniya na gruzovykh avtotransportnykh predpriyatiyakh]. *Tekhnika i tekhnologii stroitelstva*, Iss. 3 (11), 2017, pp. 75–80.

7. The Single Customer Focus Policy of Russian Railways Holding Company in the field of Cargo Transportation [Edinaya politika klientoorientirovannosti kholdinga RZD v oblasti gruzovykh perevozok]. [Electronic resource]: <http://docs.ctnd.ru/document/456025278>. Last accessed 02.02.2019.

8. The Russian Internet-trading market will reach 2,78 trillion rubles by 2024 [Rossiiskiy rynok Internet-torgovli k 2024 godu dostignet 2,78 trln rub.]. [Electronic resource]: <https://www.rbc.ru/business/13/03/2019/5c88f46a9a79479761da827d>. Last accessed 02.02.2020.

9. Annual report for 2018 of JSC RZD-Logistics [Godovoy otchet 2018 AO «RZD-Logistika»]. [Electronic resource]: <https://www.rzdlog.ru/upload/iblock/23e/23e15f4bc9e30e74a88a11d443d13624.pdf>. Last accessed 02.02.2020.



**ТРАНСПОРТНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ:
ИСТОРИЧЕСКИЙ
АСПЕКТ**

226

Институт экономики и
финансов Российской
университета транспорта:
экскурс в недалёкое прошлое
и взгляд на современность.



**ОБЩЕСТВЕННАЯ
ДИСКУССИЯ:
КАК ЭТО БЫЛО
СТО ЛЕТ
ТОМУ НАЗАД**

245

Вопросы строительства и
включения железных дорог,
трамваев, метрополитена в
единую транспортную сеть
Санкт-Петербурга и его
пригородов вызывали бурную
полемику.

КОЛЕСО ИСТОРИИ • HISTORY WHEEL

**TRANSPORT
EDUCATION:
HISTORICAL
ASPECTS**

236

*Institute of Economics and
Finance of Russian University
of Transport: excursus to the
recent past and modernity.*

**PUBLIC DISCUSSION:
AS IT PASSED
100 YEARS AGO**

252

*The issues of construction
and integration of railways,
trams, and metro into the
single transportation network of
St. Petersburg and its suburbs
provoked a vivid controversy.*





Институт экономики и финансов Российского университета транспорта: вехи становления и развития



Соколов Юрий Игоревич – Российской университет транспорта, Москва, Россия.*

Юрий СОКОЛОВ

В статье рассмотрены основные этапы развития Института экономики и финансов Российского университета транспорта. Представлены краткие сведения об изменениях статуса и структуры института, результатах его научной и педагогической деятельности, известных учёных-экономистах транспорта, работающих в институте.

ИЭФ является одним из ведущих институтов, ведет подготовку специалистов, бакалавров и магистров по направлениям «Экономика», «Менеджмент», «Торговое дело», «Бизнес-информатика», «Прикладная информатика», «Лингвистика».

Статья приурочена к 90-летию основания Института.

Ключевые слова: транспорт, отраслевое образование, научная школа, история экономики транспорта, Российской университет транспорта, Институт экономики и финансов.

*Информация об авторе:

Соколов Юрий Игоревич – доктор экономических наук, профессор, директор Института экономики и финансов Российского университета транспорта, Москва, Россия, jurysokolov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 27.02.2020, принятая к публикации 19.04.2020.

For the English text of the article please see p. 236.

С развитием транспорта в XIX веке возникла широкая потребность не только в инженерных, но и экономических кадрах для отрасли. На первых порах индустриального развития граница между техническими и экономическими расчётами была не всегда очевидной, и последние зачастую производились проектировщиками, строителями, специалистами по эксплуатации путей сообщения.

В отличие от практиков, специалисты по теории и методологии экономических вычислений на транспорте, как правило, формировались из числа экономистов, финансистов и статистиков общего профиля (достаточно вспомнить хорошо известные примеры С. Ю. Витте и А. И. Чупрова).

В 20–30-е годы XX века в ряде крупных экономических вузов общего профиля появились транспортные специализации.

Однако такая ситуация не позволяла массово готовить квалифицированных экономистов, работающих на основе единых методик и владеющих основами техники и технологии транспортных процессов в достаточной степени, чтобы понимать источники формирования затрат и результатов при принятии управленческих решений. Подготовка именно таких специалистов стала жизненно необходимой для народного хозяйства в период проведения индустриализации. В связи с этим 29 мая 1930 года приказом Народного комиссара путей сообщения Я. Э. Рудзутака был создан Московский транспортно-экономический институт. Перед институтом была поставлена задача подготовки высококвалифицированных экономистов для железнодорожного, морского, речного и автодорожного транспорта. В числе факультетов института помимо планового были железнодорожный, водный и автодорожный факультеты, включавшие кафедры по сооружению, содержанию и эксплуатации объектов соответствующего вида транспорта.

Кроме того, ряд кафедр относился к институтскому подчинению (кафедры политической экономии, экономической географии, конкретных экономик, планирования, экономики транспорта, экономики труда, финансирования и счетоведения и др.).

На железнодорожном факультете, первым деканом которого был доцент В. А. Егоров, обучение студентов проводилось по

четырём специальностям: планово-экономической, финансовой, экономике труда и учётно-статистической.

Первыми преподавателями МТЭИ были профессора А. Е. Гибшман, А. С. Чудов, И. В. Ивлиев, доценты В. Э. Умбляя, М. П. Романов, П. А. Саранцев, Н. И. Сидорович, М. А. Грацианский. С первых дней существования в МТЭИ для подготовки педагогических кадров была создана аспирантура. Первыми аспирантами были В. М. Романов, И. М. Никольский, Ф. И. Железнов, М. А. Скоробогатов и Н. И. Пыхов. Аспиранты, оказывая помощь руководству института, проводили большую работу по организации приёма, сплочению коллектива студентов на строительных работах, подготовке учебных планов для железнодорожного, водного и автодорожного факультетов, программ и другой учебной документации.

К 5 сентября 1930 года новый вуз завершил комплектование и приступил к учебному процессу. Институт размещался в районе метро Сокол, обучение велось в баракном здании, общежитие находилось в вагонах на станции Подмосковная.

В этом же году состоялся и первый выпуск: приказом № 71 от 23 ноября 1930 года четырём выпускникам-досрочникам железнодорожного факультета была присвоена квалификация инженера-экономиста транспорта.

За период с 1930 по 1933 год Транспортно-экономический институт подготовил 370 инженеров-экономистов.

Приказом НКПС от 15 июня 1933 года Транспортно-экономический институт совместно с Московским эксплуатационным институтом инженеров железнодорожного транспорта (МЭИИТ), Московским институтом нового железнодорожного строительства (МИИНЖС) были объединены в Московский институт инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ), МТЭИ вошёл в состав объединённого вуза в виде Инженерно-экономического факультета.

Инженерно-экономический факультет МИИТ работал до 1941 года, когда вуз был эвакуирован в Новосибирск. В военное время в эвакуационных условиях подготовка инженеров-экономистов велась на инженерно-строительном факультете.





В годы Великой Отечественной войны преподаватели и студенты Инженерно-экономического факультета вступили добровольцами в действующую армию, работали на предприятиях Москвы и в госпиталях.

Экономический факультет в МИИТ был восстановлен в 1943–1944 учебном году.

В целях обеспечения железнодорожного транспорта кадрами экономистов Совет Министров СССР своим постановлением от 2 августа 1948 г. разрешил МПС СССР восстановить с 1 сентября 1948 г. Московский транспортно-экономический институт.

Его руководителем стал профессор С. К. Данилов. Позднее институт возглавляли Я. М. Жуковский, профессора А. К. Шубников, В. В. Повороженко, Д. Ф. Парфёнов и доцент Г.А. Чумаченко. Подготовка инженеров-экономистов и экономистов для железнодорожного транспорта проводилась по специальностям: планирование и организация перевозок; организация грузовой и коммерческой работы; экономика и организация снабжения; финансирование и учёт.

Во исполнение постановления Совета Министров СССР от 29 августа 1958 г. «Об упорядочении сети вузов и сокращении контингента студентов в г. Москве» и приказа министра путей сообщения СССР от 3 сентября 1958 г. было признано целесообразным объединить МТЭИ с МИИТ. МТЭИ вновь влился в МИИТ в качестве Инженерно-экономического факультета (ИЭФ).

Деканом объединённого факультета в 1958 г. был назначен профессор С. К. Данилов. Он возглавлял факультет до 1962 г. С 1962 по 1980 г. деканом был профессор И. В. Белов, с 1980 по 1985 г. профессор В. Я. Шульга, с 1985 по 1997 год – профессор М. Е. Мандриков.

В этот период стали оформляться научные школы в области экономических исследований на транспорте, учёными ИЭФ были созданы крупные научные разработки, используемые в хозяйственной практике в трансформированном и усовершенствованном виде до сих пор: методика расчёта себестоимости перевозок методом расходных ставок (А. С. Чудов), методика оценки по участковых затрат на перевозки (И. В. Белов, М. Е. Мандриков, А. М. Шульга,

Н. Г. Смехова и др.), методика оптимального размещения производительных сил по критерию минимизации транспортных затрат (Е. Д. Хануков), методика оптимального планирования грузопотоков (В. Г. Галабурда), методика оценки эффективности капиталовложений на железнодорожном транспорте (Б. А. Волков, М. Ф. Трихунков, В. А. Дмитриев, А. Д. Шишков и др.) и многие другие.

Большое научное и методическое значение имело обобщение фундаментальных экономических положений и передовой практики в многочисленных учебниках, подготовленных в тот период: «Экономическая география транспорта» (С. К. Данилов, 1974 г.), «Экономика железнодорожного транспорта» (коллектив авторов под руководством Е. Д. Ханукова (1979 г.) и И. В. Белова (1989 г.), «Статистика железнодорожного транспорта» (под редакцией Т. И. Козлова и А. А. Поликарпова, 1981 и 1990 гг.), «Себестоимость железнодорожных перевозок» (А. С. Чудов, А. М. Шульга, Н. Г. Смехова и др.). В. Я. Шульгой, А. Д. Шишковым, Ю. Д. Петровым, Р. М. Царёвым, А. И. Купоровым и другими профессорами и доцентами были разработаны учебники по экономике отдельных подсистем железнодорожного транспорта: путевого комплекса, локомотивных и вагонных депо, заводов по ремонту подвижного состава, линейных предприятий железных дорог и др.

Большое значение до настоящего времени имеют монографии, осмысливающие опыт развития экономической теории и управленческой практики на железнодорожном транспорте СССР, например, «Экономическая теория транспорта в СССР» (И. В. Белов и В. А. Персианов, 1993 г.).

В 1993 году МИИТ получил статус университета и новое название – Московский государственный университет путей сообщения. В ходе проводимой в университете в конце 1990-х–начале 2000-х годов административной реформы было проведено укрупнение факультетов и преобразование их в институты с приданием дополнительных функций (дополнительное профессиональное образование, административно-хозяйственная и экономическая деятельность и др.). Пилотным проектом данной реформы стало преобразование Инженер-

но-экономического факультета в Институт экономики и финансов, при этом была сохранена традиционная аббревиатура – ИЭФ. Первым директором стал профессор М. Е. Мандриков (1997 год), после его безвременной кончины институт возглавила профессор Н. П. Терёшина (1997–2004 гг.), в 2004–2017 годах институтом руководил старший научный сотрудник В. П. Чуприков. В 2017 году институт возглавил профессор Ю. И. Соколов.

Переход нашей страны к рыночной экономике в начале 1990-х гг. сформировал спрос на новые экономические знания и компетенции. Реагируя на запросы общества и экономики, кафедры ИЭФ стали разрабатывать и включать в учебные планы такие новые дисциплины, как «Маркетинг», «Менеджмент», «Биржевое дело», «Инвестиции» и др. Для чтения лекций на высоком научно-методическом уровне преподаватели ИЭФ активно повышали свою квалификацию, проходили профессиональную переподготовку, к учебному процессу привлекались экономисты-практики, успешно освоившие новую систему экономических отношений. В ИЭФ были открыты новые специальности, такие, как «Коммерция», «Предпринимательство», количество обучающихся существенно увеличилось в связи с открытием платного набора.

В 1995 году профессор кафедры «Экономика и управление на транспорте» Р. М. Царёв получил дополнительное образование по финансовому и банковскому профилю и в соответствии с решением учёного совета университета лицензировал подготовку финансовых и банковских работников, создал новую выпускающую кафедру «Банковское дело», через год переименованную в «Финансы и кредит». По инициативе профессора В. Г. Галабурды была открыта специальность «Маркетинг», по инициативе профессора Н. П. Терёшиной – «Мировая экономика». Важно отметить, что эти и другие специальности были открыты по соглашению с учредителем – Министерством путей сообщения, с выделением на них бюджетных мест и выдачей выпускникам диплома государственного образца.

На железнодорожном транспорте в этот период шли трудный поиск и апробация методов работы в рыночной среде. Это создавало условия для эффективного приме-

нения на железных дорогах идей, выдвигаемых учёными ИЭФ, сплочения экономической теории и практики. Наши учёные в этот период подтвердили своё лидерство в исследовании вопросов управления затратами, стимулирования сбыта транспортных услуг, формирования финансовых моделей грузовых и пассажирских перевозок и других актуальных научных проблем.

Важнейшим направлением работы института с момента его основания является экономика транспортного комплекса и его подсистем (оценка затрат и результатов, связанных с перевозочным процессом, ценообразование на перевозки и сопутствующие услуги, прогнозирование и стимулирование спроса на перевозки и др.). Педагогическую и научно-исследовательскую работу в данном направлении ведет кафедра «Экономика и управление на транспорте» (ранее – «Экономика транспорта», созданная одновременно с институтом в 1930 году).

Первый заведующий кафедрой – профессор И. В. Ивлиев. В последующие годы кафедру возглавляли кандидаты экономических наук Л. С. Черкасский, В. И. Ледовский, академик Т. С. Хачатуров, профессора С. К. Данилов, Е. Д. Хануков (1962–1974 гг.) и И. В. Белов (1974–1989 гг.), М. Е. Мандриков (1989–1997 гг.), В. Г. Галабурда (1997–2002 г.), с 2002 г. кафедру возглавляет профессор Н. П. Терёшина. Кафедра реализует широкий круг образовательных программ бакалавриата и магистратуры, имеющих как транспортную, так и общеэкономическую направленность. Кафедра является одним из лидеров университета в области научных исследований, её разработки заказывают департаменты экономики, экономической конъюнктуры и стратегического развития, маркетинга и тарифной политики ОАО «РЖД», а также другие транспортные организации.

Ещё одним традиционным и исключительно важным направлением работы учёных и педагогов ИЭФ является экономическое сопровождение технических и технологических разработок на транспорте (технико-экономическое обоснование инвестиционных проектов, оценка их экономической эффективности и т.п.). Выполнением данных задач занимается кафедра «Экономика транспортной инфраструктуры



и управление строительным бизнесом», основанная в 1954 году под названием «Экономика строительного производства».

Основателем и первым руководителем кафедры был представитель известной династии учёных-транспортников, доктор технических наук, профессор А. Е. Гибшман. Он возглавлял кафедру до 1970 г. С 1970 по 1992 г. заведующим кафедрой был заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В. Я. Шульга.

В 1992–2012 гг. кафедру возглавлял профессор Б. А. Волков. В настоящее время кафедру возглавляет профессор Д. А. Мачерет, являющийся также первым заместителем председателя Объединённого учёного совета ОАО «Российские железные дороги».

Кафедра многократно разрабатывала методики оценки экономической эффективности инвестиций на транспорте, принятые и утверждённые МПС России, ОАО «Российские железные дороги» и другими транспортными организациями.

В своей научной и педагогической деятельности кафедра успешно взаимодействует с профильными департаментами ОАО «РЖД», ОАО «Трансмашхолдинг», ПАО «Мостотрест» и другими транспортными и строительными организациями.

Основой любой экономической деятельности, как научной, так и практической, является учёт затрат и результатов, производственных показателей, материальных и нематериальных активов и т.п. Понимание этого факта привело к созданию в МТЭИ в 1931 г. кафедры «Статистика и учёт». Она объединяла все счётно-статистические дисциплины, преподававшиеся в институте: теорию статистики, статистику железнодорожную и промышленную, автодорожного, водного транспорта и труда, теорию бухгалтерского учёта, бухгалтерский учёт и анализ бухгалтерского баланса по видам транспорта. Первым руководителем кафедры был профессор Л. В. Некраш (1931–1932 гг.), в последующие годы кафедру возглавляли доценты Ф. А. Пузанов, М. П. Романов, профессора И. В. Кочетов, Т. И. Козлов. В 1948 г. из состава кафедры выделилась кафедра «Бухгалтерский учёт и себестоимость», которую до 1959 г. возглавляли доценты А. С. Чудов, В. Э. Умбilia и А. П. Поликарпов.

Кафедра «Финансирование и бухгалтерский учёт» была организована в 1959 г. после объединения кафедры «Бухгалтерский учёт и себестоимость» с кафедрой «Финансирование железных дорог» (год основания – 1952). Её заведующим с 1959 по 1984 год был профессор, доктор экономических наук Н. Г. Винниченко. С 1984 по 1988 год кафедру возглавлял кандидат экономических наук, профессор В. Ф. Данилин.

В 1988 году кафедры «Финансирование и бухгалтерский учёт» и «Статистика и учёт» были объединены в одну – «Бухгалтерский учёт и статистика». Объединённую кафедру до 2015 года возглавлял профессор В. Ф. Данилин.

В 2013 году для подготовки высококвалифицированных специалистов в области международного финансового и управленического учёта и международных стандартов финансовой отчётности, аккредитованных Международной ассоциацией профессиональных бухгалтеров (ACCA), в институте была создана кафедра «Международный финансовый и управленический учёт». Кафедру возглавила главный бухгалтер ОАО «РЖД», д.э.н., профессор Г. В. Крафт. В 2016 году кафедра была объединена с кафедрой «Бухгалтерский учёт и статистика» (в части бухгалтерских дисциплин, статистические дисциплины были переданы на кафедру «Информационные системы цифровой экономики»). С 2018 года кафедру возглавляет к.э.н., доцент Е. З. Маккеева, по совместительству исполняющая обязанности заместителя директора института по дополнительному профессиональному образованию.

Кафедра успешно сотрудничает с Бухгалтерской службой ОАО «РЖД», рядом дочерних компаний, международными профессиональными сообществами, такими, как Ассоциация дипломированных сертифицированных бухгалтеров (ACCA) и др.

Объёмы вычислений, необходимых в работе экономиста на транспорте, всегда были значительными, прежде всего из-за масштабов отрасли. Поэтому попытки механизации и автоматизации таких работ предпринимались достаточно давно. В связи с этим ещё в 1940 году в ИЭФ на кафедре «Статистика и учёт», началась подготовка специалистов по механизации учёта и вы-

числительных работ. В 1961 г. образована кафедра «Механизация учёта и вычислительных работ». Первым руководителем кафедры был профессор, доктор экономических наук В. И. Исаков, один из выдающихся специалистов по механизации бухгалтерского учёта. В 1967 г. кафедра получила наименование «Механизированная обработка экономической информации», а в 1969 г., после выделения кафедры «Средства механизированной обработки экономической информации» (СМОЭИ) — «Автоматизированные системы планирования и учёта» (АСПУ). Кафедрой СМОЭИ с 1969 по 1985 г. руководил профессор, доктор экономических наук Н. М. Сурин, ведущий специалист по механизации бухгалтерского учёта. С 1976 по 1984 г. кафедрой АСПУ руководил профессор, доктор экономических наук С. А. Абрамов, крупный специалист в области обоснования больших сложных систем.

В 1985 г. на базе двух кафедр (АСПУ и СМОЭИ) организована кафедра «Организация машинной обработки экономической информации» (ОМОЭИ), которую до 1996 г. возглавлял профессор Б. Н. Макаровский.

В 1996–2016 годах кафедру возглавлял доцент О. А. Григорьев. Кафедра в этот период называлась «Информационные системы в экономике», затем — «Экономическая информатика». В настоящее время кафедра носит название «Информационные системы цифровой экономики», её возглавляет профессор Л. А. Каргина. По инициативе кафедры в университете была лицензирована специальность «Прикладная информатика» (специализация «Прикладная информатика в экономике»). В настоящее время кафедра ведёт подготовку бакалавров и магистров по прикладной и бизнес-информатике, широко сотрудничает с отечественными и зарубежными организациями в сфере цифровизации экономических процессов (SAP, Лига цифровой экономики и др.).

В 1990-е годы по мере развития рыночных отношений и формирования банковского и финансового сектора экономики стал формироваться спрос на специалистов, имеющих финансовые компетенции. В связи с этим в 1995 году в ИЭФ была создана кафедра «Финансы и кредит». Её основате-

лем и первым заведующим стал профессор Р. М. Царёв (1995–2000 гг.), затем кафедрой заведовали профессора Р. А. Кожевников (2000–2015 гг., в настоящее время профессор кафедры), Ю. И. Соколов (2015–2017 гг., в настоящее время — директор института). С 2017 года кафедрой заведует профессор З. П. Межох. Кафедра первой в институте и университете в 1999 году перешла на подготовку бакалавров и магистров, преподавателями кафедры под руководством профессора И. Н. Дедовой в 2007 году была организована подготовка по программам второго высшего образования по направлению «Экономика», к которой позже присоединились некоторые другие кафедры института. На кафедре в 2014 году была начата подготовка специалистов по программе «Экономическая безопасность», с 2016 года кафедра участвует в дистанционной подготовке магистров.

Ключевыми партнёрами кафедры являются АО «Федеральная грузовая компания», АО «Федеральная пассажирская компания», банк ПАО «ВТБ» и другие транспортные и финансовые организации.

С учётом потребностей транспортной отрасли и запросов абитуриентов в 2009 году в институте была воссоздана существовавшая ещё в 1930-е годы кафедра «Экономика труда и управление человеческими ресурсами». Первым заведующим кафедрой стал д.т.н., профессор Н. М. Шеремет (в настоящее время профессор данной кафедры). С 2011 года кафедру возглавляет к.э.н., доцент И. А. Епишкин (с 2019 г. — также директор Российской академии путей сообщения в составе РУТ (МИИТ)). При реализации образовательных программ кафедра широко взаимодействует с профильными департаментами ОАО «РЖД» (Департамент по организации, оплате и мотивации труда, Департамент управления персоналом), в том числе с привлечением корпоративных студенческих групп, набираемых из работников компаний. В 2018 году кафедрой был проведён первый набор студентов на новую программу «50 на 50», в рамках которой ОАО «РЖД» оплачивает студенту половину стоимости обучения и после его окончания предоставляет рабочее место по полученной специальности.

С целью широкого внедрения в учебный процесс современных образовательных



технологий (в том числе дистанционных) в 2015 году в структуре института создана кафедра «Современные технологии социально-экономического образования». Первым заведующим кафедрой стал к.э.н., доцент А. А. Награльян. В настоящее время кафедрой заведует к.э.н., доцент И. И. Соколова. Разработки кафедры в области цифровых образовательных технологий широко используются не только в институте. Заказчиком выполняемых кафедрой работ в области виртуальной и дополненной реальности является ОАО «РЖД» как в области экономики, так и в части техники и технологии транспортных процессов. В активе кафедры множество медалей и дипломов победителей общероссийских и отраслевых выставок по цифровой трансформации на транспорте и в образовании. В 2019 году именно образовательная платформа, созданная кафедрой, выбрана для разработки и реализации программ повышения квалификации в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автодороги».

В 2018 году в институт вернулась кафедра «Экономика, организация производства и менеджмент», выделенная в 1962 году из состава кафедры «Экономика транспорта» для преподавания экономических дисциплин на технических специальностях. С тех пор кафедру возглавляли профессора С. К. Данилов (1962–1974 гг.), В. А. Дмитриев (1974–1989 гг.), А. Д. Шишков (1989–1996 гг.), И. С. Беседин (1997–2002 гг.), А. В. Болотин (2002–2007 гг.), Г. В. Бубнова (2008–2019 гг.). В настоящее время кафедрой заведует д.э.н., профессор О. В. Ефимова, по совместительству исполняющая обязанность заместителя директора института по научной работе. Кафедра активно ведёт научные исследования и реализует программы дополнительного профессионального образования в области цифровизации бизнес-процессов, организации бережливого производства на транспорте. Среди партнёров кафедры – Центр фирменного транспортного обслуживания и департамент корпоративной информатизации ОАО «РЖД», другие транспортные организации.

За последние два десятилетия в состав института вошёл ряд общеуниверситетских кафедр. Кафедра «Прикладная математи-

ка-2» (в настоящее время – «Математика») традиционно преподавала математические дисциплины для экономистов. Долгие годы кафедру возглавлял учёный с мировым именем, член Сент-Джонс колледжа (Кембридж, Великобритания), д.ф.-м.н., профессор заслуженный деятель науки Российской Федерации Ф. И. Карпелевич, в сферу научных интересов которого входила, помимо прочего, разработка математических методов в экономике. В настоящее время кафедру возглавляет к.т.н., доцент Л. Ф. Кочнева, преподаватели кафедры среди прочих дисциплин преподают эконометрику, финансовую математику, методы оптимальных решений.

В состав ИЭФ вошла и старейшая кафедра университета, ведущая свою историю с момента его основания, – «Политическая экономия» (в настоящее время «Экономическая теория и мировая экономика»). В течение многих лет кафедру возглавлял крупный учёный, д.э.н., профессор А. В. Орлов. Затем кафедрой заведовали доценты А. Г. Войтов и Л. Ф. Павлюкова. В настоящее время кафедрой заведует к.э.н., доцент М. А. Яковлева. Коллектив кафедры помимо преподавательской деятельности работает над приложением экономических законов к транспорту с учётом отраслевой специфики, а также методически содействует совершенствованию и реализации образовательных программ по мировой экономике.

В институт также перешла кафедры «Лингвистика», которую возглавляет д.ф.н., профессор Л. А. Чернышова. Кафедра является единственной выпускающей среди языковых кафедр университета, она готовит специалистов по лингвистике и межкультурной коммуникации. Преподаватели кафедры также содействуют развитию соответствующих навыков у преподавателей института, что позволило с 2018 года приступить к реализации магистерской программы «Управление бизнесом», реализуемой на английском языке. Велика роль преподавателей кафедры и в осуществлении международной деятельности в ИЭФ.

К основным видам деятельности института в настоящее время относятся:

- учебная работа, координируемая учебным отделом (деканатом) под руководством первого заместителя директора к.э.н., доцента И. М. Лаврова.

- научная работа, курируемая заместителем директора, д.э.н., профессором О. В. Ефимовой и ответственным за студенческую науку, к.э.н., доцентом О. А. Юсуповой;

- учебно-методическая работа, возглавляемая заместителем директора, к.ф.-м.н., доцентом М. В. Ишханян;

- дополнительное профессиональное образование для преподавателей и практических работников транспортного комплекса (заместитель директора, к.э.н., доцент Е. З. Макеева);

- воспитательная работа со студентами и молодёжная политика (заместитель директора А. С. Матвеева);

- международная деятельность (заместитель директора Л. Б. Рыбаков).

Помимо научной работы, осуществляющейся преподавателями на кафедрах института, значительные объёмы исследований ведутся в специализированных научных и учебно-научных лабораториях.

Учебно-научная лаборатория «Экономика инноваций на транспорте», входящая в состав кафедры «Экономика и управление на транспорте», была создана в 1958 году как Сектор технико-экономических исследований. В разное время Сектор возглавляли В. Г. Галабурда, Е. Б. Бабошин, М. В. Сугробова, В. А. Подзорин. Основные научные исследования сектора были связаны с рационализацией перевозок различных грузов, расчётом себестоимости перевозок грузов. В настоящее время лабораторию возглавляет с.н.с. Н. М. Шишкина, исследования ведутся в области эффективности внедрения инноваций на транспорте, совершенствования тарифной политики, управления затратами и т.п.

Учебно-научная лаборатория «Моделирование бизнес-процессов» была создана в 1967 году под названием «Автоматизация бухгалтерского учёта». Значительный вклад в развитие лаборатории внесли возглавлявшие её старшие научные сотрудники В. П. Чуприков (также проректор МИИТа и директор ИЭФ) и В. Г. Дедов.

В настоящее время лабораторию возглавляет с.н.с. А. Н. Буторин.

Среди разработок лаборатории – автоматизированные рабочие места бухгалтеров, системы электронной бухгалтерии линейных предприятий железнодорожного транс-

порта, программные комплексы по учёту различных видов ресурсов, подвижного состава и т.п., внедрённые в ОАО «РЖД» и в филиалах компаний.

В составе ИЭФ в 2005 году была создана Высшая транспортная бизнес-школа – подразделение, реализующее программы бизнес-образования для работников транспортного комплекса. За 15 лет существования ВТБШ выпущено более 500 слушателей МВА, многие из которых стали крупными руководителями в транспортных организациях. Руководит данным направлением профессор З. П. Межох.

В 2018 г. по инициативе профессора О. В. Ефимовой в составе института был образован научно-образовательный центр «ЛИН-академия», сотрудники которого занимаются научным обоснованием и внедрением методов выявления и устранения потерь при реализации бизнес-процессов транспортных компаний, а также реализация программ дополнительного профессионального образования в данной сфере.

В настоящее время ИЭФ готовит специалистов, бакалавров и магистров по направлениям «Экономика», «Менеджмент», «Торговое дело», «Бизнес-информатика», «Прикладная информатика», «Лингвистика».

Институт, как и весь университет, в соответствии с Указом Президента РФ от 13 апреля 2018 года № 156 проводит обучение по самостоятельно утверждаемым образовательным стандартам. Все образовательные программы института являются оригинальными, их содержание и методы реализации, как правило, соответствуют лучшим отечественным образцам. Среди общей массы программ особенно интересными представляются следующие:

- специалитет «Экономическая безопасность» (специализация «Финансово-экономическое обеспечение федеральных государственных органов, обеспечивающих безопасность Российской Федерации») – уникальная для направления «Экономика» программа с традиционным пятилетним сроком обучения, одна из наиболее востребованных у абитуриентов;

- бакалавриат и магистратура «Международный финансовый и управленический учёт», реализуемые одноимённой кафедрой, аккредитованные Ассоциацией дипломи-

рованных сертифицированных бухгалтеров (ACCA) и включающие подготовку к сдаче 9 из 14 ступеней экзамена ACCA, что является уникальным в России;

- англоязычная магистерская программа «Управление бизнесом», реализуемая кафедрой «Экономика и управление на транспорте» с привлечением преподавателей других кафедр института. Всё обучение ведётся на английском языке, в настоящее время подписано соглашение о программе двойного диплома с Высшей школой техники и экономики (г. Дрезден, Германия) на базе данной программы;

- программы с сокращёнными сроками обучения на базе среднего специального образования, реализуемые в рамках направления «Экономика» бакалавриата, позволяют студентам освоить учебную программу за 3,5 года, обучаясь по субботам, что даёт возможность успешно совмещать учёбу с работой;

- ряд программ реализуются с дистанционной технологией обучения, что удобно для работников транспортной отрасли, повышающих свой образовательный уровень. Полная унификация аудиторных и дистанционных программ позволяет нашим студентам-очникам не бросать учёбу в случае, если они устроятся на работу или переедут в другой город;

- обучение по программе «Прикладная информатика» включает программу двойного диплома с Университетом прикладных наук г. Аугсбурга (Германия).

Научная и учебно-методическая рабо-
та института находит отражение в боль-
шом объёме публикаций. Ежегодно из-под
пера сотрудников ИЭФ выходит более 100
статьей в ведущих отечественных рецензи-
руемых журналах и более 50 – в журналах,
входящих в международные базы цитиро-
вания (Web of Science, Scopus и др.). Среди
множества учебников, изданных в послед-
ние десятилетия, особенно стоит отметить
такие издания, как «Экономика железнодорожного транспорта» (под ред. Н. П. Терёшиной, Б. М. Лапидуса, 2001, 2006, 2011, 2019 гг.), «Транспортный маркетинг» (под ред. В. Г. Галабурды, 2001, 2006, 2011 гг.), «Управление качеством продукции на железнодорожном транспорте» (под ред. Ю. И. Соколова, 2008, 2014, 2019 гг.), «Экономическая безопасность железнодорожного транспорта» (под ред. Ю. И. Соколова, 2019 гг.).

дорожного транспорта» (под ред. Р. А. Кожевникова, З. П. Межох, 2005, 2015 г.), «Коммерческая деятельность» (под ред. Д. А. Мачерета, 2016 г.), «Налоговый учёт» (под ред. Е. Ю. Некрасовой, Е. З. Макеевой, Т. Н. Кузьминовой, 2019 г.), «Бухгалтерский финансовый учёт на железнодорожном транспорте» (под ред. Е. И. Харыбиной; Е. З. Макеевой, Д. П. Устича, 2019 г.).

В целом дисциплины профессионального цикла, преподаваемые в ИЭФ, как правило, обеспечены собственными учебниками.

Результаты наших исследований публикуются в научных монографиях (как правило – более 10–15 в год). Среди последних и наиболее значимых можно выделить следующие:

- «Экономическое обоснование создания интегрированного информационного пространства взаимодействия транспортных компаний и клиентов» (Ю. И. Соколов, О. В. Ефимова, И. М. Лавров, 2019 г.).
 - «Экономика инноваций на транспорте» (Н. П. Терёшина, В. А. Подсорин, 2019 г.).
 - «Управление экономической эффективностью эксплуатационной деятельности железнодорожного транспорта с использованием инновационных подходов» (под ред. Д. А. Мачерета, А. В. Рышкова, 2018 г.).
 - «Цифровые технологии экономических процессов на транспорте» (под ред. Л. А. Каргиной, А. В. Резера, 2019 г.).
 - «Управление качеством транспортного обслуживания грузовладельцев: анализ, методы оценки, эффективность» (И. М. Лавров, 2019 г.).
 - «Методы экономической оценки и инструменты повышения качества обслуживания грузовладельцев при взаимодействии транспортных компаний» (Ю. И. Соколов, Е. В. Рогова, И. М. Лавров, 2018 г.).

В рамках международной деятельности преподаватели ИЭФ периодически выезжают для чтения лекций на иностранном языке за рубеж. В 2018–2019 гг. с такими лекциями выступали: профессор Ю. И. Соколов (Вальядолид, Испания), доценты И. М. Лавров, Е. А. Иванова, ст. преподаватель Я. В. Подоплелова (Валансьен, Фран-

ция), профессор Л. А. Каргина (Аугсбург, Германия) и др.

В институте функционирует совет по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальности «Экономика и управление народным хозяйством», специализации «транспорт» и «строительство». Работой совета в разные годы руководили профессора И. В. Белов, М. Е. Мандриков, Н. П. Терёшина. После реорганизации совета в 2018 году его возглавил профессор Ю. И. Соколов. В совете защищаются научно-педагогические работники из Москвы, Санкт-Петербурга, Ростова-на-Дону, Новосибирска и других городов нашей страны, а также представители стран ближнего и дальнего зарубежья. За последние десять лет в совете защищены четыре докторских и 96 кандидатских диссертаций.

Совет оперативно реагирует на требования ВАК по повышению качества защиты: все диссертации, поступающие в совет, проходят тщательную экспертизу для определения весомости научных результатов, выносимых на защиту, а также проверяются на отсутствие некорректных заимствований текста. На всех защите проводится видеосъёмка, запись отсылается в ВАК вместе с аттестационным делом.

В соответствии с общетранспортным вектором развития университета, последние годы ИЭФ расширяет спектр научной и педагогической работы, налаживает сотрудничество с организациями различных видов транспорта. В настоящее время учёные института активно участвуют в реализации Национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» в части создания системы повышения квалификации для работников дорожного хозяйства, ориентированной на обучение применению новых и лучших технологий. Был разработан «Вводный курс» для повышения квалификации с использованием дистанционных образовательных технологий, по которому прошли обучение более 500 человек. К кругу организаций-партнёров института добавились ГК «Автодор», «РосДорНИИ», аэропорты «Шереметьево» и «Домодедово», ПАО «Аэрофлот» и другие транспортные организации.

В 2018 году ИЭФ стал членом Национальной платформы открытого образования и разработал, первый в Университете, массовый открытый онлайн-курс (МООК) «Экономические основы транспортной деятельности», по которому сейчас обучается более 1000 человек.

В 2019 году на информационной образовательной платформе ИЭФ прошли обучение преподаватели и научные сотрудники различных вузов (свыше 700 человек) по 12 различным программам повышения квалификации в рамках Национального проекта «Образование».

Таким образом, в настоящее время институт вносит значительный вклад в развитие не только Российского университета транспорта, но и всей системы транспортно-экономического образования в нашей стране, по многим образовательным и научным разработкам соответствует передовым отечественным образцам. Такое положение, базирующееся на результатах работ многих поколений наших предшественников, позволяет нам надеяться на то, что институт и дальше будет сохранять и укреплять свои позиции в нашем динамично развивающемся мире, а наши разработки будут по-прежнему широко востребованы государством, обществом и бизнесом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мандриков М. Е. Инженерно-экономический факультет // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 8. – С. 41–44. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/zheleznodorozhnyy-transport-1996-08_eabe0d6c056.html. Доступ 05.02.2020.
2. Терёшина Н. П. и др. ИЭФ: дорогу осилит идущий // Инженер транспорта. – 28 июня 1999 г. – № 12 (2136).
3. Видные учёные МИИТ / Под ред. В. Г. Иноземцева, В. Я. Шульги. – М.: МИИТ, 2000. – 320 с. [Электронный ресурс]: http://library.miit.ru/photo/rare_izdaniya/00-27429_yuMIIT.pdf. Доступ 05.02.2020.
4. Терёшина Н. П. Институту экономики и финансов МИИТа – 70 лет // Инженер транспорта, специальный выпуск. – 6 декабря 2001 г.
5. МИИТ: 110 лет на службе Отечеству / Под ред. Б. А. Лёвина. – М.: МИИТ, 2006. – 328 с. [Электронный ресурс]: http://library.miit.ru/photo/rare_izdaniya/%D1%83%D1%87%D1%91%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D2%80%D0%BC%D0%B8%D0%B8%D1%82%D0%B0.pdf. Доступ 05.02.2020.
6. Терёшина Н. П., Галабурда В. Г., Соколов Ю. И. Вклад учёных МИИТа в развитие транспортно-экономической науки и железнодорожного транспорта // Труды Международной научно-практической конференции «Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономический суверенитет» – М.: МИИТ, 2015. – С. I-1–I-6.





Institute of Economics and Finance of Russian University of Transport: Milestones of Establishment and Development



Sokolov, Yuri I., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Yuri I. SOKOLOV

ABSTRACT

The article discusses the main stages of development of the Institute of Economics and Finance of Russian University of Transport. Brief information about changes in the status and structure of the Institute is followed by description of the results of its scientific and pedagogical activity, prominent transport economists

working at the Institute. IEF is now one of the leading institutes of Russian University of Transport.

IEF trains engineers, bachelors, and masters in the fields of economics, management, trade, business and applied informatics, linguistics.

The article is dedicated to the 90th anniversary of foundation of the Institute.

Keywords: *transport, transport education, scientific school, history of transport economics, Russian University of Transport, Institute of Economics and Finance.*

*Information about the author:

Sokolov, Yuri I. – D.Sc. (Economics), Professor, Director of the Institute of Economics and Finance of Russian University of Transport, Moscow, Russia, jurysokolov@yandex.ru.

Article received 27.02.2020, accepted 19.04.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 226.

Developments of transport in 19th century resulted in a wide need not only for engineering, but also for economic staff for the industry. At the first stages of industrial development, the border between technical and economic calculations was not always obvious, and the latter were often made by designers, builders, specialists in transportation.

Unlike practitioners, specialists in the theory and methodology of economic calculations in transport were usually formed from economists, financiers and statisticians who had general educational background (it is worth recalling the well-known examples of S. Yu. Witte and A. I. Chuprov).

In 1920s and 1930s, transport specializations appeared in a number of large economic universities of a general profile.

However, this situation did not allow mass training of qualified economists working on the basis of uniform methods and possessing the fundamentals of technology of transportation processes to the extent sufficient to understand the sources of formation of costs and results when making management decisions. The training of such specialists has become vital for the national economy during the period of industrialization. In this regard, on May 29, 1930, People's Commissar of Railways Ya. E. Rudzutak issued the order to create Moscow Transport and Economic Institute (MTEI). The Institute was assigned with a task of training highly qualified economists for railway, sea, river and road transport. The faculties of the Institute comprised, besides planning faculty, railway, water and road faculties, which included departments of construction, maintenance and operation of facilities of the corresponding mode of transport.

In addition, a number of departments belonged to the Institute's subordination (departments of political economy, economic geography, specific economies, planning, transport economics, labour economics, finance and accounting, etc.).

At the railway faculty, the first dean of which was Associate Professor V. A. Egorov, students were trained in four specialties: economic planning, financial, labour economics, and accounting and statistics.

The first academic staff of MTEI comprised Professors A. E. Gibshman, A. S. Chudov, I. V. Ivliev, Associate Professors V. E. Umblia, M. P. Romanov, P. A. Sarantsev, N. I. Sidorovich, M. A. Gratsiansky. From the first days of the existence of MTEI, Ph.D. studies course was

created to train pedagogical personnel. The first Ph.D. students were V. M. Romanov, I. M. Nikolsky, F. I. Zhelezov, M. A. Skorobogatov and N. I. Pykhov. Ph.D. students, assisting management of the Institute, carried out a great deal of work on organizing admission, rallying a team of students during construction work, preparing curricula for railway, water and road faculties, programs and other educational documentation.

By September 5, 1930, the new university had completed recruiting and enrollment and started the educational process. The Institute was located in the district adjacent to Sokol metro station, training was conducted in the barracks building, the dormitory was in the railway cars at Podmoskovnaya station.

The first graduation took place the same year: by the order No. 71 of November 23, 1930, four early graduates of the railway faculty were awarded the qualification of transport engineer-economist.

During the period from 1930 to 1933, Transport and Economic Institute had trained 370 engineers and economists.

By the order of the People's Commissariat of Railways dated June 15, 1933, Transport and Economic Institute, together with Moscow Operational Institute of Railway Engineers (MOIRE), Moscow Institute of New Railway Construction (MINRC), were merged into Moscow Institute of Railway Engineers (MIIT). MTEI became a part of the single university in the form of the Faculty of Engineering and Economics.

The Engineering and Economics Faculty of MIIT worked until 1941, when the university was evacuated to Novosibirsk. In wartime, in evacuation conditions, training of engineers-economists was conducted at the Faculty of Civil Engineering.

During the Great Patriotic War, professors and students of the Faculty of Engineering and Economics volunteered for the active army, worked at enterprises in Moscow and in hospitals.

The Faculty of Economics at MIIT was restored during the 1943–1944 academic year.

In order to provide railway transport with economists, the Council of Ministers of the USSR, by its decree of August 2, 1948, allowed the Ministry of Railways of the USSR to restore the Moscow Transport and Economic Institute from September 1, 1948.

Professor S. K. Danilov became its head. Later the Institute was headed by Ya. M. Zhukovsky, Professors A. K. Shubnikov,





V. V. Povorozhenko, D. F. Parfenov and Associate Professor G. A. Chumachenko. The training of engineers-economists and economists for railway transport was carried out in the following specialties: planning and organization of transportation; organization of cargo and commercial work; economics and organization of supply; financing and accounting.

Pursuant to the resolution of the Council of Ministers of the USSR of August 29, 1958 «On streamlining the network of universities and reducing the number of students in Moscow» and the order of the Minister of Railways of the USSR dated September 3, 1958, it was deemed expedient to merge MTEI with MIIT. MTEI again joined MIIT as the Faculty of Engineering and Economics [abridged in Russian as IEF].

Professor S. K. Danilov was appointed a dean of the single faculty in 1958. He headed the faculty until 1962. Professor I. V. Belov was the dean from 1962 to 1980, Professor V. Ya. Shulga – from 1980 to 1985, Professor M. E. Mandrikov – from 1985 to 1997.

During this period, scientific schools in the field of economic research in transport began to take shape, IEF scientists created major scientific developments that are still used in economic practices in a transformed and improved form: method of calculating the cost of transportation by the method of expenditure rates (A. S. Chudov), methodology for assessing sectional costs of transportation (I. V. Belov, M. E. Mandrikov, A. M. Shulga, N. G. Smekhova, etc.), methodology for optimal allocation of productive forces by the criterion of minimizing transport costs (E. D. Khanukov), the method of optimal planning of cargo flows (V. G. Galaburda), the method of assessing efficiency of investments in railway transport (B. A. Volkov, M. F. Trikhunkov, V. A. Dmitriev, A. D. Shishkov, etc.) and many others.

Great scientific and methodological importance belonged to generalization of fundamental economic provisions and best practices in numerous textbooks prepared at that time: Economic Geography of Transport (S. K. Danilov, 1974), Economy of Railway Transport (a team of authors led by E. D. Khanukov, 1979, and I. V. Belov, 1989), Statistics of railway transport (ed. by T. I. Kozlov and A. A. Polikarpov, 1981 and 1990), Prime cost of railway transportation (A. S. Chudov, A. M. Shulga, N. G. Smekhova, etc.). V. Ya. Shulga, A. D. Shishkov, Yu. D. Petrov, R. M. Tsarev, A. I. Kuporov and other professors and

associate professors developed textbooks on economics of individual subsystems of railway transport: track facilities, locomotive and wagon facilities, rolling stock repair plants, linear railway enterprises, etc.

Until now, monographs that comprehend the experience of development of economic theory and management practice in the railway transport have been of great importance, i.e., Economic theory of transport in the USSR (I. V. Belov and V. A. Persianov, 1993).

In 1993 MIIT received a status of a university and a new name: Moscow State University of Railway Engineering. In the course of the administrative reform carried out at the university in the late 1990s – early 2000s, the faculties were consolidated and transformed into institutions with additional functions (training in continuous life-long vocational education courses, autonomy of administrative and economic activities, etc.). The pilot project of this reform was transformation of the Faculty of Engineering and Economics into the Institute of Economics and Finance, thus the traditional abbreviation IEF was retained. The first director of the IEF Institute was Professor M. E. Mandrikov (1997), after his untimely death the Institute was headed by Professor N. P. Teryoshina (1997–2004), in 2004–2017 the Institute was headed by senior researcher V. P. Chuprikov. Since 2017, the Institute has been headed by Professor Yu. I. Sokolov.

The transition of our country to the market economy in the early 1990s created a demand for new economic knowledge and competencies. Responding to the demands of society and economics, the IEF departments began to develop and include in the curricula such new disciplines as «Marketing», «Management», «Exchange Business», «Investments», and others. To be able to deliver lectures at the highest scientific and methodological level, IEF lecturers actively improved their qualifications, underwent professional retraining, and involved practical economists, who had successfully mastered the new system of economic relations, in the educational process. New specialties were opened at the IEF, such as «Commerce», «Entrepreneurship», etc. The number of students increased significantly due to the start of fee-paying enrollment.

In 1995, Professor of the department «Economics and Management in Transport» R. M. Tsarev after graduating from additional course of education in finance and banking and, in accordance with the decision of the

Academic Council of the University, licensed training of financial and banking employees, created a new graduating department «Banking», later renamed «Finance and Credit». On the initiative of Professor V. G. Galaburda, the specialty «Marketing» was opened for students, on the initiative of Professor N. P. Teryoshina — «World Economy». It is important to note that these and other specialties were opened for training in agreement with the founder — Ministry of Railways, with allocation of budget funded places for them and issuance of a state diploma to graduates.

During this period, a difficult search and approbation of working methods in the market environment was going on in the railway transport. This created the conditions for effective application on the railways of the ideas put forward by the IEF scientists, for integration of economic theory and practice. During this period, our scientists confirmed their leadership in study of cost management, promotion of the sale of transport services, formation of financial models of cargo and passenger transportation and other topical research problems.

The most important area of work of the Institute since its inception has been the economics of the transport complex and its subsystems (assessing the costs and benefits associated with the transportation process, pricing for transportation and related services, forecasting and stimulating demand for transportation, etc.). Pedagogical and research work in this direction is carried out by the department «Economics and Management in Transport» (previously — «Economics of Transport», created simultaneously with the Institute in 1930).

The first head of the department was Professor I. V. Ivliev. In subsequent years, the department was headed by Ph.D. (Economics) L. S. Cherkassky, V. I. Ledovsky, Academician T. S. Khachaturov, Professors S. K. Danilov, E. D. Khanukov (1962–1974) and I. V. Belov (1974–1989), M. E. Mandrikov (1989–1997), V. G. Galaburda (1997–2002), since 2002 the department has been headed by Professor N. P. Teryoshina. The department implements a wide range of educational programs for bachelor's and master's degrees, which have both transport and general economic focus. The department is one of the leaders of the University in the field of scientific research, its developments are in demand by the departments of economics, economic conjuncture and strategic development, marketing, and tariff

policy of JSC Russian Railways, as well as other transport organizations.

Another traditional and extremely important area of work of IEF scientists and teachers is associated with economic support of technical and technological developments in transport (feasibility study of investment projects, assessment of their economic efficiency, etc.). These tasks are carried out by the department «Economics of Transport Infrastructure and Management of Construction Business», founded in 1954 under the title «Economics of Construction Production».

The founder and the first head of the department was a representative of a well-known dynasty of transport scientists, D.Sc. (Eng), Professor A. E. Gibshman. He headed the department until 1970. From 1970 to 1992, the department was headed by the Honored Worker of Science and Technology of Russia, D.Sc. (Eng), Professor V. Ya. Shulga.

In 1992–2012 the department was headed by Professor B. A. Volkov. At present, the department is headed by Professor D. A. Macheret, who is also the First Deputy Chairman of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways.

The department has repeatedly developed methods for assessing economic efficiency of investments in transport, adopted and approved by the Ministry of Railways of Russia, JSC Russian Railways and other transport organizations.

In its scientific and pedagogical activities, the department successfully interacts with the specialized departments of JSC Russian Railways, JSC Transmashholding, PJSC Mostotrest, and other transport and construction organizations.

The basis of any economic activity, both scientific and practical, is accounting of costs and results, production indicators, tangible and intangible assets, etc. Understanding of this fact led to creation of the department «Statistics and Accounting» at MTEI in 1931. It combined all the accounting and statistical disciplines taught at the institute: theory of statistics, railway and industrial statistics, road, water transport and labour statistics, accounting theory, accounting and analysis of the balance sheet by mode of transport. The first head of the department was Professor L. V. Nekrash (1931–1932), in subsequent years the department was headed by Associate Professors F. A. Puzanov, M. P. Romanov, Professors I. V. Kochetov, T. I. Kozlov. In 1948, the new





department «Accounting and Cost» left the structure of the department, the newly created department until 1959 was headed by Associate Professors A. S. Chudov, V. E. Umblia and A. P. Polikarpov.

The department «Finance and Accounting» was organized in 1959 after the merger of the department «Accounting and Cost» with the department «Financing of railways» (founded in 1952). Its head from 1959 to 1984 was Professor, D.Sc. (Economics) N. G. Vinnichenko. From 1984 to 1988 the department was headed by Ph.D. (Economics), Professor V. F. Danilin.

In 1988, the departments «Finance and Accounting» and «Statistics and Accounting» were merged into a single one: «Accounting and Statistics». Until 2015, the single department was headed by Professor V. F. Danilin.

In 2013, in order to train highly qualified specialists in the field of international financial and management accounting and international financial reporting standards, accredited by the International Association of Professional Accountants (ACCA), the department «International Financial and Management Accounting» was created at the Institute. The department was headed by the chief accountant of JSC Russian Railways, D.Sc. (Economics), Professor G. V. Kraft. In 2016, the department was merged with the department «Accounting and Statistics» (in terms of accounting disciplines, statistical disciplines were transferred to the department of Information systems of the digital economy). Since 2018, the department has been headed by Ph.D. (Economics), Associate Professor E. Z. Makkeeva, who is also acting Deputy Director of the Institute for continuous professional education.

The department successfully cooperates with the Accounting Service of JSC Russian Railways, a number of subsidiaries, international professional communities such as the Association of Chartered Certified Accountants (ACCA), etc.

The amount of computation required in the work of a transport economist has always been significant, primarily due to the size of the industry. Therefore, attempts to mechanize and automate such work have been undertaken for a long time. In this regard, back in 1940 training of specialists in mechanization of accounting and computing began at IEF at the department «Accounting and Statistics». In 1961, the department «Mechanization of Accounting

and Computing Work» was formed. The first head of the department was Professor, D.Sc. (Economics) V. I. Isakov, one of the outstanding specialists in mechanization of accounting. In 1967 the department received the name «Mechanized Processing of Economic Information», and in 1969, after separation of the department «Means of Mechanized Processing of Economic Information» (MMPEI) it received a new name: «Automated Planning and Accounting Systems» (APAS). From 1969 to 1985, the MMPEI department MMPEI was headed by Professor, D.Sc. (Economics) N. M. Surin, a leading specialist in mechanization of accounting. From 1976 to 1984, the department APAS was headed by Professor, D.Sc. (Economics) S. A. Abramov, a prominent specialist in the field of substantiation of large complex systems.

In 1985, the department «Organization of Machine Processing of Economic Information» (OMPEI) was organized on the basis of two departments (APAS and MMPEI), which until 1996 was headed by Professor B. N. Makarovsky.

In 1996–2016 the department was headed by Associate Professor O. A. Grigoriev. During this period the department was called «Information Systems in Economics», then – «Economic Informatics». Currently, the department is called «Information Systems of the Digital Economy», and it is headed by Professor L. A. Kargina. On the initiative of the department, the university was licensed in the specialty «Applied informatics» (specialization «Applied informatics in economics»). Currently, the department trains bachelors and masters in applied and business informatics, widely cooperates with domestic and foreign organizations in the field of digitalization of economic processes (SAP, League of Digital Economy, etc.).

In the 1990s, with development of market relations and of the banking and financial sector of the economy, a demand for specialists with financial competencies began to form. In this regard, in 1995, the department «Finance and Credit» was established at the IEF. Its founder and first head was Professor R. M. Tsarev (1995–2000), then the department was headed by Professor R. A. Kozhevnikov (2000–2015, currently Professor of the department), Yu. I. Sokolov (2015–2017, currently Director of the Institute). Since 2017, the department is headed by Professor Z. P. Mezhokh. The department was the first in the Institute and university in 1999 to switch to training of Bachelors and Masters [for many

years in former USSR only specialists (engineers, etc.) were trained], the teaching staff of the department under the guidance of Professor I. N. Dedova in 2007 organized training within the programs of the second higher education in the field of «Economics», which was later joined by some other departments of the Institute. In 2014, the department began training specialists within the program «Economic security», since 2016 the department has been participating in the distance training of Masters.

The key partners of the department are JSC Federal Cargo Company, JSC Federal Passenger Company, PJSC VTB Bank, and other transport and financial organizations.

Considering the needs of the transport industry and the requests of applicants, in 2009 the department of Labour economics and human resource management that existed in the 1930s was restored. The first head of the department was D.Sc. (Eng), Professor N. M. Sheremet (currently a Professor of this department). Since 2011, the department has been headed by Ph.D. (Economics), Associate Professor I. A. Epishkin (since 2019 – also Director of Russian Academy of Railways which is also part of Russian University of Transport). When implementing educational programs, the department extensively interacts with specialized departments of JSC Russian Railways (Department for organization, remuneration and motivation of labour, Department of human resources management), trains corporate student groups recruited from the company's employees. In 2018, the department carried out the first recruitment of students for the new program «50 to 50», under which JSC Russian Railways pays the student half of the cost of training and after graduation provides a job according to the specialty obtained.

With the aim of widespread introduction of modern educational technologies (including distance ones) into the educational process, in 2015, the department of Modern technologies of socio-economic education was created within the Institute. The first head of the department was Ph.D. (Economics), Associate Professor A. A. Nagralyan. Currently, the department is headed by Ph.D. (Economics), Associate Professor I. I. Sokolova. The developments of the department in the field of digital educational technologies are widely used not only at the Institute. JSC Russian Railways is the customer of the work carried out by the department in the field of virtual and augmented

reality, both in the field of economics and in terms of technology of transport processes. The department has many medals and diplomas of the winners of all-Russian and industry exhibitions on digital transformation in transport and education. In 2019, it was the educational platform created by the department that was selected for development and implementation of advanced training programs within the framework of the national project «Safe and High-Quality Roads».

In 2018, the department «Economics, Organization of Production and Management» returned to the Institute (previously in 1962 it separated from the department «Economics of Transport») to teach economic disciplines in technical specialties. Since then, the department was headed by Professors S. K. Danilov (1962–1974), V. A. Dmitriev (1974–1989), A. D. Shishkov (1989–1996), I. S. Besedin (1997–2002), A. V. Bolotin (2002–2007), G. V. Bubnova (2008–2019). At present, the department is headed by D.Sc. (Economics), Professor O. V. Efimova, who also acts Deputy Director of the Institute for research. The department actively conducts research and implements programs of continuous professional education in the field of digitalization of business processes, organization of lean production in transport. The partners of the department comprise the Center for Corporate Transport Services and the department of Corporate Informatization of JSC Russian Railways, and other transport organizations.

Over the past two decades, a number of university-wide departments have become part of the Institute. The department «Applied Mathematics-2» (currently – «Mathematics») traditionally taught mathematical disciplines for economists. For many years, the department was headed by a world-renowned scientist, member of St. John's College (Cambridge, Great Britain), D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, honored scientist of the Russian Federation F. I. Karpelevich, whose scientific interests included, besides other things, development of mathematical methods in economics. Currently, the department is headed by Ph.D. (Eng), Associate Professor L. F. Kochneva, Professors of the department, among other disciplines, teach econometrics, financial mathematics, methods of optimal solutions.

The IEF also includes the oldest department of the University, counting its history from the moment of its foundation, «Political Economy»





(now «Economic Theory and World Economy»). For many years, the department was headed by the prominent scientist, D.Sc. (Economics), Professor A. V. Orlov. Then the department was headed by Associate Professors A. G. Voitov and L. F. Pavlyukova. Currently, the department is headed by Ph.D. (Economics), Associate Professor M. A. Yakovleva. The staff of the department, besides teaching, is working on application of economic laws to transport, taking into account the industry specifics, and also methodically contributes to improvement and implementation of educational programs in the world economy.

The institute also got the department «Linguistics», which is headed by D.Sc., Professor L. A. Chernyshova. The department is the only one that graduates among the language departments of the university, it trains specialists in linguistics and intercultural communication. The lecturers of the department also contribute to development of relevant skills of the lecturers of the Institute, which made it possible from 2018 to begin implementation of the Master's program «Business Administration», implemented in English. The role of lecturers of the department is also great in implementation of international activities at the IEF.

The main activities of the Institute currently include:

- educational work coordinated by the educational department (dean's office) under the leadership of the First Deputy Director, Ph.D. (Economics), Associate Professor I. M. Lavrov;
- scientific work supervised by the Deputy Director, D.Sc. (Economics), Professor O. V. Efimova and by Ph.D. (Economics), Associate Professor O. A. Yusupova, responsible for student science;
- educational and methodical work, headed by the Deputy Director, Ph.D. (Physics and Mathematics), Associate Professor M. V. Ishkhanyan;
- continuous professional education for professors and transport employees (Deputy Director, Ph.D. (Economics), Associate Professor E. Z. Makeeva);
- educational work with students and youth policy (Deputy Director A. S. Matveeva);
- international activities (Deputy Director L. B. Rybakov).

Besides scientific work carried out by lecturers at the departments of the Institute, significant volumes of research are carried out

in specialized scientific and educational research laboratories.

Educational and scientific laboratory «Economics of innovations in transport», which is a part of the department «Economics and management in transport» was established in 1958 as the Sector of technical and economic research. At various times, the Sector was headed by V. G. Galaburda, E. B. Baboshin, M. V. Sugrobova, V. A. Podsolin. The main scientific research of the sector was associated with rationalization of transportation of various goods, calculation of the cost of transportation of goods. At present, the laboratory is headed by senior researcher N. M. Shishkina, research is being conducted in the field of effectiveness of implementation of innovations in transport, improving tariff policy, cost management, etc.

Educational and scientific laboratory «Modelling of business processes» was created in 1967 under the name «Automation of accounting». A significant contribution to development of the laboratory was made by senior researchers V. P. Chuprikov (former vice-rector of MIIT and ex-Director of the IEF) and V. G. Dedov, who headed it.

At present, the laboratory is headed by senior researcher A. N. Butorin.

Laboratory's developments include automated workstations for accountants, electronic accounting systems for linear enterprises of railway transport, software systems for accounting for various types of resources, rolling stock, etc., implemented at JSC Russian Railways, and at the company's branches.

In 2005, the Higher Transport Business School was created as part of the IEF, a unit that implements business education programs for transport employees. Over the 15 years of its existence, more than 500 MBA students have graduated from HTBS, many of whom have occupied leading positions in transport organizations. This direction is headed by Professor Z. P. Mezhokh.

In 2018, on the initiative of Professor O. V. Efimova, the research and educational center «LEAN-Academy» was formed as part of the Institute. Its staff are involved in scientific substantiation and applying of methods for identifying and eliminating losses in implementation of business processes of transport companies, as well as in implementation of programs of life-long professional education in this area.

Currently, the IEF trains specialists, Bachelors and Masters in the fields of

economics, management, trade, business informatics, applied informatics, linguistics.

The Institute, like the entire University, in accordance with the Decree of the President of the Russian Federation of April 13, 2018 No. 156, conducts training according to independently approved educational standards. All educational programs of the Institute are original, their content and methods of implementation, as a rule, correspond to the best domestic standards. Among the total mass of programs, the following are especially interesting:

- specialty «Economic security» (specialization «Financial and economic support of federal state bodies ensuring the security of the Russian Federation»): a unique program in the field of «Economics» with a traditional five-year study period, one of the most in demand among applicants;

- Bachelor's and Master's studies in International Financial and Management Accounting, implemented by the department of the same name, accredited by the Association of Chartered Certified Accountants (ACCA) and including training for passing 9 of 14 stages of the ACCA exam, which is unique in Russia;

- English-language Master's program «Business Management», implemented by the department of Economics and Transport Management, with involvement of teachers from other departments of the Institute. All training is conducted in English, currently an agreement has been signed on a double degree program with the Higher School of Technology and Economics (Dresden, Germany) based on that program;

- programs with reduced terms of study on the basis of previously obtained secondary professional education in that field, implemented in the framework of «Economics» Bachelor's degree program, allow students to master the curriculum in 3,5 years, studying on Saturdays, which makes it possible to successfully combine study with work;

- several programs are implemented with distance learning technology, which is convenient for transport employees who are improving their educational level. Full unification of classroom and distance programs allows the full-time students not to quit their studies if they get a job or move to another city;

- training under the program «Applied Informatics» includes a double degree program with the University of Applied Sciences in Augsburg (Germany).

Scientific and educational-methodical work of the Institute is reflected in a large volume of

publications. Every year, more than 100 articles are published by IEF staff in leading national peer-reviewed journals and more than 50 in journals included in international citation data bases (Web of Science, Scopus, etc.). Among many textbooks published in recent decades, it is especially worth noting such publications as «Economics of Railway Transport» (ed. by N. P. Teryoshina, B. M. Lapidus, 2001, 2006, 2011, and 2019), «Transport Marketing» (ed. by V. G. Galaburda, 2001, 2006, 2011), «Product Quality Management for Railway Transport» (ed. by Yu. I. Sokolov, 2008, 2014, 2019), «Economic Security of Railway Transport» (ed. by R. A. Kozhevnikov, Z. P. Mezhokh, 2005, 2015), «Commercial Activity» (ed. by D. A. Macheret, 2016), «Tax Accounting» (ed. by E. Yu. Nekrasova, E. Z. Makeeva, T. N. Kuzminova, 2019), «Financial Accounting in Railway Transport» (ed. by E. I. Kharybina, E. Z. Makeeva, D. P. Ustich, 2019).

In general, the disciplines of the professional cycle taught at the IEF, as a rule, are provided with the own textbooks of the academia of the Institute.

The results of the research are published in scientific monographs (as a rule, more than 10–15 per year). Among the latter and the most significant are the following:

- «Economic Substantiation for Development of an Integrated Information Space for Interaction between Transport Companies and Customers» (Yu. I. Sokolov, O. V. Efimova, I. M. Lavrov, 2019);

- «Innovation Economics in Transport Industry» (N. P. Teryoshina, V. A. Podsolin, 2019).

- «Management of Economic Efficiency of Operational Activity of Railway Transport using Innovative Approaches» (ed. by D. A. Macheret, A. V. Ryshkov, 2018).

- «Digital Technologies of Economic Processes in Transport» (ed. by L. A. Kargina, A. V. Rezer, 2019).

- «Quality Management of Transportation Services for Cargo Owners: Analysis, Assessment Methods, Efficiency» (I. M. Lavrov, 2019).

- «Methods of Economic Assessment and Tools for Improving Quality of Service for Cargo Owners in Interaction with Transport Companies» (Yu. I. Sokolov, E. V. Rogova, I. M. Lavrov, 2018).

As part of their international activities, IEF lecturers periodically travel abroad to deliver lectures in a foreign language. In 2018–2019 such lectures were delivered by: Professor





Yu. I. Sokolov (Valladolid, Spain), Associate Professors I. M. Lavrov, E. A. Ivanova, senior lecturer Ya. V. Podoplelova (Valenciennes, France), Professor L. A. Kargina (Augsburg, Germany), etc.

The Institute has an approved council for defense of Ph.D. and D.Sc. theses in the specialty «Economics and management of the national economy», specialization «transport» and «construction». The work of the council in different years was supervised by Professors I. V. Belov, M. E. Mandrikov, N. P. Teryoshina. After reorganization of the council in 2018, it was headed by Professor Yu. I. Sokolov. The council considers theses of researchers and academic staff from Moscow, St. Petersburg, Rostov-on-Don, Novosibirsk, and other Russian cities, as well as of representatives of foreign countries. Over the past ten years, four doctoral and 96 master's theses have been defended in front of the council.

The council promptly responds to the requirements of the Higher Attestation Commission [of the Ministry of Higher Education and Science] to improve quality of defense: all the theses submitted to the council undergo a thorough examination to determine weight of scientific results submitted for defense, and are also checked for the absence of incorrect citations. All the defenses are filmed, the recording is sent to the Higher Attestation Commission along with the attestation file.

In compliance with the vector of the University's development towards the demand of all modes of transport, in recent years IEF has been expanding the range of scientific and pedagogical work, establishing cooperation with organizations of various modes of transport. At present, the Institute's researchers are actively involved in implementation of the national project «Safe and High-Quality Highways» in terms of developing a system of advanced training for road employees, focused on teaching the use of new and best technologies. An «Introductory Course» was developed for advanced training using distance learning technologies. More than 500 attendees have been trained. Avtodor State Corporation [Road State Corporation], RosDorNII [Research Institute of Road Construction], Sheremetyevo and Domodedovo airports, PJSC Aeroflot and other transport organizations were added to the wide range of the partner organizations of the Institute.

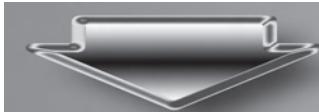
In 2018, IEF became a member of the National Platform for Open Education and developed, the first at the University, a massive open online course (MOOC) «Economic Foundations of Transport Activity», which currently trains more than 1000 people.

In 2019, lecturers and researchers from various universities (over 700 people) were trained using IEF educational information platform in 12 different professional development programs within the framework of the national project «Education».

Thus, at present, the institute makes a significant contribution to development of not only Russian University of Transport, but also of the entire system of transport and economic education in the country. Many educational and scientific developments correspond to the advanced domestic standards. The current positioning of the Institute, based on the results of the work of many generations of our predecessors, allows us to hope that the Institute will continue to maintain and strengthen its positions in our dynamically developing world, and our developments will continue to be widely demanded by the state, society, and business.

REFERENCES

1. Mandrikov, M. E. Faculty of Engineering and Economics [Inzhenerno-ekonomicheskiy fakultet]. *Zheleznodorozhniy transport*, 1996, No. 8, pp. 41–44. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/zheleznodorozhnyy-transport-1996-08_ea6e0d6c056.html. Last accessed 05.02.2020.
2. Teryoshina, N. P. [et al]. IEF: the road will be mastered by the walking one [IEF: dorogu osilit idushchiy]. *Inzhener transporta*, No. 12 (2136), 28 June 1999.
3. Prominent scientists of MIIT [Vidnii uchenie MIIT]. Ed. by V. G. Inozemtsev, V. Ya. Shulga. Moscow, MIIT publ., 2000, 320 p. [Electronic resource]: http://library.miit.ru/photo/rare_izdaniya/00-27429_vuMIIT.pdf. Last accessed 05.02.2020.
4. Teryoshina, N. P. Institute of Economics and Finance of MIIT is 70 years old [Institutu ekonomiki i finansov MIITa – 70 let]. *Inzhener transporta*, special issue, 6 December 2001.
5. MIIT: 110 years in the service of the Fatherland [MIIT: 110 let na sluzhbe Otechestva]. Ed. by B. A. Lyovin. Moscow, MIIT publ., 2006, 328 p. [Electronic resource]: http://library.miit.ru/photo/rare_izdaniya/%D1%83%D1%87%D1%91%D0%BD%D1%8B%D0%B5%D2%D0%D0%BC%D0%B8%D0%B8%D1%82%D0%B0.pdf. Last accessed 05.02.2020.
6. Teryoshina, N. P., Galaburda, V. G., Sokolov, Yu. I. The contribution of MIIT scientists to development of transport and economic science and railway transport [Vklad uchenykh MIITA v razvitiye transportno-ekonomicheskoi nauki i zheleznodorozhного transporta]. *Proceedings of international scientific and practical conference «Modern problems of managing the economy of the transport complex of Russia: competitiveness, innovations and economic sovereignty»*. Moscow, MIIT publ., 2015, pp. I-1–I-6.



ПРЕСС-АРХИВ

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-245-258>



В 1910 году журнал «Железнодорожное дело» подробно изложил ход дискуссии, возникшей в городской думе Санкт-Петербурга, вокруг доклада комиссии МПС, предложившей проект комплексного развития рельсового транспорта города. Используя более современные термины, затрагивались различные аспекты, и ныне представляющие интерес при подобных обсуждениях: влияние проекта на градостроительную политику и загруженность центра города, использование государственно-частного партнёрства, мобильность населения, комплексное развитие пригородного и городского сообщения, возможности использования железнодорожных линий для внутригородских поездок и соответствующая тарифная политика, перспективы строительства метрополитена.

Ключевые слова: городской транспорт, городские и пригородные железнодорожные линии, мобильность, Санкт-Петербург.

Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

Об улучшении условий пассажирского движения по железным дорогам Петербургского узла пригородным и городским

В «Петербургском Листке» от 6 мая с.г. напечатано следующее не лишённое интереса, по его характерности, известие:

Вчера, 5-го мая, в затемнённом Николаевском зале г. Табурно читал общему присутствию управы доклад о своём проекте устройства пригородных трамваев с беспересадочным сообщением через городские пути.

На этом докладе присутствовали городской голова И. И. Глазунов, его товарищ, члены управы, многие гласные, представители Министерства путей сообщения и председатель по этому предмету правительственный комиссии инж. Горчаков.

Доклад свой г. Табурно сопровождал световыми картинами на экране и сообщил, что все работы обойдутся около пятидесяти четырёх миллионов рублей.

Докладчик весьма подробно излагал детали проекта вплоть до типа рельсов, крестовин и т.п.

Г. Табурно доложил собранию о предполагаемых маршрутах и лишь вскользь упомянул, что город получит вознаграждение за движение по его территории.

Хотя дебатов по докладу и не было, но слушатели, выйдя в соседний Алексан-

дровский зал, как бы разбились на две партии.

Одни, например, гласный Н. Н. Перцов, доказывали, что рано или поздно такая именно дорога должна быть устроена, что она разрешит квартирный кризис центральных частей города, заселит городские окраины, подымет доходность недвижимых имуществ этих окраин и, следовательно, поднимет общегородской оценочный сбор с недвижимых имуществ.

Эта группа гласных ссылалась на пример Берлина, при подобном типе дорог движение по городским трамваям возросло в восемь с половиной раз лишь за двадцать пять лет.

Противники возражали на это, что за двадцать пять лет население Берлина более чем удвоилось.

К тому же и помимо пригородных трамваев было множество причин, увеличивших берлинское трамвайное движение.

Самое главное в этих случаях – это обилие городских трамвайных путей.

И если бы у нас были трамваи второй и третьей очередей, то движение по первой очереди тоже увеличилось в четыре раза.

В общем, надо сознаться, отношение гласных к проекту г. Табурно было довольно-таки кислое.

– Несомненно, что пригородный трамвай, соединённый с городскими путями, принесёт пользу, но вопрос – кому?





Скорее всего, самому г. Табурно, и тем, кто будет этот трамвай строить, но ни в каком случае не городу.

Перегрузка узких улиц и сейчас уже очень велика.

А если эту перегрузку движения увеличить ещё и транзитным движением через город, то добра ждать от этого нельзя.

«Маленькая Дума» решила по получении из Министерства путей сообщения официального проекта, не совпадающего с видами и намерениями г. Табурно, разослать этот официальный проект всем гласным и поставить вопрос на повестку Думы, не высказывая никакого личного заключения, а предоставив Думе поступить, как ей заблагорассудится.

От Редакции. Сообщение это доставлено нам случайно, — и в других газетах, вероятно, было помещено нечто подобное. Как написанное спешно, оно не отличается точностью. Так, например, в 1-м и 3-м абзацах сказано, что г. Табурно докладывал «свой» проект, тогда как он докладывал не свой проект, а проект, составленный Комиссией, председатель которой назван во 2-м абзаце; о технической же стороне проекта он даже не докладывал: доложили о ней бывшие членами той же Комиссии инженеры Белаго и Рудницкий. Что же касается вопроса — кому этот проект принёс бы пользу, что и составляло предмет доклада, прочитанного самим инженером Табурно, то об этом читатель узнаёт подробно из нижеследующего изложения сего доклада, которому, однако, предпосыпляем ст. г-на Городского, напечатанную осенью прошлого года. Она представляется нам одной из наиболее обдуманных газетных статей по данному вопросу.

В заключение приводим из прибавления № 5 к «Известиям Собрания инженеров путей сообщения» за № 26 от 8 мая с.г., что «Министерство Путей Сообщения вносит на предварительное рассмотрение Совета Министров вопрос о разрешении произвести изыскания и составление проекта электрификации пригородных участков Северо-Западных железных дорог, с устройством центральной электрической станции на р. Волхове, а равно подвергнуть опытному обследованию вопрос о наилучшем способе устройства линии передачи высокого напряжения в текущем 1910 г. и об открытии на этот предмет особого кредита в сумме 125 т.р., с отнесением расходов на общие остатки по смете Министерства Путей Сообщения 1910 г., а в слу-

чае их недостаточности — на остатки по общей росписи доходов и расходов на тот же год».

Вероятно, сотрудник «Петербургского Листка» имеет в виду этот проект, называя его в последнем абзаце своей заметки не совпадающим с видами и намерениями г. Табурно, в действительности же упомянутой Комиссии. Но этот проект затронет интересы города лишь в незначительной степени, и едва ли Городская Дума найдёт что-либо сказать против него.

I. Статья г. Городского под заглавием «Петербургский метрополитен»

Правительство опять вернулось к тому, отчего лет семь—восемь назад отказалось: к метрополитену.

Тогда автором проекта и инициатором выступил инженер г. Балинский. Министерство Финансов, во главе с гр. С. Ю. Витте, горячо поддерживало идею метрополитена. Сочувственно относились в особой комиссии по устройству этого городского железнодорожного предприятия и представители других министерств.

Но у проекта метрополитена было два сильных противника; петербургское городское общественное управление и всесильный тогда министр внутренних дел г. Плеве.

В результате противники метрополитена одержали верх над благоприятным для этого предприятия течением: проект был отклонён...

И вот теперь, уже по инициативе правительственные инстанции, разработан новый проект, первообразом для которого, несомненно, послужил труд г. Балинского.

И опять в числе противников мы видим петербургское городское управление.

Точка зрения других заинтересованных сторон ещё не обозначилась.

Город выдвигает те же, что и раньше аргументы, тот же арсенал доводов против метрополитена.

Но больше всего наша дума обижена тем, что Министерство путей сообщения, из недр которого вышел проект, не считалось с городом, как с общественной властью, распоряжающейся на правах хозяина на территории столицы.

Нельзя не согласиться, что и при разрешении задач государственной пользы и важности, всё-таки, если эти задачи нарушают или затрагивают интересы городского управления, нельзя было игнорировать город.

Правда, комиссия действительного статского советника Горчакова приглашала к участию в заседаниях представителей города. Они участвовали на одном из заседаний и высказались против проекта метрополитена.

Тут, в сущности, была двоякая ошибка: в таких серьёзных делах надо, чтобы в комиссии имелся, снабжённый соответствующими директивами, депутат от Думы, а не члены городской управы, высказывавшиеся от своего имени. Точка же зрения Думы на создание в Петербурге метрополитена до сих пор остаётся неизвестною. Скажем больше: Дума даже не знает сущности проекта, его основных частей и целей.

В её распоряжении имеются только частные сведения: дорога будет устроена с применением электрической тяги; пройдёт через центр столицы — Литовскую улицу по эстакаде, пересечёт Невский проспект, выйдет на Неву, здесь перекинется через специальный мост на Выборгскую сторону, соединится с Финляндской дорогой и товарной станцией Приморской дороги и т.д.

Цель метрополитена — объединить союз все вокзалы и содействовать правильному расселению и разрежению столичного населения привлечением его к окраинам и дачным посёлкам, находящимся на линиях железных дорог.

Вот всё то, что известно насчёт метрополитена в городском управлении.

Даже при таких отрывочных сведениях, идея нового железнодорожного предприятия нельзя не сочувствовать. Если Дума высказывается и высказываеться ещё с большей твёрдостью против метрополитена, то исключительно в силу того, что в её составе преобладают домовладельцы. Проект руемая дорога, охватывая широким полукольцом столицу, нанесёт известный ущерб центральному домовладению. Петербургский трамвай построен с таким расчётом, что не мог и не может освободить население от тесноты и скученности жизни. Он обслуживает артерии и местности, в которых ключом кипит городская жизнь и мало отвлекает население в малозастроенные и здоровые районы. Следовательно, проект метрополитена, выработанный правительством, вполне отвечает интересам беднейшего населения, страдающего от дороживизны квартир, загрязнённости воздуха и почвы. Что городская касса может пострадать от конкуренции метрополитена

с трамваями — это совершенно особый вопрос. Надо думать, что правительство сумеет компенсировать протори и убыток города.

Выступать же со всякими орудиями противодействия несомненно полезному предприятию — городу непростительно. Он отлично знает, что сам он никогда не решится на затраты в 40 млн для создания этого железнодорожного полукольца, вносящего столько ценных благ в уклад городской жизни, никогда даже не приблизится к этой идее.

Вся его задача в этом вопросе, нам кажется, должна свестись к тому, чтобы извлечь из этого предприятия наибольшие материальные выгоды. В этом отношении его, вероятно, поддержит и Государственная Дума, которая должна санкционировать кредиты на метрополитен.

«С.-Петербургские Ведомости» от 1 ноября 1909 года № 245.

От Редакции. И эта статья нуждается в некоторых разъяснениях. Во-первых, проект Комиссии, доложенный 5-го мая, в техническом отношении имеет очень мало общего с проектом инженера Балинского. Во-вторых, для комиссии, разрабатывавшей проект, отзыв всей Городской Думы вовсе не был нужен. Комиссии надо было узнать, не составляет Петербургское Городское Управление в данный момент какого-либо благоприятного исключения во взглядах на целесообразность и выгодность подобных сооружений, и два члена Городской Управы, участвующие в заседании Комиссии и высказавшиеся против проекта, оказались достаточно компетентными. В-третьих, председатель Комиссии, по своим прежним отношениям к Московской Окружной дороге, давно ознакомлен с этими взглядами и был невыразимо удивлён и обрадован, если бы СПб. Городская Дума не разделила заявлений означенных членов Городской Управы. В-четвёртых, из других заинтересованных сторон высказались против проекта представители военного ведомства и, нужно отдать им полную справедливость, ими сделано всё, для них возможное, чтобы уронить проект, отстаивая постройку ныне сооружаемой Заохтенской линии. Будущее, конечно, покажет, во что обошлось стране и населению Петербурга это наложение представителей военного ведомства. В сущности же они освободили проект от ненужных придатков, введённых ради общей экономии, но удорожавших самый проект.





II. Интересы города Петербурга в составленном Комиссией Министерства Путей Сообщения проекте улучшения условий пригородного пассажирского движения по дорогам Петербургского железнодорожного узла

Деложено членом названной Комиссии П. Табурно Городской Думе малого состава 5 мая 1910 года после доклада другими лицами технической части проекта.

Позвольте мне, милостивые государи, дополнить некоторыми данными и соображениями общего характера только что изложенную техническую часть проекта.

Комиссия, образованная Министерством Путей Сообщения, которая разрабатывала этот проект, имела задачею разрешить вопрос о перевозке пассажиров в пригородном передвижении на железнодорожных линиях, примыкающих к Петербургу. Для этих железнодорожных дорог вопрос этот стал острым: переполнение поездов громадное, пригородное движение растёт более чем на 7 % в год, так что в какой-нибудь десяток лет оно почти что удваивается. Если в настоящее время это пригородное движение находится в ненормальных условиях, и если не принять коренных мер для его улучшения, то в сравнительно короткий срок железной дороги Петербургского узла окажутся в совершенно безвыходном положении. Через каких-нибудь 5–10 лет существующее движение сильно возрастёт, а ведь 5-летний срок – это такой срок, к которому только и возможно будет осуществить те меры, которые ближайшим образом в состоянии упорядочить и привести в надлежащий вид пригородное движение. Поэтому естественно, что Министерство путей сообщения теперь уже заботится о составлении рационального плана соответственных мероприятий. Комиссия, разрабатывавшая трактуемый проект разрешения задачи удовлетворения пригородного движения из Петербурга и в Петербург, само собою разумеется, должна была затронуть и интересы городские как самого населения, так и городского хозяйства, потому что, в сущности, разрешаемый ею вопрос касается почти исключительно городских обывателей. Но независимо от того, что, разрешая намеченный вопрос, в силу технических условий необходимо было коснуться городских интересов, правительству, как верховному распорядителю над всем государством, не могут быть чужды и интересы больших

городских центров, тем паче столицы Империи, в отношении как экономических, так и гигиенических условий жизни населения.

Вряд ли кто станет оспаривать, что жители русской столицы, вследствие неблагоприятных, главным образом климатических, и, отчасти, гигиенических условий, нуждаются больше, чем жители какого-бы то ни было не только европейского, но и русского города, в проживании в течение некоторого времени года в более благоприятных условиях. Между тем жители Петербурга пользуются дачной жизнью в весьма ограниченном количестве. Судя по статистике перевозки пассажиров в пригородном движении, менее чем 10 % жителей Петербурга имеют возможность пользоваться в течение 3–4 летних месяцев дачной жизнью. Такой процент весьма низок, и не только правительство, но главным образом самоуправление должно было бы изыскивать всякие меры, способствующие распространению дачной жизни, даже если эти меры требовали некоторых жертв со стороны городского казначейства, так как эти прямые жертвы косвенным образом окупались бы тем улучшением здоровья и подкреплением организма если не всего, то части населения, которые достигаются пребыванием в течение нескольких месяцев на свежем и здоровом воздухе. Главным препятствием к развитию дачной жизни следует считать неудобства передвижения, ибо не один, не два и не три раза в месяц дачнику нужно приезжать в Петербург и уезжать из Петербурга, а ежедневно. Каждые лишние полчаса, употреблённые на передвижение, стоят весьма дорого средне- и малоимущему классу населения. Только богатым людям доступна роскошь не считаться с потерей времени; чем беднее человек, тем дороже ему каждая минута, и вот поэтому главным условием следует считать быстроту передвижения и минимальную потерю времени в ожидании перевозки. И то, и другое в существующих средствах пригородного передвижения является далеко не удовлетворительным. Проект, выработанный Комиссией, о котором идёт здесь речь, следует считать наиболее удовлетворяющим этим двум условиям – быстроте передвижения и максимальной густоте отправляемых и прибывающих перевозочных единиц.

Комиссия, выработавшая доложенный вам здесь проект, пришла к заключению, что единственным способом правильного

функционирования с технической стороны эксплуатационных условий является не только переход пригородных железных дорог на электрическую тягу, придающую движению максимальную гибкость, но и сооружение одной, а впоследствии двух, трёх линий, пересекающих город и проектированных таким образом, чтобы они составляли непрерывное кольцо, по которому двигались бы поезда без всяких манёвров.

При осуществлении намеченного Комиссией проекта, как то явствует из подробных подсчётов, ныне убыточное для казённых железных дорог пригородное движение может стать доходным не только без увеличения перевозочной платы, но даже с уменьшением её. Таким образом, осуществление этого проекта сулит городским обывателям улучшение средств передвижения для дачной жизни, а, следовательно, и развитие её, а с другой – государственному казначейству материальные выгоды. Отсюда вывод: и правительство в качестве оберегателя государственного добра, и общественное управление, пекущееся об интересах и удобствах городского населения, должны сойтись на этом пути и совместно способствовать осуществлению целесообразных в данном вопросе мероприятий.

Из сказанного можно вывести заключение, что осуществление проекта Комиссии, предлагающего с одной стороны электрификацию пригородных железных дорог, а с другой – проникновение их внутрь города, является делом не только целесообразным, но и необходимым в интересах как железных дорог, так и городского населения, и этот вывод вряд ли может быть оспориваем.

Предложение Комиссии о проникновении железных дорог в город является, по моему мнению, не чем-либо новым, а лишь разумным применением осуществлённых мер в крупных населённых центрах Америки и Европы, находившихся в таких же условиях относительно передвижения, в каких ныне находится Петербург. Для освещения вопроса интересно будет проследить, какие обсуждения предшествовали осуществлению этих мер в европейских и американских крупных центрах и какие получились результаты после осуществления их. Из крупных центров Европы ближе к нашим условиям подойдут города Берлин и Вена. В сферах общественных городских управлений этих городов опасались, что

проникновение железных дорог в город нанесёт существенный ущерб не только городскому хозяйству, но и городскому частному имуществу. Говорилось, что железные дороги, проложенные через город, не ограничиваясь удовлетворением пригородного передвижения, без сомнения, будут выполнять попутно и чисто городское передвижение и отвлекут от городских трамваев известное число пассажиров, отчего уменьшится доход городских перевозочных предприятий. С другой стороны, опасались, что удобства передвижения, способствуя расселению жителей столицы в пригороды, понизят цены на квартиры, а от этого пострадают не только домовладельцы, но и городское казначейство, которое облагает недвижимые имущества пропорционально доходности.

Вот что на эти опасения отвечает статистика г. Берлина. В 1885 году в начале открытия городской окружной жел. дороги было перевезено:

Окружной городской ж.д. – 15,2 млн пассажиров,

Трамваями – 85,5

Омнибусами – 16,1

Всего – 116,8

В 1902 году по городской окружной железной дороге было перевезено уже – 91,7 млн пассажиров.

Трамваями 3 – 62,6

Омнибусами – 78,7

Всего – 533,0

т.е. в течение 17 лет число трамвайных пассажиров увеличилось на – 277 миллионов, а в 1907 году было перевезено:

Окружной городской ж.д. – 148,9 млн пассажиров

Трамваями – 504,8

Омнибусами – 140,6

Всего – 794,3

т.е. за пять лет число трамвайных пассажиров увеличилось на 142,2 млн. Эти данные с очевидностью доказывают, что сооружение в Берлине окружной городской железной дороги не только не отвлекло от трамваев пассажиров, а наоборот, оно способствовало увеличению числа и трамвайных перевозок, и омнибусных, и вообще возрастило всего передвижения по городу, ибо в Берлине в 1885 году на одного жителя падало 82 поездки, а в 1907 году 265 поездок. Такой сильный рост как трамвайного, так и омнибусного передвижения следует приписать, главным образом, осуществлению окружной городской линии, которая дала возможность избежать скученности





заселения центральных частей города и перенести часть обывателей на окраины города. Поезда окружной и городской железной дороги являются собирательным аппаратом с отдалённых частей города, доставляя массу населения в центральные части его, откуда она уже по трамваям и в омнибусах направляется по местам работы или торговли. Если, может быть, городская окружная железная дорога отвлекает некоторую часть пассажиров, то только исключительно едущих на далёкие расстояния. На близкие расстояния она не может отвлекать пассажиров, хотя бы по чисто тарифной причине, ибо на маленькие расстояния тариф городских железных дорог гораздо выше трамвайного. Но зато она увеличивает число трамвайных пассажиров на близкие расстояния, каковые пассажиры для трамвайного хозяйства более выгодны.

В Вене в 1895 году не было городских железных дорог, а на трамваях перевозилось 70,5 млн пассажиров; в 1902 году городские железные дороги перевезли 33,8 млн пассажиров, а трамваи 145 млн пассажиров, омнибусы 17,8 млн пассажиров. В 1907 году городские железные дороги перевезли то же количество пассажиров, что и в 1902 году, трамваи же перевезли 216,9 млн пассажиров, а движение омнибусов упало до 13,9 млн пассажиров; таким образом число трамвайных пассажиров за 12 лет увеличилось на 146,4 миллион. И здесь мы замечаем ту же картину, что и в Берлине: сооружение городской линии способствовало развитию трамвайного движения, а отнюдь не сокращению его. Я мог бы привести аналогичные данные и по многим другим городам, но ограничусь данными Вены и Берлина, как городов, более близких по условиям, а также и по количеству их населения к Петербургу, как равно и по процентному росту населения (в Вене в 1907 году было около 2 млн жителей, рост около 4 % в год; в Берлине около 3 млн и рост около 5 % в год).

Что касается второго опасения — о том, что городские дороги, способствуя расселению городских жителей в пригороды, являются причиной падежа цен на городские частные недвижимые имущества, то я думаю, что не стоило бы на этом и останавливаться, ибо вряд ли можно согласиться с таким положением, которое жертвовало бы интересами массы населения в пользу богатого меньшинства, живущего за счёт

этой массы. Я не думаю, чтобы кто-либо из вас здесь присоединился к голосу *тех* граждан Вены и Берлина, которые там противодействовали осуществлению городских железных дорог из опасения, что наёмная плата за квартиры упадёт. Вам, понятно, желательно освещение этой части вопроса, поскольку он относится к возможности уменьшения дохода городского казначейства якобы от падения стоимости городских частных недвижимых имуществ. Ни в Берлине, ни в Вене с момента сооружения городских железных дорог, цены на квартиры в центральных частях города благодаря расселению на окраины не упали, на окраинах же городов, наоборот, сильно увеличились, дали большой прирост обложения городских недвижимых имуществ. Может быть, цены на помещения в центральных частях перестали подниматься с той поразительной быстротой, с какой они поднимались ранее. Здесь в квартирном вопросе наступили нормальные условия, и рост квартирного найма пошёл по кривой общего роста вообще стоимости жизни. Если обратимся к бюджетам городских управлений этих двух городов после сооружения городских железных дорог, то в бюджетах мы не усмотрим падения, а наоборот — заметим более быстрый рост доходов. Городской бюджет зиждется на благосостоянии массы населения. Если эта масса сэкономит на квартирной плате, то эту экономию она употребит на что-либо другое, улучшающее жизнь, и доля этих добавочных расходов попадает тем или иным путём в городское казначейство не в меньшей пропорции, чем налог с недвижимых имуществ.

Возвращаясь к проекту, о котором сегодня здесь докладывается, нужно сопоставить те условия, которые создадутся в городском передвижении в случае проникновения пригородных дорог в город, с существующими в настоящее время средствами городского передвижения.

Вряд ли можно признать, что существующие культурные средства передвижения, т.е. трамваи в городе в состоянии в полной мере удовлетворить нужды городского передвижения. Мы видим, что в интенсивные часы передвижения — утром, когда открываются служебные и торговые учреждения, и вечером, когда они закрываются, трамваи переполняются до недопустимых размеров, и пассажирам подолгу приходится ждать на остановочных пунк-

так очереди; мы видим, что население Петербурга, благодаря невозможности пользоваться трамваями вследствие их недостаточности, принуждено пользоваться дорогим извозчичим передвижением. Городское управление в настоящее время озабочено изысканием средств к разгрузке центральных трамвайных линий, ибо перевозка их, кроме всего прочего, наносит вред и самому трамвайному хозяйству. Ограничиться теми линиями, которые уже сооружены, нельзя, — необходимо продолжить осуществление всей сети; сооружённые линии составляют меньшую часть этой сети городских трамваев. Если в настоящее время существует такая перегрузка, то какова она будет, когда начнут действовать линии, скажем, второй очереди. Ведь эти новые линии усилият прилив пассажиров к центральным линиям, ибо главное движение направляется к центральной части города, где расположены правительственные, общественные и торговые учреждения. Положение может стать критическим, и мне кажется, что не следует приступать к сооружению трамваев последующих очередей прежде, чем будут изысканы средства к разгрузке существующих линий.

При таком положении перевозочных городских средств, мне кажется, не может быть места вопросу об отвлечении пассажиров проектируемыми городскими линиями от городских трамваев; если бы такое отвлечение могло иметь место, то этому следовало только радоваться.

Другое дело — вопрос об участии города в осуществлении намеченных Комиссией городских линий.

Комиссия, выработавшая проект, в целях обеспечения единства хозяйства эксплуатации, полагала осуществление всего проекта казною, которой принадлежат, за малым исключением, почти все линии, прилегающие к Петербургу. Правда, и в Берлине, и в Вене, и даже в Париже дороги проектированного типа осуществлены казною. Лично я с этим мнением Комиссии расхожусь, но в Комиссии этот вопрос весьма мало и дебатировался. Я думаю, что в вопросе о проведении через город железных дорог, хотя бы даже с преобладающей целью урегулировать пригородное движение, раз эти дороги выполняют функции и чисто городского передвижения, никоим образом нельзя игнорировать права города на эксплуатацию перевозочных средств. Ограничить проектируемые дороги функцией передвижения

только пригородных пассажиров фактически невозможно, да и неразумно было бы лишать городское население удобного передвижения. На устройство линии для городского передвижения преимущественные права принадлежат городу, и городу принадлежит инициатива осуществления городских линий, путём ли выполнения их на свои средства, или же отдачей их в концессионное пользование, причём в таком случае концессия должна быть городская, а не правительственная, и право выкупа должно принадлежать городу так же, как и право безвозмездного перехода дороги к городу по окончании концессионного срока. Что же касается совместного движения городских линий с участками пригородных железных дорог, то в этом отношении буквально нет никаких технических препятствий: поезда пригородных железных дорог, без всяких бумажных или иных манипуляций, могут проникать на городские железные дороги и двигаться по ним. Дело заключается лишь в учёте чисто хозяйственного характера, весьма легко осуществимом.

Таким образом мы пришли не к отрицанию целесообразности осуществления городских линий, а к вопросу о способах их осуществления.

По подсчётом Комиссии, эксплуатация проектируемых городских дорог является выгодным предприятием. Но при обширности городского хозяйства вряд ли такие линии могут быть успешно эксплуатируемые самим городом. Правильнее было бы построить такие линии на городские средства и передать их на выгодных условиях в эксплуатацию частным обществам.

Но если, по той, или иной, причине или соображению, город стал бы мешкать с осуществлением потребных городских линий большой скорости, то нельзя будет пенять на правительство, если оно предпримет само их осуществление, несмотря на преимущественные права города: ведь речь идёт не только об урегулировании движения на железных дорогах, примыкающих к столице, но и о мерах, без которых в недалёком будущем железные дороги не окажутся в состоянии вовсе выполнять возрастающее движение. Правительство не может и не должно ставить безопасность движения и интересы государства и городских жителей в зависимость от посторонних соображений.

(Железнодорожное дело. — 1910. — № 28. — С. 151—155) •



DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-245-258>

The journal *Zheleznodorozhnoe Delo* [Railway Business] in 1910 reviewed in detail the discussion in City Duma [Council] of St. Petersburg on the report of the Commission of the Ministry of Railways, that suggested the project of comprehensive development of rail transport in the city. Using more modern terminology the discussion touched upon the aspects that are still of interest nowadays, comprising impact on urban planning and traffic jams in the downtown, private public partnership, mobility of population, system development of urban and suburban transit, possibility to use railways for intracity travels and relevant fares, prospect for construction of metro.

Keywords: city transport, urban and suburban railways, commuter trains, mobility, St. Petersburg.

The editors are grateful to the staff of the library of Russian University of Transport for their help in preparing the material.

On Improving the Conditions for Passenger Traffic on Suburban and Urban Railways of Petersburg Junction

In the Petersburg List of May 6, this year the following message has been published, not devoid of interest, according to its specific character:

Yesterday, on May 5, in the darkened Nikolayevsky hall Mr. Taburno read to the general presence of the council a report on his project for arrangement of suburban trams with a direct connection through city roads.

This report was attended by the mayor I. I. Glazunov, his deputy, members of the council, many public officials, representatives of the Ministry of Railways and Ing. Gorchakov, the chairman on this subject of the Government Commission.

Mr. Taburno accompanied his report with light pictures on the screen and said that all the work would cost about fifty-four million rubles.

The speaker set out in great detail the project, including the type of rails, track crossings, etc.

Mr. Taburno reported to the meeting about the proposed routes and in passing only mentioned that the city will receive a reward for the traffic on its territory.

Although there was no debate on the report, the audience, having entered the neighbouring Alexander hall, seemed to be divided into two parts.

Some, for example, member of the town council N. N. Pertsov, argued that sooner or later such a road should be arranged, that it would resolve the housing crisis in the central parts of the city, help populate the urban outskirts, raise profitability of real estate in these outskirts and, consequently, raise the citywide estimate levy on real estate.

This group of members of the town council referred to the example of Berlin, where with a similar type of road, city tram traffic increased eight and a half times in just twenty-five years.

Opponents objected that the population of Berlin had more than doubled in twenty-five years.

In addition to the suburban trams, there were many reasons that increased Berlin tram traffic.

The most important thing in these cases is abundance of city tram lines.

And if we had trams of the second and third stages [of earlier planned], the traffic on the first stage would also quadruple.

In general, it must be confessed that the attitude of the members of the town council

to the project of Mr. Taburno was rather sour.

— There is no doubt that a suburban tram connected to city lines will be useful, but the question is — for whom?

Most likely, for Mr. Taburno himself, and to those who will build this tram, but in no case for the city.

The congestion of narrow streets is already very high.

And if this traffic congestion is also increased by transit traffic through the city, then no good can be expected from this.

The «Little Duma» decided upon receipt of an official draft from the Ministry of Railways, which does not coincide with the views and intentions of Mr. Taburno, to send this official draft to all publics and put the issue on the agenda of the Duma, without expressing any personal opinion, but leaving the Duma to do what it wants.

From the Editor. This message was delivered to us incidentally — and in other newspapers something similar was probably placed. As hastily written, it is not accurate. So, for example, in the 1st and 3rd paragraphs it is said that Mr. Taburno reported «his» project, while he reported not his own project, but a draft drawn up by the Commission, the chairman of which is named in the 2nd paragraph; he did not even report on the technical side of the project: engineers Belago and Rudnitsky, former members of the same Commission, reported on it. As for the question — to whom this project would benefit, which was the subject of the report read by the engineer Taburno himself, the reader will learn about this in detail from the following presentation of this report, to which, however, we preface article of Mr. Gorodsky, published last autumn. It seems to us to be one of the most deliberate newspaper articles on this issue.

In conclusion, we quote from addendum No. 5 to Izvestia of the Meeting of Railway Engineers No. 26 dated May 8 this year, that «the Ministry of Railways submits for preliminary consideration of the Council of Ministers the issue of permission to conduct surveys and drafting a project for electrification of suburban areas of the North-West Railways with arrangement of a central power station on the river Volkhov, as well as subject to an experimental survey the question of the best method for arranging a high-voltage

transmission line in the current 1910 and opening of a special loan for this subject in the amount of 125 thousand rubles, and in case of their insufficiency — on the balances according to the general list of income and expenses for the same year».

Probably, the employee of Petersburg List had this project in mind, calling it in the last paragraph of his note that it did not coincide with the views and intentions of Mr. Taburno, in fact, of the mentioned Commission. But this project will affect the interests of the city only to a small extent, and the City Duma is unlikely to find anything to say against it.

I. Article of Mr. Gorodsky entitled «Petersburg Metro»

The government again returned to what it had refused seven or eight years ago: to the metro.

Then an engineer Mr. Balinsky was the author of the project and the initiator. Ministry of Finance headed by Mr. S. Yu. Witte warmly supported the idea of the metro. Representatives of other ministries were also sympathetic in the special Commission for construction of this city railway enterprise.

But the metro project had two strong opponents: Petersburg city public administration and the then all-powerful Minister of the Interior Mr. Plehve.

As a result, the opponents of the metro prevailed over the current favourable for this enterprise: the project was rejected...

And now, already on the initiative of government agencies, a new project has been developed, the work of Mr. Balinsky was undoubtedly its prototype.

And again, among the opponents, we see St. Petersburg city administration.

The views of other stakeholders have not yet emerged.

The city puts forward the same arguments as before, the same arsenal of arguments against the metro.

But most of all, our Duma is offended by the fact that the Ministry of Railways, from the depths of which the project came out, did not reckon with the city as with the public authority, which disposes of the rights of the owner in the capital.

One cannot but agree that even when solving problems of state benefit and importance, nevertheless, if these problems





violate or affect the interests of city management, the city could not be ignored.

But the Commission of Active State Councillor Gorchakov invited representatives of the city to participate in the meetings. They took part in one of the meetings and spoke out against the metro project.

Here, in essence, there was a twofold mistake: in such serious matters it is necessary that the Commission should have a deputy from the Duma, supplied with appropriate directives, and not members of the city council who spoke on their own behalf. The Duma's point of view on creation of metro in St. Petersburg is still unknown. Let's say more: the Duma does not even know the essence of the project, its main parts and goals.

It has only private information at its disposal: the road will be constructed using electric traction; will pass through the centre of the capital — Litovskaya Street along an overpass, cross Nevsky Prospect, go out onto the Neva, here it will cross a special bridge to Vyborg side, connect with Finlyandskaya road and the freight station of Primorskaya road, etc.

The purpose of metro is to unite all the stations and to promote the correct resettlement and thinning of the capital's population by attracting it to the outskirts and summer cottages located on the railway lines.

Here is everything that is known about the metro in the city government.

Even with such fragmentary information, one cannot but sympathize with the idea of a new railway enterprise. If the Duma speaks out and will speak out even more firmly against the metro, it is solely due to the fact that it is dominated by homeowners. The projected road, embracing the capital in a wide semicircle, will cause certain damage to the central household. The Petersburg tram was built in such a way that it could not and cannot free the population from the cramped and crowded life. It serves arteries and areas in which city life is in full swing and little distraction of the population to undeveloped and healthy areas. Consequently, the project of the metro, developed by the government, is fully in the interests of the poorest population, suffering from the high cost of apartments, air and soil pollution. That the city ticket office may suffer from the competition between the metro and trams is a very special issue. One

must think that the government will be able to compensate the city's losses.

It is unforgivable for the city to come out with all sorts of instruments of counteraction to an undoubtedly useful enterprise. It knows very well that it will never dare to spend 40 million to create this railway semicircle, which brings so many valuable benefits to the way of city life, it will never even come close to this idea.

Its whole task in this matter, it seems to us, should be reduced to deriving great material benefits from this enterprise. In this regard, the State Duma will probably also support it, which should authorize loans for the metro.

St. Petersburg Vedomosti, dated November 1, 1909, No. 245.

From the Editor. And this article needs some clarification. Firstly, the project of the Commission, reported on May 5, in technical respect has very little in common with the project of engineer Balinsky. Secondly, for the Commission that developed the project, the recall of the entire City Duma was not at all necessary. The Commission had to find out if the St. Petersburg City Administration was currently making up any favourable exception in their views on feasibility and profitability of such structures, and two members of the City Administration who participated in the meeting of the Commission and spoke out against the project turned out to be quite competent. Thirdly, the chairman of the Commission, according to his previous relations with the Moscow Circle Road, has long been familiar with these views and was inexpressibly surprised and delighted if St. Petersburg City Duma did not share the statements of the aforementioned members of the City Council. Fourthly, out of other interested parties' representatives of the military department spoke out against the project and, we must give them full justice, they did everything possible for them to drop the project, defending the construction of Zaokhtenskaya line currently under construction. The future, of course, will show how much this insistence of representatives of the military department costs the country and the population of St. Petersburg. In essence, they freed the project from unnecessary appendages, introduced for the sake of general economy, but increased the cost of the project itself.

II. Interests of the city of Petersburg in the project for improving the conditions of suburban passenger traffic on the roads of Petersburg railway junction drawn up by the Commission of the Ministry of Railways

Reported by a member of the named Commission P. Taburno to the City Duma of small composition on May 5, 1910 after other persons reported on the technical part of the project.

Let me, Dear Sirs, add some data and general considerations to the technical part of the project just outlined.

The Commission formed by the Ministry of Railways, which developed this project, had the task of resolving the issue of transporting passengers in suburban traffic on the railway lines adjacent to Petersburg. For these railways, this question has become acute: overcrowding of trains is enormous, suburban traffic is growing by more than 7 % a year, so that in some ten years it will almost double. If at the present time this suburban traffic is in abnormal conditions, and if radical measures are not taken to improve it, then in a relatively short period of time railways of Petersburg junction will find themselves in a completely hopeless situation. In some 5–10 years, the existing traffic will greatly increase, and in fact a 5-year period is the period by which it will only be possible to implement those measures that are most likely to be able to streamline and bring suburban traffic into proper form. Therefore, it is natural that the Ministry of Railways is now taking care of drawing up a rational plan of appropriate measures. The Commission, which was developing the interpreted project of resolving the problem of satisfying suburban traffic from Petersburg and to Petersburg, of course, had to touch the interests of the urban population, both of the population itself and of the urban economy, because, in essence, the issue it resolves concerns almost exclusively urban residents. But regardless of the fact that, in resolving the intended issue, due to technical conditions it was necessary to touch on urban interests, the Government, as the supreme manager over the entire state, cannot be alien to the interests of large urban centres, especially the capital of the Empire, in relation to both economic, and hygienic living conditions of the population.

It is unlikely that anyone would dispute that the inhabitants of the Russian capital, due to

unfavourable, mainly climatic, and, in part, hygienic conditions, need more than residents of any not only European, but also Russian city, in living for some seasons in more favourable conditions. Meanwhile, residents of St. Petersburg use their dacha life in very limited quantities. Judging by the statistics of passenger transportation in suburban traffic, less than 10 % of St. Petersburg residents have the opportunity to use their dacha life for 3–4 summer months. This percentage is very low, and not only the Government, but mainly the self-government should have sought all kinds of measures to promote spread of dacha life, even if these measures required some sacrifices on the part of the city treasury, since these direct sacrifices would indirectly pay off by improving health and reinforcement of the body, if not all, then part of the population, which is achieved by staying for several months in fresh and healthy air. The main obstacle to development of dacha life should be considered inconvenience of travelling, because not one, not two or three times a month a summer resident needs to come to Petersburg and leave Petersburg, but every day. Every extra half hour spent on travel is very expensive for the middle and low-income class of the population. Only rich people have the luxury of not reckoning with waste of time; the poorer is a person, the more expensive is each minute, and that is why the main conditions should be considered: speed of movement and minimum loss of time while waiting for transportation. Both conditions in existing commuter vehicles are far from satisfactory. The project developed by the Commission, which we are talking about here, should be considered the most satisfying these two conditions – speed of movement and maximum density of dispatched and arriving transport units.

The Commission that developed the project, reported to you here, came to the conclusion that the only way to properly function from the technical side of operational conditions is not only the transition of suburban railways to electric traction, which gives traffic maximum flexibility, but also construction of one, and subsequently two, three lines, crossing the city and designed in such a way that they form a continuous ring along which trains would move without any manoeuvres.

With implementation of the project outlined by the Commission, as it is clear from



detailed calculations, suburban traffic, which is now unprofitable for state-owned railways, can become profitable not only without an increase in transportation fees, but even with a decrease in it. Thus, implementation of this project promises urban inhabitants an improvement in the means of transportation for summer cottage life, and, consequently, its development, and on the other hand, material benefits for the state treasury. Hence the conclusion: both the Government, as a guardian of state property, and public administration, taking care of the interests and conveniences of the urban population, must converge on this path and jointly contribute to implementation of appropriate measures in this matter.

From the foregoing, it can be concluded that implementation of the Commission's project, proposing, on the one hand, electrification of suburban railways, and on the other, their penetration into the city, is not only expedient, but also necessary in the interests of both railways and the urban population, and this conclusion can hardly be disputed.

The Commission's proposal on penetration of railways into the city is, in my opinion, not something new, but only a reasonable application of the measures taken in the large population centres of America and Europe, which were in the same conditions of traffic as Petersburg meets now. To highlight the issue, it will be interesting to trace what discussions preceded implementation of these measures in European and American major centres and what results were obtained after their implementation. From the large centres of Europe, the cities of Berlin and Vienna are closer to our conditions. In the spheres of public city administrations of these cities, they feared that penetration of railways into the city would cause significant damage not only to the city economy, but also to city private property. It was said that railways laid through the city, not limited to satisfaction of suburban traffic, would no doubt carry out purely urban traffic along the way and would distract a certain number of passengers from city trams, which would reduce income of urban transportation enterprises. On the other hand, they feared that convenience of movement, facilitating resettlement of residents of the capital in the suburbs, would lower apartment prices, and this would affect not only homeowners, but also the

city treasury, which taxes real estate in proportion to profitability.

This is what the statistics of the city of Berlin answers to these fears. In 1885, at the beginning of opening of the circle city railway, were transported by:

Circle city railway – 15,2 mln passengers,

Trams – 85,5

Omnibuses – 16,1

Total – 116,8

In 1902 already 91,7 mln passengers were transported on circle city railway.

Trams – 362,6

Omnibuses – 78,7

Total – 533,0

that is over 17 years the number of tram passengers increased by 277 million, and in 1907 were transported by:

Circle city railway – 148,9 mln passengers

Trams – 504,8

Omnibuses – 140,6

Total – 794,3

that is over five years, the number of tram passengers increased by 142,2 million. These data clearly prove that construction of Berlin city railway not only did distract passengers from trams, but, on the contrary, it contributed to an increase in the number of travels by tram, and omnibus, and in general, an increase in all travels around the city, for in Berlin in 1885 82 trips fell per inhabitant, and in 1907 265 trips per inhabitant. Such a strong growth in both tram and omnibus traffic should be attributed mainly to implementation of the circle city line, which made it possible to avoid crowding in the central parts of the city and move some of the inhabitants to the outskirts of the city. Trains of the circle and city railways are a collecting apparatus from remote parts of the city, delivering mass of the population to the central parts of it, from where it is sent by trams and omnibuses to places of work or trade. If, perhaps, the circle city railway distracts some of the passengers, then only travelling exclusively over long distances. For short distances, it cannot distract passengers, at least for a purely tariff reason, because for short distances the tariffs of city railways are much higher than of the tram. But on the other hand, it increases the number of tram passengers for short distances, and those passengers are more profitable for the tram industry.

Vienna in 1895 had no urban railways, and trams carried 70,5 million passengers; in 1902



city railways carried 33,8 million passengers, trams – 145 million passengers, omnibuses – 17,8 million passengers. In 1907, city railways carried the same number of passengers as in 1902, trams carried 216,9 million passengers, and omnibus traffic dropped to 13,9 million passengers; thus, the number of tram passengers over 12 years increased by 146,4 million. And here we notice the same picture as in Berlin: construction of the city line contributed to development of tram traffic, and by no means to its reduction. I could cite similar data for many other cities, but I will confine myself to data from Vienna and Berlin, as cities that are closer in terms of conditions, as well as in terms of their population, to Petersburg, as well as of the percentage growth of population (Vienna in 1907 had about 2 million inhabitants, an increase of about 4 % per year; Berlin had about 3 million and an increase of about 5 % per year).

As for the second fear – that urban roads, contributing to resettlement of urban residents in the suburbs, will cause a drop in prices for urban private real estate, I think that it would not be worth stopping at this, because one can hardly agree with this situation, which would sacrifice the interests of masses of the population in favour of a wealthy minority living off those masses. I do not think that any of you here would join the voice of those citizens of Vienna and Berlin who opposed implementation of the city desires there for fear that the rent for apartments will fall. You, of course, would like to cover this part of the issue, since it refers to the possibility

of reducing the income of the city treasury, allegedly from the fall in the value of urban private real estate. Neither in Berlin nor in Vienna since the construction of the city railways, the prices for apartments in the central parts of the city did not fall due to settlement in the outskirts, while on the outskirts of the cities, on the contrary, they increased greatly, gave a large increase in taxation of urban real estate. Perhaps prices for premises in the central parts have stopped rising with astonishing speed with which they had risen earlier. Here in the housing issue, normal conditions have come, and the growth in apartment rent has followed the curve of the general growth in the general cost of living. If we turn to the budgets of the city administrations of these two cities after construction of urban railways, then we will not see a fall in the budgets, but on the contrary, we will notice a faster growth in income. The city budget is based on the well-being of the mass of the population. If this mass saves on rent, then it will use this savings on something else that improves life, and a share of these additional expenses one way or another ends up in the city treasury in no less proportion than the tax on real estate.

Returning to the project, which is being reported here today, it is necessary to compare the conditions that will be created in urban traffic in the event of penetration of suburban roads into the city with the currently existing means of urban transportation.

It can hardly be recognized that the existing cultural means of transportation, i.e., trams in



the city, are able to fully satisfy the needs of urban movement. We see that during busy hours of travel – in the morning, when office and trading establishments open, and in the evening, when they close, trams are overcrowded to unacceptable sizes, and passengers have to wait for a long time at stopping points; we see that the population of St. Petersburg, due to inability to use trams due to their inadequacy, is forced to use expensive cabs. The city administration is currently concerned with finding funds to unload central tram lines, because overloading them, among other things, harms the tram economy itself. It is impossible to restrict oneself to those lines that have already been built – it is necessary to continue implementation of the entire network; the lines constructed make up a smaller part of this city tram network. If there is such an overload at present, then what will it be when the lines of, say, the second stage start operating. After all, these new lines will increase the flow of passengers to the central lines, since the main traffic is directed to the central part of the city, where government, public and commercial institutions are located. The situation may become critical, and it seems to me that we should not start building the trams of the next stages before funds are found to unload the existing lines.

With such a position of urban transportation means, it seems to me, there can be no place for the question of diverting passengers by projected city lines from city trams; if such a distraction could take place, then this should only rejoice.

Another matter is the question of participation of the city in implementation of the city lines outlined by the Commission.

The Commission that developed the project, in order to ensure the unity of the economy of operation, considered that the implementation of the entire project will be carried out by the treasury, which, with a few exceptions, owns almost all the lines adjacent to St. Petersburg. True, in Berlin, and in Vienna, and even in Paris, the roads of the projected type were carried out by the treasury. Personally, I disagree with this opinion of the Commission, but in the Commission this issue was less debated. I think that on the issue of building railways through the city, even if only with the overriding goal of regulating suburban traffic, since these roads perform functions of

purely urban traffic, in no way can the city's right to operate transportation facilities be ignored. It is virtually impossible to restrain the projected roads to the function of carrying commuter passengers only, and it would be unreasonable to deprive the urban population of convenient transportation. On construction of a line for urban movement, priority rights belong to the city, and the city has the initiative to implement city lines, whether by implementing them at its own expense, or by giving them to concession use, and in this case, the concession should be urban, not governmental, and the right of redemption should belong to the city in the same way as the right to transfer the road to the city free of charge at the end of the concession period. As for joint movement of urban lines with sections of suburban railways, there are literally no technical obstacles in this respect: trains of suburban railways, without any paperwork or other manipulations, can enter and move along urban railways. The point is only in accounting for a purely economic nature, which is very easy to be implemented.

Thus, we came not to deny feasibility of implementing city lines, but to the question of how to implement them.

According to the Commission's calculations, operation of the planned urban roads is a profitable undertaking. But given vastness of the urban economy, such lines are unlikely to be successfully operated by the city itself. It would be more correct to build such lines with city funds and transfer them on favourable terms to private companies for operation.

But if, for one reason or another, or consideration, the city began to delay implementation of the required high-speed city lines, then the Government cannot be blamed if it undertakes their implementation, despite the city's priority rights: after all, this is not only on regulation of traffic on the railways adjacent to the capital, but also on measures without which in the near future railways will not be able to carry out the increasing traffic at all. The Government cannot and should not make traffic safety and the interests of the state and urban residents dependent on extraneous considerations.

(Zheleznodorozhnoe Delo [Railway Business], 1910, No. 28, pp. 151–155) •



**ИСТОРИЯ
ТРАНСПОРТА
В СТИХАХ 260**

Как лучшие поэты России XIX века выражали своё мнение о планах строительства железных дорог.

АВТОРЕФЕРАТЫ 270

- Управление автономными инверторами напряжения асинхронных электродвигателей тепловозов.
- Универсальная компоновочная схема металлоконструкций грузовых тележек кранов мостового типа.
- Автоматизация регулирования пассажиропотока при проведении крупномасштабных культурно-массовых мероприятий.
- Ограничение эксплуатации индивидуальных транспортных средств в загруженной части города в период наибольшей плотности транспортного потока.

**НОВЫЕ КНИГИ
О ТРАНСПОРТЕ 275**

Научные и учебные издания российских и международных издательств.

**HISTORY
OF TRANSPORT
IN POEMS 265**

On how the best Russian poets of 19th century expressed their opinions about the construction of railways.

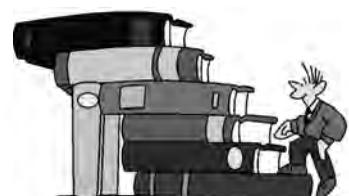
**SELECTED
ABSTRACTS
OF PH.D. THESIS 272**

- Control of autonomous voltage inverter of asynchronous electric motors of diesel locomotives.*
- Universal layout scheme of metal structures of cargo bogies of bridge-type cranes.*
- Automation of regulation of passenger traffic during large-scale cultural events.*
- Restraining operation of individual vehicles in a busy part of the city during the period of the highest traffic density.*

**NEW BOOKS ON
TRANSPORT AND
TRANSPORTATION 276**

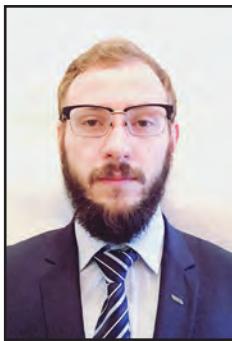
New manuals and scientific editions offered by Russian and international publishing houses.

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ • BIBLIO-DIRECTIONS





Журнал «Современник» о железной дороге (социально-экономический анализ)



Разубаев Алексей Дмитриевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

Алексей РАЗУБАЕВ

Статья посвящена анализу поэтических произведений авторов середины XIX века, публиковавшихся в литературном и общественно-политическом журнале «Современник» и масштабно осветивших тему сооружения железных дорог в Российской Империи. Процитированы выбранные места из произведений таких авторов, как А. С. Пушкин, Н. А. Некрасов, Н. А. Добролюбов, А. А. Фет, Я. П. Полонский. Показан содержащийся в произведениях авторов социально-экономический анализ проблем, связанных с сооружением в России первых железных дорог. Сделан вывод о заинтересованности авторского коллектива журнала «Современник» темой сооружения

и эксплуатации железных дорог как одной из наиболее общественно значимой и перспективной.

Отредакции. Вместо традиционной для данного раздела рецензии на научно-технические или учебные издания читателям предлагается оригинальный анализ творчества писателей и поэтов XIX века под углом зрения истории транспорта и, в частности, социально-экономических аспектов его развития. Надеемся, что материал даст, в том числе, возможность убедиться, насколько важна деятельность транспорта, какое внимание самых широких кругов общества она способна привлечь, как два века тому назад, так и сейчас.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, железнодорожное строительство, социально-экономический анализ, журнал «Современник», литература, поэзия.

*Информация об авторе:

Разубаев Алексей Дмитриевич – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры экономики транспортной инфраструктуры и управления строительным бизнесом Российского университета транспорта, Москва, Россия, razubaevalex@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 18.08.2019, принятая к публикации 27.01.2020.

For the English text of the article please see p. 265.

В середине XIX века существующие литературные направления описания и анализа социальных перемен в обществе затронули новое явление — появление в России первых железных дорог. В особенности стоит выделить поэтические произведения, посвящённые теме, на тот момент чугунных магистралей, и их авторов, которые неоднозначно относились к самому факту появления и нарастающей заинтересованности (увлечённости) государства в сооружении железных дорог, но при этом тонко чувствовавшие их потенциал. Анализируя поэзию, связанную с отношением общества к появлению железных дорог в России XIX века, весьма интересным представляется не разрозненное рассмотрение и разбор произведений отдельных авторов, а анализ их концентрированного проявления в печатном издании, которое в первой половине и в середине XIX века формировало литературные, политические и социальные взгляды большинства представителей российской интеллигенции. Это литературный и общественно-политический журнал «Современник».

Данное направление для исследования представляется интересным уже только потому, что один из главных издателей журнала, Н. А. Некрасов (с 1847 по 1866 год издателями были Н. А. Некрасов и И. И. Панаев), автор самого знаменитого стихотворения на данную тематику — «Железная дорога» (рис. 1), а основатель журнала — А. С. Пушкин, активно участвовал в обсуждении необходимости железных дорог в России.

Вначале следует пояснить, что социально-экономический акцент данной статьи, направленный на анализ поэтических произведений и точек зрения их авторов, связан с тем, что в поэзии мы привыкли подмечать точность употребляемых слов, стихотворный размер, аллегоричность и другие художественные приемы, но согласно задумке авторов (конечно, это могла быть не задумка, а простое стечеие обстоятельств, но какое экономически значимое!) стихотворения и мнения, посвященные такому резонансному событию, как сооружение железных дорог, как правило, содержали в себе оценку социально-экономической эффективности создания новых путей сообщения. И для обычного человека, и для сотрудника журнала в то время было понятно, что сооружение железнодорожных магистралей влечёт за собой значительные денежные вложения. Во многом, именно поэтому общество было разделено на два лагеря — за строительство и против него. Причём представители второго лагеря зачастую упоминали

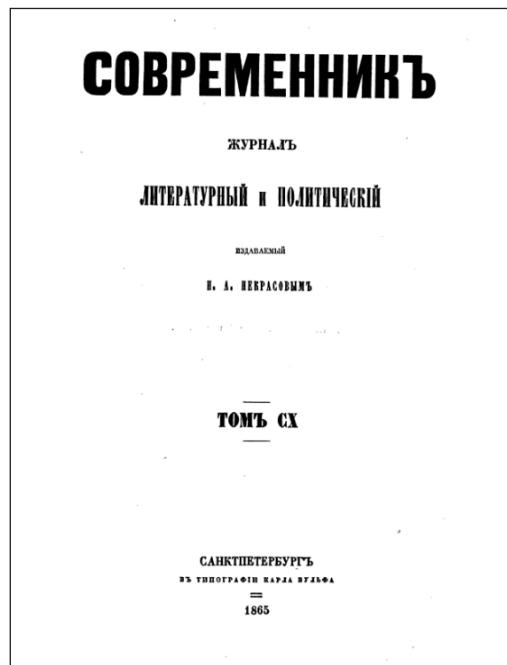


Рис. 1. Страницы журнала «Современник» с опубликованным в нём стихотворением Н. А. Некрасова «Железная дорога». Том 110, 1865 г. [1, с. 547].

именно на неоправданность значительных денежных вложений, особенно взятых из государственной казны.

Несмотря на то, что уже упомянуто «главное железнодорожное стихотворение» за авторством Некрасова, начать, пожалуй, стоит с основателя журнала, А. С. Пушкина, чье отношение к железным дорогам было далеко неоднозначно. О заинтересованности Александра Сергеевича темой строительства железных дорог в России говорит уже то, что он был одним из участников оживленной дискуссии наряду с учёными и инженерами [2]. Задокументированное мнение А. С. Пушкина о железных дорогах приведено в работах [3, с. 78–83; 4], где он стал вначале косвенным, а затем вовлечённым участником полемики.

История началась в 1830 г. публикацией Н. П. Щеглова «О железных дорогах и преимуществах их над обыкновенными дорогами и каналами», и продолжилась в 1835 г. статьей Н. И. Тарасенко-Отрешкова, который высказывался однозначно против строительства железных дорог. Участие А. С. Пушкина начинается со статьи М. С. Волкова, профессора Института Корпуса инженеров путей сообщения, в которой тот конструктивно критикует Н. И. Тарасенко-Отрешкова и направляет её для публикации в «Современник». Но А. С. Пушкин





КРАТКОЕ НАЧЕРТАНИЕ ТЕОРИИ ПАРОВЫХ МАШИНЬ^(*).

Quippe p̄i vates, 'et Phœbe digni locuti,
Inventis aut qui vilit excoluere per artis,
Quique sui memores alios fecere merendo:
Onibus his nivea cinguntur tempora vitta.
— 6-я книга Энцикл., ст. 662—665.

1. О жидких стяжахъ (Fluides).

Наблюдатели природы, ставившие времена, старались воспользоваться силами, которыми она сама обрашает, для произведения движений механических. Первый, кажется, Архимед подымал свою винтовую (vis) воду съ глубины на верхъ. Одинъ изъ древнихъ Греческихъ философовъ подарилъ человечеству обыкновенный насосъ, которого однако дейстівствѣ, въ теченіи 2000 лѣтъ, т. е. до самаго Галлика, оставалось безъ точнаго физического истолкованія.

(*) Когда неизбывший издатель «Современника» убѣжалъ изъ быть его сотрудникомъ въ этомъ журналь, я представилъ ему, безъ всякой лирической скромности, безъ всякихъ увертокъ самонѣла, сколько сухихъ статей ми, по моему мнѣнію, должны были казаться неумѣстными въ перводѣльныхъ листахъ, одной лѣтковой литературѣ посвященными. Не такъ думалъ Пушкинъ: онъ говорилъ, что иногда случалось ему читать въ некоторыхъ изъ вашихъ журналахъ, полезныя статьи о изукахъ естественныхъ, переведенные изъ иностранныхъ журналовъ или книгъ; но что переводы въ такомъ го-

Рис. 2. Страница журнала «Современник» с опубликованной в нём статьей П. Б. Козловского «Краткое начертание теории паровых машин». Том 7, 1837 г. [6, с. 51].

статью публиковать не сталъ, объяснивъ причины въ письме В. Ф. Одоевскому: «Статья г. Волкова въ самомъ дѣлѣ очень замечательна, дельно и умно написана и занимательна для всякаго. Однако же я еї не помещу, потому что, по моему мнѣнію, правительству вовсе не нужно вмешиваться въ проект этого Герстнера. Россия не можетъ бросить 3 000 000 на попытку. Дело о новой дороге касается частныхъ людей: пускай они и хлопочутъ. Всё, что можно имъ обещать, такъ это привилегию на 12 или 15 лет. Дорога (железная) изъ Москвы въ Нижний Новгород еще была бы нужнее дороги изъ Москвы въ Петербург — и мое мнѣніе было бы: съ неё и начать... Я, конечно, не противъ железныхъ дорогъ; но я противъ того, чтобъ этимъ занялось правительство. Некоторые возражения противъ проекта неоспоримы. Например, о заносе снега. Для сего должна быть выдумана новая машина, *sine qua non*¹. О высылке народа или о найме рабочниковъ для сметания снега нечего и думать: это нелепость» [3, с. 81—82]. При этомъ желаніе опубликовать материалъ на железнодорожную тематику было у Александра Сергеевича въ планахъ, поэтому на страницахъ журнала онъ писалъ:

1 Необходимое условие (лат.).

«Я просилъ князя Козловского дать мне статьи о теории паровыхъ машинъ, теперь, когда Герстнер заканчиваетъ свою чугунную дорогу между столицей и Царскимъ Селомъ, всемъ намъ нужно понять и усвоить великое изобретение, которому принадлежитъ будущее». Статья П. Б. Козловского «Краткое начертание теории паровыхъ машинъ» была опубликована въ «Современнике» (рис. 2) въ VII томѣ [5, с. 6—14].

Изъ приведённыхъ выше материаловъ можно сделать выводъ о неоднозначности мнѣнія Пушкина насчетъ сооруженія железнодорогъ, такъ какъ онъ не былъ уверенъ въ эффективности данного проекта. Съ одной стороны онъ пишетъ про железнодороги, что «всемъ намъ нужно понять и усвоить великое изобретение, которому принадлежитъ будущее», а съ другой «Россія не можетъ бросить 3 000 000 на попытку. Дело о новой дороге касается частныхъ людей: пускай они и хлопочутъ». Этимъ А. С. Пушкинъ показываетъ, что онъ на сторонѣ прогресса, но противъ риска. Также онъ отмечаетъ и долгосрочность проекта строительства новой железнодороги, и еї длительную оккупаемость: «Всё, что можно имъ обещать [частнымъ людямъ], такъ это привилегию на 12 или 15 летъ». Интересно и его мнѣніе о частныхъ капиталахъ, необходимыхъ для строительства. Имелъ ли въ виду поэтъ то, что у государства и безъ железнодороги хватаетъ проблемъ, или онъ предвиделъ позицію С. Ю. Витте, который въ некоторыхъ своихъ трудахъ рассуждалъ о необходимости перевода железнодорогъ изъ казённого управления въ частное?! Въ любомъ случае это доказываетъ ещѣ и то, что А. С. Пушкина волновали не только технические вопросы (сложившийся исторический фактъ, что поэтъ сталъ авторомъ идеи снегоочистительной машины), но и экономическая составляющая грандиознаго проекта, въ которой онъ, по-видимому, придерживался подчёркнутой либеральной позиціи [7].

Возвращаясь къ Некрасову и его великому произведению, следуетъ отметить, что въ отличие отъ большинства авторовъ, чьи работы были посвящены потенциальному железнодорогамъ, скорости, ихъ прогрессивности и важности для Россіи, романтике путешествий, онъ, со свойственной ему произведениямъ лирической народной трагичностью, описываетъ именно неприглядную сторону социально-экономического положения, связанного со строительствомъ: тяжёлые условия труда, низкая заработка, сжатые сроки сдачи объектовъ и т.д. Если интерпретировать стихотворение на современный ладъ, то оно отражаетъ существовавшіе въ то время проблемы управления человеческими ресурсами,

неэффективности их использования и отсутствия средств механизации:

*Губы бескровные, веки упавшие,
Язвы на тощих руках,
Вечно в воде по колено стоявшие
Ноги опухли; колтун в волосах;
Ямою грудь, что на заступ старательно
Изо дня в день налогала весь век...
Ты приглядись к нему, Ваня, внимательно:
Трудно свой хлеб добывал человек!
Не разогнула свою спину горбатую
Он и теперь ещё: тупо молчит
И механически ржавой лопатою
Мёрзлую землю долбит! [8, с. 40].*

Безусловно, опубликованное в 1865 г. стихотворение «понравилось» государственным деятелям и застройщикам железных дорог, и во многом, благодаря этому в 1866 г., получив предварительно два предупреждения, журнал был закрыт [9; 10, с. 392].

У Некрасова отношение к строительству железных дорог было так же не однозначно, как и у А. С. Пушкина. Но, если у Пушкина нет определённого мнения о технико-экономическом благополучии железных дорог, то у Некрасова аналогичные тревоги за простой народ, за «мужиков». С одной стороны, он выражает скорбь из-за чрезмерной эксплуатации рабочих, а, с другой, подчёркивает, что дорога-то построена, оправдывает себя и народ сдюжил [10, с. 391].

Желание высказаться о набирающем темп развитии железных дорог на страницах журнала (более точно, в приложении к основному журналу – «Свисток») было и у одного из самых прогрессивных литературных критиков того времени, сотрудника «Современника» Н. А. Добролюбова [11, с. 185–186]. Как известно, он придерживался «левых» взглядов на устройство общества и проведение социальных реформ в отечестве (его публикация увидела свет лишь в 1886 году в «Русской старине»), поэтому именно через политическую сатиру Добролюбов старался передать привязанность многих общественных деятелей к «старине» и отторжение обществом очевидного прогресса. Стихотворение Добролюбова построено на фундаменте «русской развязности и непунктуальности», остром ощущении свободы, но при этом затрагиваются и социально-экономические проблемы. В начале стихотворения он в сатирическом ключе описывает противопоставление линейному движению поездов хаотичность движения гужевого транспорта:

*То ли дело с тройкой!
Мчусь, куда хочу я,*

*Без нужды, без цели
Землю полосуя.*

*Не хочу я, прямо –
Забирай налево,
По лугам направо,
Взд через посевы... [12, с. 513–514].*

Далее об иностранных инвестициях в строительство железных дорог и приобретении зарубежных машин он пишет:

*Сыплют иностранцы
Русские миллионы,
Чтобы русской воле
Положить препоны.*

Затем Добролюбов высмеивает все негативные высказывания о железной дороге, перечисляя опасения и проблемы, которые могут возникнуть при эксплуатации железных дорог в России. При этом в перечисленных проблемах мы видим явные экономические издержки, что было основной «визитной карточкой» противников строительства железных дорог:

*Не пойдёт наш поезд,
Как идёт немецкий:
То соскочит с рельсов
С силой молодецкой;
То обвалит насыпь,
То мосток продавит,
То на встречный поезд
Ухарски направит.
То пойдёт потише,
Опоздает вволю,
За метелью станет
Сутки трое в поле.*

Заканчивает Добролюбов стихотворение в том же сатирическом ключе, но при этом явно прослеживаются его личные убеждения и надежды на положительный исход появления железных дорог в России:

*Да, я верю твёрдо:
Мёртвая машина
Произвол не связает
Руси-исполина.
Верю: все машины
С русскою природой
Сами оживятся
Духом и свободой.*

Особенно интересны строки «Сами оживятся / Духом и свободой», где «оживятся» можно толковать как «приживутся». Такая уверенность Добролюбова в благотворности сооружения железных дорог соответствовала и сформировавшейся государственной позиции. Так, из указа Александра II «О сооружении первой сети железных дорог в России» от 26 января 1857 года следовало: «...Железные дороги, в надобности коих были у многих сомнения ещё десять лет, признаны ныне





всеми сословиями необходимостью для Империи и сделались потребностью народною, желанием общим, настоятельным» [13].

Отметим ещё одну интересную особенность, прослеживаемую у авторов «Современника» и других поэтов середины XIX века, чьи произведения писались на железнодорожную тематику. Она относится к упоминанию мостов, пожалуй, самого популярного искусственного сооружения на железной дороге. Так, у Н. А. Некрасова описательное: «Прямо дроженька: насыпи узкие, / Столбики, рельсы, мосты», у Н. А. Добролюбова сатирическое: «То обвалит насыпь, / То мосток продавит». В своём чувственном стихотворении «На железной дороге» (опубликованном в 1860 г. в журнале «Русский вестник») не чуждый журналу «Современник» Афанасий Фет пишет:

И, серебром облиты лунным,
Деревья мимо нас летят,
Под нами с грохотом чугунным
Мосты мгновенные гремят [14, с. 282–283].

А Я. П. Полонский в своём стихотворении 1868 года «На железной дороге» (опубликованном также в журнале «Русский вестник») сравнивает подвижной состав с «железным коньком» и отмечает шум от мостов:

Вон навстречу несётся лесок,
Через балки грохочут мосты,
И цепляется пар за кусты;
Мчится, мчится железный конёк,
И мелькают, мелькают шесты... [15, с. 108–111].

Стоит ли предполагать, что Я. П. Полонский написал своё стихотворение под впечатление от творения Фета? Вполне возможно, так как название, точно такое же, и в обоих стихотворениях отмечается грохот мостов, и место публикации – журнал «Русский вестник».

Помимо перечисленных авторов, железнодорожной теме в поэзии и прозе посвящали свои труды многие современники журнала, это П. А. Вяземский, В. А. Слепцов, Н. С. Лесков, В. Г. Бенедиктов, М. Е. Салтыков-Щедрин, А. Н. Апухтин и многие другие [16, с. 255].

Тема железной дороги в русской художественной литературе XIX–XX вв. была весьма популярна [17]. Чугунные, а затем стальные магистрали всё больше занимали умы прогрессивно мыслящей интеллигенции, значительная часть которой высказывалась через литературные произведения, критику и публицистику, сконцентрировалась в журнале «Современник». Важен тот факт, что ответственные издатели и сотрудники журнала были в большинстве своём представителями «новых людей» [3, с. 62;

11], и в своих произведениях при описании социально-экономических проблем Империи они часто уходили от «художественности» в пользу «реализма». Авторы своим примером, своими идеями и произведениями показывали, что никогда нельзя искусственно тормозить прогресс, что здравая оценка «нового» и его гармоничное существование со «старым» даст синергетический эффект. А железные дороги в этом процессе как в XIX в., так и сейчас играют ключевую социально-экономическую роль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный ресурс «Google. Книги». Журнал «Современник». Том 110, 1865 год. [Электронный ресурс]: <https://books.google.ru/books?id=xCoYAAAAYAAJ&pg=PA3#v=onepage&q&f=false>. Доступ 18.08.2019.
2. Александр Сахаров. Нужно понять и усвоить великое изобретение, которому принадлежит будущее... [Электронный ресурс]: <http://kolomna-biblio.narod.ru/TEXT/S/sa1.htm>. Доступ 18.08.2019.
3. Вульфов А. История железных дорог Российской империи. – М.: Рипол Классик, 2016. – 744 с.
4. Алексеев М. П. Пушкин и наука его времени (Разыскания и этюды) // Пушкин: Исследования и материалы / АН СССР. Ин-т рус. лит. (Пушкин. Дом). – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956.
5. Павлов В. Е. Первая Российская железная дорога массового пользования // Железнодорожный транспорт: Научно-теоретический технико-экономический журнал. – 2007. – № 9. – С. 6–14.
6. Информационный ресурс «Google. Книги». Журнал «Современник». Том 7, 1837 год. [Электронный ресурс]: <https://books.google.ru/books?id=3mg8AQAAIAJ&pg=PA51#v=onepage&q&f=false>. Доступ 18.08.2019.
7. Информационный ресурс «Livejournal», Блог f-husainov.livejournal.com. [Электронный ресурс]: <https://f-husainov.livejournal.com/419192.html>. Доступ 18.08.2019.
8. Некрасов Н. А. Стихотворения. Кому на Руси жить хорошо. – М., 1968. – 288 с.
9. Каширская Е. И. История письменности и книги. – М.: Искусство, 1955. – 356 с.
10. Жданов В. Некрасов. Жизнь замечательных людей. Выпуск 18 (506). – М.: Молодая гвардия, 1971. – 496 с.
11. Довгин А. В. Добролюбов: разночинец между духом и плотью. – М.: Молодая гвардия, 2017. – 298 с.
12. Добролюбов Н. А. Собрание сочинений. Т. 7. – Гослитиздат. Ленинградское отделение (М.-Л.), 1963. – 635 с.
13. Информационный ресурс «АТОН». Как строили железные дороги с помощью ценных бумаг. [Электронный ресурс]: https://www.aton.ru/stockmarkethistory/series_3/. Доступ 18.08.2019.
14. Фет А. А. Полное собрание стихотворений. – Л.: Советский писатель, Ленинградское отделение, 1959. – 905 с.
15. Полонский Я. Стихотворения. – М.: «Советская Россия», 1981. – 272 с.
16. Железная дорога в русской литературе: Антология / Авт.-сост. С. Ф. Дмитриенко. – М.: Изд. дом «Ж.-д. дело», 2012. – 256 с.
17. Иванов А. И., Сорокина Н. В. Железная дорога в русской художественной культуре XIX–XX вв. // Вестник ТГУ. – 2011. – № 12 (104). – С. 670–679. ●



Sovremennik Magazine about the Railways (socio-economic analysis)



Razuvaev, Alexey D., Russian University of Transport, Moscow, Russia.*

Alexey D. RAZUVAEV

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of the poetic works of the Russian authors of the middle 19th century, who published in Sovremennik [The Contemporary; the literary and socio-political magazine founded in 1836] and extensively reviewed the topic of construction of railways in the Russian Empire. Citing selected fragments of works of A. S. Pushkin, N. A. Nekrasov, N. A. Dobrolyubov, A. A. Fet, Ya. P. Polonsky, helps to present the socio-economic analysis of the problems associated with construction of first railways in Russia, as they were seen by Sovremennik authors. The conclusion is made that

Sovremennik authors regarded the topic of construction and operation of railways as one of the most socially significant and promising.

Editorial note. Instead of a review of a scientific or educational edition traditionally suggested under that heading we publish the original analysis of the works of Russian writers and poets of 19th century made from the point of view of the history of transport and particularly of socio-economic aspects of its development. The publication might confirm the importance of transport industry, that enjoyed widespread attention two centuries ago, as it does it nowadays.

Keywords: *transport, railway transport, railway construction, social and economic analysis, Sovremennik, literature, poetry.*

*Information about the author:

Razuvaev, Alexey D. – Ph.D. (Economics), Senior Lecturer at the Department of Economics of Transport Infrastructure and Construction Business Management of Russian University of Transport, Moscow, Russia, razuvaevalex@yandex.ru.

Article received 18.08.2019, accepted 27.01.2020.

For the original Russian text of the article please see p. 260.

In the middle 19th century, the existing literary trends in description and analysis of social changes in society were affected by a new phenomenon, the emergence of the very first railways in Russia. It is worth particularly highlighting poetic works on the topic of cast-iron (at that time) main lines, and the personalities of their authors, who were ambivalent about the very fact of emergence and growing interest (enthusiasm) of the state in construction of railways, but at the same time they were sensitive to the potential of railways. Analyzing poetry associated with the attitude of the society to emergence of railways in Russia in 19th century, it is remarkably interesting not to consider and analyze the works of individual authors separately, but to analyze their concentrated manifestation in the print edition, which in the first half and in the middle of 19th century influenced literary, political and the social views of most representatives of Russian intelligentsia. This is a literary and socio-political magazine called *Sovremennik* [The Contemporary].

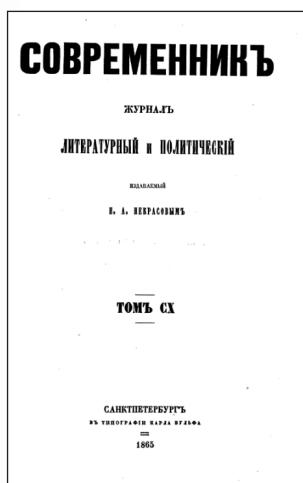
This vector of research could have already been of interest thanks to two facts only. The founder of the magazine, Alexander S. Pushkin actively participated in the discussion of the need for railways in Russia. Nikolay A. Nekrasov who was one of the main publishers of the magazine (he together with I. I. Panaev were its publishers from 1847 to 1866) is the author of the most famous Russian poem on the considered topic which is called «Railway» (Pic. 1).

First, it should be clarified that the socio-economic emphasis of this article, aimed at analyzing poetic works and the points of view of their authors, is due to the fact that we are used to notice in the poetry the accuracy of the words used, poetic meter,

allegorical and other artistic techniques. But in the considered case according to the authors' idea (of course, this could not be an idea, but a pure combination of circumstances, but what an economically significant one!), poems and opinions dedicated to such a resonant event as construction of railways, contained, as a rule, an assessment of socio-economic efficiency of creating new transportation routes. At that time, both for a man in the street and for a journalist it was clear that construction of railways entails significant financial investments. In many ways, therefore the society was divided into two camps consisting of those who were for construction and against it. Moreover, the opponents often argued that significant financial investments, especially those taken from the state treasury, might not be worth it.

Even though the «main» railway poem by N. A. Nekrasov has already been mentioned, it is perhaps worth starting with the founder of the journal, Alexander S. Pushkin, whose attitude to railways was far from unambiguous. The interest of the poet in the topic of construction of railways in Russia is evidenced by the fact that he was one of the participants in a lively discussion along with scientists and engineers [2]. The documented opinion of A. S. Pushkin about railways is given in [3, pp. 78–83; 4], where he became at first an indirect and then an involved participant in the controversy.

The story began in 1830 with the publication by N. P. Shcheglov entitled «On railways and their advantages over ordinary roads and canals» and continued in 1835 with an article by N. I. Tarasenko-Otreshkov, who spoke out unequivocally against construction of railways. Involvement of Pushkin begins with an article written by M. S. Volkov, professor at the Institute of the Corps of Railway Engineers, in which he constructively criticizes N. I. Tarasenko-Otreshkov and sends the article to *Sovremennik* for publication. But A. S. Pushkin did not publish the article, explaining the reasons in a letter to V. F. Odoevsky: «*Mr. Volkov's article is indeed very remarkable, efficiently and cleverly written and entertaining for everyone. However, I will not post it, because, in my opinion, the government does not need to interfere with this Gerstner's project at all. Russia cannot throw 3000000 to try. The case of the new road concerns private people: let them bother. All one can promise them is a privilege for 12 or 15 years. The road (railway) from Moscow to Nizhny Novgorod would still be more necessary than the road from Moscow to St. Petersburg – and my opinion would be: start with it ... I am, of course, not against railways; but I am opposed to the idea that government engages. Some of the objections to the project are undeniable, for example,*



Pic. 1. Pages of *Sovremennik* with the first page of the poem «Railway» by N. A. Nekrasov who published it in Vol. 110, 1865 [1, p. 547].

about snowdrifts. For this a new machine must be invented, sine qua non¹. There is nothing to think about sending people or hiring workers to sweep snow: this is absurdity» [3, pp. 81–82]. At the same time, Alexander Pushkin had plans to publish material on railway topics, so he wrote on the pages of the journal: «I asked Prince Kozlovsky to give me articles on the theory of steam engines, now that Gerstner is finishing his cast-iron road between the capital and Tsarskoe Selo, we all need to understand and master the great invention to which the future belongs». The article by P. B. Kozlovsky «A Brief Outline of the Theory of Steam Engines» was published in Sovremennik (Pic. 2) in Volume VII [5, pp. 6–14].

From the above materials, it can be concluded that Pushkin's opinion on construction of railways was ambiguous since he was not sure of effectiveness of this project. On the one hand, he writes about railways that «we all need to understand and master the great invention, to which the future belongs», and on the other, «Russia cannot throw 3000000 to try. The case of the new road concerns private people: let them bother». By this A. Pushkin shows that he is on the side of progress, but against risk. He also notes the long-term nature of the new railway project and its long-term return on investment: «All you can promise them [private people] is a privilege for 12 or 15 years». His opinion about the private capital required for construction is also interesting. Did the poet mean that the state has enough problems even without a railway, or did he foresee the position of S. Yu. Witte, who in some of his works argued about the need to transfer railways from state to private management?! In any case, this also proves that A. S. Pushkin worried not only about technical issues (there is a historical fact that the poet became the author of the idea of a snowplow), but also about the economic component of the grandiose project, and in that case he apparently adhered emphasized liberal position [7].

Returning to Nekrasov and his great work, it should be noted that, unlike most authors whose works were devoted to the potential of railways, speed, their progressiveness and importance for Russia, the romance of travel, he, with the lyrical folk tragicalness, characteristic of his works, describes particularly the unattractive side of the socio-economic situation associated with construction: difficult working conditions, low wages, tight deadlines for commissioning facilities, etc. If we interpret the poem in a modern way, then it reflects the problems of human resource management that existed at that

БРАТКОЕ ПАЧЕРТАНИЕ ТЕОРИИ ПАРОВЫХ МАШИН^(*).

Quipe par vent, et flote digna levati,
Invento me qui celum excedere per ariet,
Quipe mi meosus alia ferre meando;
Quibus ha nixa cingunt tempora vata.
6 et anna. Эпюда, с. 662—663.

1. О ЖИДКОСТЯХ (Fluides).

Наблюдатели природы, съ давних временъ, старались воспользоваться силами, которыя они сами обрашать, для пронесенія движений механическихъ. Первый, къжест, Аристотель подымалъ своимъ винтомъ (vis) воду съ глубинъ на верхъ. Одинъ изъ древнихъ Греческихъ философовъ подырѣлъ человѣчеству обыкновенный насосъ, котораго одноко движѣтъ, въ теченіи 2000ъ лѣтъ, т. е. до синаго Галілея, оставалось безъ точнаго физическаго истолкованія.

(*) Когда неизвестный издавал «Современника» убѣждалъ иже былое его соприимѣненіе въ этомъ журнале, и предъявлялъ ему, безъ всякой юридической скромности, безъ всякихъ упрековъ самолюбія, сколько сухіхъ статей мон, по москѣ чиѣмъ, должностною казыть неизѣмѣнно въ первоначальномъ листѣ, одной листѣ литература поспасищимъ. Не такъ думалъ Пушкинъ: онъ говорилъ, что иногда случалось ему читать въ нѣкоторыхъ изданіяхъ журналовъ, посвященные стати о нѣкоторыхъ естественныхъ, посредствомъ изъ посторонніхъ журналовъ какъ-нибудь; но что первою въ такомъ-то

Pic. 2. Page of Sovremennik with the article by P. B. Kozlovsky «A Brief Outline of the Theory of Steam Engines», Vol. 7, 1837 [6, p. 51].

time, inefficiency of their use and the lack of means of mechanization:

*Bloodless lips, drooping eyelids,
Ulcers on skinny arms
Forever knee-deep in water
The legs are swollen; tangled hair;
I will wash my chest, which is diligently on the
spade*

*I spent the whole century day after day...
You take a closer look at him, Vanya, carefully:
It was difficult for a man to get his bread!
Didn't straighten his hunchbacked back
He is still: stupidly silent
And mechanically with a rusty shovel
Hollows the frozen ground! [8, p. 40]².*

Undoubtedly, the statesmen and railway developers «liked» the poem published in 1865,

² The author of translation is unknown. Another version of translation was posted at <https://matthias-gloeckner.de/blog/en/nikolay-nekrasov-the-railway/>:

*His lips bloodless, eyelids sunken,
His skinny arms sore,
Always kneeling in the water,
His legs swollen; Polish plait in his hair;
A dent in his breast, because day by day
He stemmed against the spade for all of his life...
Look at him, Vanya, attentively:
This man worked hard to earn his bread!
His hunched back he straightens up
No more now: in silence
And the mechanical rusty spade
Is hitting into the frozen ground!*

¹ Necessary condition (lat.).





and largely due to this, in 1866, after two preliminary warnings, the magazine was forced to close [9; 10, p. 392].

Nekrasov's attitude to construction of railways was as ambiguous as that of A. S. Pushkin. But, if Pushkin did not have a definite opinion about the technical and economic well-being of railways, then Nekrasov had similar worries for common people, for «muzhiks». On the one hand, he expressed sorrow due to excessive exploitation of workers, and on the other hand, he emphasized that the road had been built, justified itself and people had been able to cope [10, p. 391].

One of the most progressive literary critics of that time, an employee of Sovremennik N. A. Dobrolyubov, also had a desire to speak out about accelerating development of railways on the pages of the magazine (more precisely, in Svistok [The Whistle], the appendix to the main magazine) [11, pp. 185–186]. As it is known, he adhered to the «left» views on the structure of society and implementation of social reforms in the fatherland (finally, his publication was published only in 1886 in Russkaya starina magazine), so it was through political satire that Dobrolyubov tried to convey the attachment of many public figures to the «old days» and social alienation of obvious progress. Dobrolyubov's poem is built on the foundation of «Russian swagger and non-punctuality», a keen sense of freedom, but it also touches upon socio-economic problems. At the beginning of the poem, in a satirical manner, he describes the opposition of the chaotic movement of horse-drawn vehicles to the linear movement of trains:

*Troika is quite another!
I rush where I want,
With no need, no purpose,
Indenting traces on the soil.
I do not want, straight –
Take it to the left,
Through the meadows to the right,
Backwards through the crops ... [12, p. 513–514].*

Further, he writes about foreign investments in construction of railways and purchase of foreign machines:

*The foreigners bulk
Russian millions
To put obstacles
To the Russian will.*

Then Dobrolyubov ridicules all the negative statements about the railway, listing fears and problems that may arise during operation of railways in Russia. At the same time, in the listed problems, we see obvious reference to economic costs, which was the main «visiting card» of opponents of construction of railways:

*Our train will not go
As the German one goes:
It will jump the track
With a valiant force;
Or will crumble the embankment,
Either will crush a little bridge,
Then towards the opposing train
Rakishly will drive.
It will go slower,
Will be late to its heart's content,
Because of blizzard
Will be halting for a day or three in the open
country.*

Dobrolyubov ends the poem in the same satirical vein, but at the same time his personal beliefs and hopes of a positive outcome of emergence of railways in Russia are clearly traced:

*Yes, I passionately believe:
Dead car
Will not bind the arbitrariness of the
Giant Russia.
I believe: all machines
In the Russian nature
Will revive themselves
By the spirit and freedom.*

The lines «Will revive themselves/By the spirit and freedom» are of particular interest. Here, the word «revive» can be interpreted as «take root». The confidence of Dobrolyubov in wholesomeness of construction of railways corresponded also to the officially formulated state position. So, the decree of the Emperor Alexander II «On construction of the first railway network in Russia» dated January 26, 1857 read: «...Railways, in the need for which many had doubts for another ten years, are now recognized by all estates as a necessity for the Empire and have become a national need, a common, urgent desire» [13].

Let us note another interesting feature traced in the works of the authors of Sovremennik and of other poets of the middle 19th century written on the topic of railways. It refers to the mention of bridges, perhaps the most popular man-made structure on the railway. So, N. A. Nekrasov used descriptive

words: «Straight path is: narrow embankments, / Mileposts, rails, bridges»; N.A. Dobrolyubov worded satirically: « Or will crumble the embankment, / Either will crush a little bridge». In his sensuous poem «On the railway», published in 1860 in Russkiy vestnik journal, [the poet] Afanasy Fet, who was not a stranger to Sovremennik, wrote:

*And, doused with silver moon,
The trees are flying past us
Below us with a roar of cast iron
Instant bridges thunder* [14, pp. 282–283].

And [the poet] Ya. P. Polonsky in his poem of 1868 «On the railway» also published in Russkiy vestnik compared rolling stock with an «iron horse» and noted the noise from bridges:

*There is a little forest rushing towards,
Bridges rumble across the ravines,
And the steam clings to the bushes;
The iron horse is riding, riding,
And the poles are flickering, flickering ...* [15, p. 108–111].

Should we assume that Ya. P. Polonsky wrote his poem under the impression of Fet's creation? It is quite possible, since the name is exactly the same, and in both poems note the rumble of bridges, and both were published in Russkiy vestnik.

Besides the listed authors, many contemporaries of the magazine devoted their works to the railway theme in their poetry and prose, these are P. A. Vyazemsky, V. A. Sleptsov, N. S. Leskov, V. G. Benediktov, M. E. Saltykov-Shchedrin, A. N. Apukhtin and many others [16, p. 255].

The railway topic in Russian fiction of 19th–20th centuries was extremely popular [17]. Pig-iron and then steel main lines more and more occupied the minds of progressively thinking intelligentsia, a significant part of which expressed their opinions through literary works, criticism and journalism and rallied around Sovremennik. It is important to note that responsible publishers and employees of the magazine were mostly representatives of «new people» [3, p. 62; 11], and in their works, when describing the socio-economic problems of the Empire, they often left «artistry» in favor of «realism». The authors by their own example, their ideas and works showed that one should never artificially slow down progress, that sensible assessment of the «new» and its harmonious coexistence with the «old» will give a synergistic effect. And railways, both

in 19th century and now, play a key socio-economic role in this process.

REFERENCES

1. Sovremennik. Volume 110, 1865. Google. Books. [Electronic resource]: <https://books.google.ru/books?id=xCoYAAAAYAAJ&pg=PA3#v=onepage&q&f=alse>. Last accessed 18.08.2019.
2. Alexander Sakharov. It is necessary to understand and master the great invention, to which belongs the future... [Nuzhno pomyat i usvoit' velikoe izobretenie, kotoromu prinadlezhit budushchee...]. [Electronic resource]: <http://kolomna-biblio.narod.ru/TEXT/S/sa1.htm>. Last accessed 18.08.2019.
3. Vulfov, A. History of railways of the Russian Empire [Istoriya zheleznykh dorog Rossiiskoi imperii]. Moscow, Rapol Classic publ., 2016, 744 p.
4. Alekseev, M. P. Pushkin and the science of his time (Research and essays) [Pushkin i nauka ego vremeni (Razyskaniya i etudy)]. Pushkin: Research and materials / Academy of Sciences of the USSR. Institute of Russian literature (Pushkin House). Moscow-Leningrad, Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1956.
5. Pavlov, V. E. The first Russian mass-use railway [Pervaya Rossiiskaya zheleznyaya doroga massovogo ispolzovaniya]. Railway transport: Scientific-theoretical technical-economic journal, 2007, Iss. 9, pp. 6–14.
6. Sovremennik. Vol. 7, 1837. Google. Books. [Electronic resource]: <https://books.google.ru/books?id=3mg8AQAAIAAJ&pg=PA51#v=onepage&q&f=alse>. Last accessed 18.08.2019.
7. Blog f-husainov.livejournal.com. [Electronic resource]: <https://f-husainov.livejournal.com/419192.html>. Last accessed 18.08.2019.
8. Nekrasov, N. A. Poems. Who lives well in Russia [Stikhotvoreniya. Komu na Rusi zhit' khorosh]. Moscow, 1968, 288 p.
9. Katsprzhak, E. I. History of writing and books [Istoriya pismennosti i knig]. Moscow, Iskusstvo publ., 1955, 356 p.
10. Zhdanov, V. Nekrasov. [Nekrasov. In the series: Zhizn zamechatelynykh lyudei /Life of great people/]. Iss. 18 (506). Moscow, Molodaya gvardiya publ., 1971, 496 p.
11. Vdovin, A. V. Dobrolyubov: a commoner between spirit and flesh [Dobrolyubov: raznochintsev mezhdu dukhom i plotyu]. Moscow, Molodaya gvardiya publ., 2017, 298 p.
12. Dobrolyubov, N. A. Collected Works. Vol. 7 [Sobranie sochinenii. T. 7]. Goslitizdat, Leningrad branch (Moscow-Leningrad), 1963, 635 p.
13. How Railways Were Built Using Securities [Kak stroili zheleznie dorogi s pomoshchyu tsennyykh bumag]. [Electronic resource]: https://www.aton.ru/stockmarkethistory/series_3/. Last accessed 18.08.2019.
14. Fet, A. A. Complete collection of poems [Polnoe sobranie stikhotvoreniy]. Leningrad, Sovetskij pisatel, Leningrad branch, 1959, 905 p.
15. Polonsky, Ya. Poems [Stikhotvoreniya]. Moscow, «Sovetskaya Rossiya», 1981, 272 p.
16. Railway in Russian literature: Anthology [Zheleznyaya doroga v russkoj literature: Antologiya]. Coll. and ed. by S. F. Dmitrienko. Moscow, Zheleznodorozhnoe delo publishing house, 2012, 256 p.
17. Ivanov, A. I., Sorokina, N. V. Railway in the Russian artistic culture of 19th–20th centuries [Zheleznyaya doroga v russkoj khudozhestvennoi culture XIX–XX vv.]. Vestnik TOGU, 2011, Iss. 12 (104), pp. 670–679.





АВТОРЕФЕРАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ

**Selected abstracts of Ph.D. theses
submitted at Russian transport universities
For the English text please see p. 272.**

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-270-274>

Бенькович Н. И. Совершенствование алгоритмов управления тяговым приводом тепловозов с асинхронными электродвигателями / Автoref. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 16 с.

Основной целью работы является совершенствование алгоритма управления автономным инвертором напряжения (АИН) тягового преобразователя питания асинхронных электродвигателей тепловоза, обеспечивающего снижение динамических потерь в АИН, повышение тяговых и противобоксовочных свойств локомотива.

Решены следующие задачи:

- теоретическое сравнение существующих алгоритмов формирования выходного напряжения двухуровневого инвертора и определение необходимых требований для их совершенствования;
- совершенствование и исследование на компьютерной модели алгоритма прямого цифрового регулирования фазных токов асинхронных тяговых электродвигателей с регулируемой частотой коммутации силовых полупроводниковых приборов;
- совершенствование алгоритма защиты от боксования и юза колёсных пар тепловоза;
- разработка метода и аппаратуры для обеспечения мониторинга динамических процессов в тяговом электроприводе;
- стендовые и эксплуатационные испытания разработанных алгоритмов в составе системы автоматического управления тяговым преобразователем.

Разработана методика и программное обеспечение для измерения и регистрации электромагнитного момента асинхронного тягового двигателя в условиях реальной эксплуатации тепловозов.

Применение модифицированного алгоритма с улучшенными динамическими качествами позволило повысить тяговые и противобоксовочные свойства тепловоза.

Для измерения и сохранения экспериментальных данных был разработан специализированный высокочастотный регистратор, обеспечивающий непрерывную (в течение пяти суток) запись шестнадцати аналоговых параметров на SD карту памяти с частотой 2 Гц. Для обработки результатов измерений использовались программные комплексы WinPOS и MatLab. Компьютерная математическая модель была собрана в программном комплексе SimuLink.

Специальность 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Работа выполнена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Денисов И. А. Обоснование параметров металлоконструкций грузовых тележек кранов мостового типа на основе универсальной компоновочной схемы / Автoref. дис... канд. техн. наук. – Брянск: БГТУ, 2020. – 22 с.

Целью исследования было совершенствование грузовых тележек кранов мостового типа общего назначения за счёт применения новых конструктивных решений и проектных подходов при определении параметров их несущих металлоконструкций.

Разработана математическая модель структурно-параметрического синтеза несущей металлоконструкции грузовой тележки крана мостового типа

общего назначения на основе универсальной компоновочной схемы модульной конфигурации с возможностью её структурной рекомбинации в процессе эксплуатации.

В ходе работы были установлены закономерности влияния положения механизмов грузовой тележки, спроектированной на основе универсальных компоновочных схем, на распределение опорных нагрузок между её ходовыми колёсами.

Разработаны принципиальные универсальные компоновочные схемы несущих металлоконструкций грузовых тележек кранов мостового типа общего назначения комплексной и модульной конфигурации, позволяющие снизить общую металлоёмкость тележек при сохранении показателей прочности, устойчивости и жёсткости.

Экспериментально исследованы особенности применения частотно-регулируемого электропривода при его эксплуатации в режимах работы крановых механизмов. На основе исследования даны рекомендации по формированию расчётных сочетаний нагрузок, действующих на металлоконструкцию грузовой тележки. Дополнительно сформированы рекомендации по настройке систем частотно-регулируемого электропривода крановых механизмов с учётом динамических и энергетических эксплуатационных показателей в разных режимах их работы.

Разработана методика проектирования металлоконструкции грузовой тележки крана мостового типа общего назначения на основе универсальной компоновочной схемы комплексной и модульной конфигурации.

На основе предложенных универсальных компоновочных схем разработаны конструктивные решения несущих металлоконструкций грузовых тележек кранов мостового типа общего назначения, защищённые патентами РФ № 175918, № 178169, № 185448.

Специальность 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъёмно-транспортные машины. Работа выполнена в Брянском государственном техническом университете. Защита состоялась в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

Исаков Т. А. Автоматизация регулирования пассажиропотока при проведении крупномасштабных культурно-массовых мероприятий / Автoref. дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ, 2020. – 24 с.

При планировании крупномасштабных культурно-массовых мероприятий (ККММ) задачи, связанные с организацией своевременного и безопасного прибытия и отбытия большого числа людей, являются ключевыми для организаторов. В период глобальной цифровизации определение качества работы транспортной инфраструктуры эффективно выполняется на цифровых двойниках – имитационных моделях. При выборе алгоритмов автоматизированного регулирования пассажиропотока при проведении ККММ необходимо проведение имитационных экспериментов с целью получения численных значений выбранных критерии качества управления и выбора способа управления, обеспечивающего требуемые значения критерии качества управления.

Одним из аспектов решения задачи является определение алгоритмов и методов автоматизированного регулирования пассажиропотока при проведении ККММ, выбор математического аппарата и программного обеспечения для разработки имитационных моделей ККММ с учётом изменяющихся параметров.

Объектом исследования была транспортная инфраструктура и регулирование пешеходных потоков при проведении ККММ.

В качестве предмета исследования рассматривались алгоритмы и методы автоматизированного регулирования пассажиропотока при проведении ККММ.

Целью диссертации была разработка структуры и математического обеспечения автоматизированной системы регулирования пассажиропотока при проведении ККММ (АСРП).

Формализованы требования к АСРП, что позволило синтезировать структуру и множество моделей этой системы.

Составлен классификатор ККММ, позволяющий определить состав объектов и их объединений, учитываемых при планировании ККММ – зон разграничений, уровней планирования и перечня объектов управления, что позволило выполнить декомпозицию задач, стоящих перед организаторами.

На основе анализа статистических данных выявлены различия в поведении участников пешеходного потока зрителей, специфики их взаимодействия между собой, что позволило рассматривать пешеходный поток как неоднородный и выделить в его составе клиентские группы. Эти результаты сделали возможным адекватно моделировать поведение участников пешеходных потоков при проведении ККММ.

Разработана методика автоматизированного регулирования пассажиропотока при проведении ККММ, учитывающая критерии качества управления транспортной инфраструктурой ККММ.

Проведено исследование объекта во всех зонах разграничения при построении математических моделей, в результате которого представлено формализованное описание поведения клиентских групп пешеходного потока, возникающих в моделируемом пространстве.

Создана имитационная модель функционирования зон разграничения при проведении ККММ, учитывающая в отличие от известных неоднородность пешеходного потока, различия в критериях оценки качества функционирования систем обслуживания в различных зонах разграничения.

Выполнен анализ результатов имитационного моделирования, позволивший сформулировать типовые рекомендации по достижению целевых значений критериев качества регулирования пассажиропотока.

Выполнен анализ, дающий возможность использовать существующие научные подходы, методологии, методы для обработки полученных в ходе исследования данных при подготовке к ККММ и сформулировать требования к структуре и функционалу АСРП.

Выявлены уровни планирования и зон разграничения при проведении ККММ. В зависимости от их комбинаций это позволяет выделять клиентские группы в составе пешеходного потока и задействованные объекты инфраструктуры, что имеет важное значение при решении задач регулирования пассажиропотока.

Составлен классификатор, позволяющий выявить частные задачи регулирования пассажиропотока, характерные для конкретной группы мероприятий, и выбрать критерии качества функционирования объектов инфраструктуры.

Определён состав математического обеспечения АСРП, позволяющий решать задачи автоматизированного регулирования пассажиропотока при проведении ККММ.

Представлена графическая интерпретация структурной схемы системы обслуживания, которая позволяет решать множество задач планирования транспортных процессов при проведении ККММ в едином информационном пространстве.

Создана математическая модель пешеходного потока в различных зонах разграничения с учётом наличия в нём клиентских групп, которая позволяет решать задачи безопасного планирования и функционирования объектов инфраструктуры.

Разработаны имитационные модели транспортной инфраструктуры с учётом наличия клиентских групп в составе прибывающего пассажиропотока на ККММ, позволяющие решать задачи безопасного планирования функционирования транспортной инфраструктуры и пешеходного потока в зоне последней мили перед началом и по окончании ККММ.

Сформулированы рекомендации по организации пассажиропотока и режима работы объектов транспортной инфраструктуры ККММ. Эффективность предложенных методов управления полностью подтверждалась в ходе сравнения результатов имитацион-

ного моделирования и натурных экспериментов, включающих в том числе матчи Чемпионата Мира по футболу 2018 года (ЧМ 2018).

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт). Работа выполнена в Российском университете транспорта.

Ошорова В. В. Разработка предложений по ограничению эксплуатации индивидуальных транспортных средств в загруженной части города в период наибольшей плотности транспортного потока / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2020. – 25 с.

Ограничение эксплуатации транспортных средств с минимизацией потерь, затрат ресурсов в условиях ограниченности улично-дорожной сети (УДС) является актуальной научно-практической задачей.

Целью исследования является сокращение потерь времени участников дорожного движения и экологического ущерба (обусловленных превышением транспортного спроса на эксплуатацию индивидуальных транспортных средств над пропускной способностью УДС).

Объектом исследования был транспортный спрос на эксплуатацию индивидуальных транспортных средств в крупных городах.

Предметом исследований были скорость, плотность и интенсивность движения транспортных средств, в условиях заторовых состояний транспортного потока, изменяемые в зависимости от применения фискального регулирования транспортного спроса на эксплуатацию индивидуальных транспортных средств.

Научная новизна заключалась в разработке теоретических и методологических положений ограничения эксплуатации индивидуальных транспортных средств в периоды наибольшей плотности транспортного потока в загруженной части города:

- определение целевой функции ограничений эксплуатации индивидуальных транспортных средств и критерия отбора участков УДС для введения таких ограничений;
- обоснование изменения плотности транспортного потока в зависимости от применяемого тарифного регулирования;
- определение критерия для оценки эффективности проведённых мероприятий по ограничению эксплуатации индивидуальных транспортных средств, учитывающего совокупные издержки участников дорожного движения.

Теоретическая и практическая ценность работы в том, что разработанные научно-методические и практические подходы позволяют обеспечить целевые показатели основной диаграммы транспортного потока и снизить негативный эффект от загрязнения атмосферного воздуха в загруженной части города; сократить потери времени вследствие транспортных задержек; способствовать развитию и применению новых технологий позиционирования транспортных средств, а также могут послужить теоретической основой формирования транспортного спроса, в условиях фискального регулирования, для разработки соответствующих нормативных правовых документов.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс МАДИ ГТУ в разделы лекционных курсов дисциплины «Основы логистики» по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент».

Результаты исследования принятые к сведению и внедрены в практику деятельности СПб ГКУ «Дирекция по организации дорожного движения Санкт-Петербурга» для подготовки обосновывающих материалов при подготовке аналитических материалов по вопросам обоснования платного въезда в центральную часть Санкт-Петербурга.

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта. Работа выполнена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).



ABSTRACTS of Ph.D. THESES

Selected abstracts of Ph.D. theses submitted at Russian transport universities.
For the original Russian texts please see p. 270.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-270-274>

Benkovich, N. I. Improvement of algorithms for traction drive control of diesel locomotives with asynchronous electric motors. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Sovershenstvovanie algoritmov upravleniya tyagovym privodom teplovozov s asinkhronnymi elektrodvigatelyami. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PGUPS publ., 2020, 16 p.

The main goal of the work is to improve the control algorithm of an autonomous voltage inverter (AVI) of a traction power converter for asynchronous electric motors of a diesel locomotive, which ensures a decrease in dynamic losses in AVI, an increase in traction and anti-slipping properties of a locomotive.

The following tasks were solved:

- theoretical comparison of existing algorithms for generating output voltage of a two-level inverter and determining necessary requirements for their improvement;
- improvement and research using a computer model of the algorithm for direct digital regulation of phase currents of asynchronous traction motors with an adjustable switching frequency of power semiconductor devices;
- improvement of the anti-slippage and skid protection algorithm for locomotive wheelsets;
- development of a method and equipment for monitoring dynamic processes in a traction electric drive;
- bench and operational tests of developed algorithms as part of the traction converter automatic control system.

A technique and software have been developed for measuring and recording the electromagnetic moment of an induction traction motor under conditions of real operation of diesel locomotives.

The use of a modified algorithm with improved dynamic properties made it possible to increase traction and anti-slipping properties of a locomotive.

To measure and store experimental data, a specialized high-frequency recorder was developed, which provides continuous (within five days) recording of sixteen analog parameters

on an SD memory card with a frequency of 2 kHz. To process the measured results, we used WinPOS and MatLab software packages. The computer mathematical model was assembled in the SimuLink software package.

Specialty 05.09.03 – Electrotechnical complexes and systems. The work was carried out at Emperor Alexander I Petersburg State Transport University.

Denisov, I. A. Substantiation of parameters of metal structures of cargo bogies of bridge-type cranes on the basis of a universal layout scheme. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Obosnovanie parametrov metallokonstruktsii gruzovykh telezhek kranov mostovogo tipa na osnove universalnoi komponovochnoi skhemy. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Bryansk, BSTU, 2020, 22 p.

The objective of the study was to improve cargo bogies of general-purpose bridge-type cranes through the use of new design solutions and design approaches in determining the parameters of their supporting metal structures.

A mathematical model has been developed for the structural-parametric synthesis of the load-bearing metal structure of a general-purpose bridge crane truck on the basis of a universal layout diagram of a modular configuration with the possibility of its structural recombination during operation.

In the course of the work, regularities of influence of the position of mechanisms of a cargo bogie, designed on the basis of universal layout diagrams, on distribution of support loads between its running wheels were established.

Basic universal layout diagrams of load-bearing metal structures of cargo bogies for general-purpose bridge cranes of complex and modular configuration have been developed, which allow to reduce total metal consumption of bogies while maintaining strength, stability and stiffness indicators.

The features of the use of a frequency-controlled electric drive during its operation in operating modes of crane mechanisms were experimentally studied. Based on the study, recommendations are given on development of design combinations of loads acting on the metal structure of a cargo bogie. In addition, recommendations were formulated for setting up systems of a frequency-controlled electric drive of crane mechanisms, considering the dynamic and energy performance indicators in different modes of their operation.

A method for designing a metal structure of a cargo bogie of a general-purpose bridge crane is developed based on a universal layout diagram of a complex and modular configuration.

Based on the proposed universal layout schemes, design solutions have been developed for load-bearing metal structures of cargo bogies for general-purpose bridge cranes, protected by Russian patents No. 175918, No. 178169, No. 185448.

Specialty 05.05.04 – Road, construction and hoisting-and-transport vehicles. The work was carried out at Bryansk State Technical University. The defense took place at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Isakov, T. A. Automation of regulation of passenger traffic during large-scale cultural events. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Avtomatizatsiya regulirovaniya passazhiropotoka pri provedenii krupnomasshtabnykh kulturno-massovykh meropriyatiy. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, RUT, 2020, 24 p.

When planning large-scale cultural events (LSCE), tasks related to timely and safe arrival and departure of large numbers of people are key ones for organizers. In the period of global digitalization, it is effective to determine quality of transport infrastructure operation using digital twins, simulation models. When choosing algorithms for automated regulation of passenger traffic during LSCE, it is necessary to conduct simulation experiments to obtain numerical values of selected control quality criteria and to select a control method that provides the required values of control quality criteria.

One of the aspects of solving the problem refers to definition of algorithms and methods for automated regulation of passenger traffic during LSCE, the choice of mathematical apparatus and software for development of simulation models of LSCE, considering changing parameters.

Transport infrastructure and regulation of pedestrian flows during LSCE was chosen as the object of the research, while algorithms and methods of automated regulation of passenger traffic during LSCE were considered as the subject of research.

The purpose of the thesis was to develop the structure and mathematical support of an automated system for regulating passenger traffic during LSCE (ASRP).

The requirements for ASRP have been formalized, which made it possible to synthesize the structure and many models of this system.

The LSCE classifier has been compiled, which makes it possible to determine the composition of objects and their associations considered when planning LSCE: zones of delimitation, planning levels and a list of controlled objects, which made it possible to decompose the tasks facing the organizers.

Based on the analysis of statistical data, differences in behaviour of participants in the pedestrian flow of spectators, the specificity of their interaction with each other were revealed, which made it possible to consider the pedestrian flow as heterogeneous and identify client groups in its composition.

These results made it possible to adequately model the behaviour of pedestrian traffic participants during LSCE.

A method for automated regulation of passenger traffic during LSCE was developed, considering the criteria for quality of management of the transport infrastructure of LSCE.

The study of the object in all zones of delimitation was carried out during construction of mathematical models, resulted in a formalized description of the behaviour of client groups of pedestrian traffic arising in the simulated space.

A simulation model of functioning of delimitation zones during LSCE was created, considering, in contrast to the already known, heterogeneity of the pedestrian flow, the differences in the criteria for assessing quality of functioning of service systems in different delimitation zones.

The analysis of the results of simulation modelling was carried out, which made it possible to formulate standard recommendations for achieving the target values of quality criteria for regulation of passenger traffic.

The analysis has been carried out that makes it possible to use existing scientific approaches, methodologies, methods for processing data obtained during the study during preparation for LSCE and to formulate the requirements for the structure and functionality of ASRP.

The levels of planning and delimitation zones during LSCE have been revealed. Depending on their combinations, this makes it possible to distinguish client groups in the pedestrian flow and the infrastructure facilities involved, which is important for solving problems of regulating passenger traffic.





A classifier has been compiled that allows to identify particular tasks of regulating passenger traffic, typical for a specific group of activities, and to select quality criteria for functioning of infrastructure facilities.

The composition of mathematical support of ASRP has been determined, which makes it possible to solve the problems of automated regulation of passenger traffic during LSCE.

A graphical interpretation of the structural diagram of the service system is presented, which allows solving many problems of planning transport processes when carrying out LSCE in a single information space.

A mathematical model of a pedestrian flow in various delimitation zones has been created, considering the inclusion of client groups, which allows solving the problems of safe planning and functioning of infrastructure facilities.

Simulation models of transport infrastructure have been developed, considering the presence of client groups as part of the arriving passenger traffic at LSCE, allowing to solve the problems of safe planning of functioning of transport infrastructure and pedestrian flow in the last mile zone before and after LSCE.

Recommendations on organization of passenger traffic and the operating mode of transport infrastructure facilities of LSCE are formulated. The effectiveness of proposed control methods was fully confirmed during comparison of the results of simulation modelling and field experiments, including matches of the 2018 FIFA World Cup.

Specialty 05.13.06 – Automation and control of technological processes and production (transport). The work was carried out at Russian University of Transport.

Oshorova, V. V. Development of proposals to restrain operation of individual vehicles in a busy part of the city during the period of the highest traffic density. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Razrabotka predlozhennii po ograniceniyu ekspluatatsii individualnykh transportnykh sredstv v zazruzhennoi chasti goroda v period naibolshei plotnosti transportnogo potoka. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. Moscow, MADI, 2020, 25 p.

Restraining operation of vehicles with minimization of losses, costs, resources in conditions of a limited street-road network (SRN) is an urgent scientific and practical task.

The aim of the study is to reduce loss of time of road users and environmental damage

(caused by the excess of transport demand for operation of individual vehicles over the capacity of SRN).

The object of the study was the transport demand for operation of individual vehicles in large cities. The subjects of research were speed, density and traffic intensity of vehicles under the conditions of traffic congestion, changing depending on application of fiscal regulation of transport demand for operation of individual vehicles.

The scientific novelty consisted in development of theoretical and methodological provisions for restraining of operation of individual vehicles during the periods of the highest traffic density in the busy part of the city:

- identification of the target function of restraints on operation of individual vehicles and the criterion for selection of road sections for introduction of such restraints;
- substantiation of changes in traffic density depending on the applied tariff regulation;
- determination of a criterion for assessing the effectiveness of measures taken to restrain operation of individual vehicles, considering total costs of road users.

The theoretical and practical value of the work is that the developed scientific, methodological and practical approaches will provide the target indicators of the main traffic flow diagram and will reduce the negative effect of atmospheric air pollution in the busy part of the city; will reduce wasted time due to transport delays; will promote development and application of new technologies for positioning vehicles, and can also serve as a theoretical basis for formation of transport demand in the context of fiscal regulation, and for development of appropriate regulatory legal documents.

The results of the research were introduced into the educational process of MADI technical university in lecture courses of the discipline «Basics of logistics» that is part of training in 03.03.02 «Management» study programme.

The results of the study were considered and introduced into the practices of St. Petersburg State Public Institution «Directorate for Traffic Management of St. Petersburg» by using them for preparing feasibility materials for further analytical materials on substantiation of a tolled entrance to the central part of St. Petersburg.

Specialty 05.22.10 – Operation of road transport. The work was carried out at Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI).

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

For the English list of the titles originally published in Russian please see p. 276.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-275-276>

Андреева Л. С., Беляева М. Н., Бородин А. Ф. [и др.]. Институт экономики и развития транспорта: история, кадры, проекты: 1940–2020. – М.: Феория, 2020. – 487 с. ISBN 978-5-91796-071-5.

Братчун В. И., Беспалов В. Л., Пактер М. К., Ромасюк Е. А. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности: Монография. – Донецк: Фолиант, 2020. – 243 с. ISBN 978-5-6043970-4-6.

Гречуха В. Н. Транспортное право: правовое регулирование деятельности железнодорожного транспорта: Монография. – М.: Ruscience, 2020. – 243 с. ISBN 978-5-4365-0599-2.

Гудкова О. В., Ермакова Л. В., Ковалева Н. Н. Транспортная логистика: Учеб. пособие. – Брянск: РИСО БГУ, 2020. – 157 с. ISBN 978-5-9734-0362-1.

Ившушкина О. В. Кражи грузов из подвижного состава железнодорожного транспорта: Монография/Подред. А. Л. Репецкой. – М.: Юрлитинформ, 2020. – 137 с. ISBN 978-5-4396-1955-9.

Кошелева Т. Н., Марихин С. В., Митрофанов С. В. [и др.]. Экономико-политические, социально-психологические и образовательные аспекты сервисной деятельности на транспорте: Коллективная монография / Отв. ред. С. В. Митрофанов. – СПб.: КультИнформПресс, сор. 2020. – 85 с. ISBN 978-5-8392-0826-1.

Мазнев А. С., Федоров Д. В. Комплексы технической диагностики механического оборудования электрического подвижного состава: Учеб. пособие. – М.: Инфра-М, 2020. – 118 с. ISBN 978-5-16-015059-8.

Матанцева О. Ю. Основы экономики автомобильного транспорта = Basic economics of road transport: Учеб. пособие. – М.: Юстицинформ, 2020. – 255 с. ISBN 978-5-7205-1503-4.

Покровская О. Д., Федоренко Р. В. Логистическое руководство железнодорожного транспорта: математические основы терминалитики, маркировка, классификация и идентификация логистических объектов: Монография. – Казань: Бук, 2020. – 289 с. ISBN 978-5-00118-425-6.

Попов Е. А., Волчецкая Т. С., Авакьян М. В. Расследование дорожно-транспортных происшествий, совершенных с участием большегрузных автомобилей: модульная методика: Монография. – М.: Юрлитинформ, 2020. – 211 с. ISBN 978-5-4396-2087-6.

Попов П. В., Мирецкий И. Ю., Полковников А. А., Дмитриева И. С. Экономико-математические методы в логистике: Учеб. пособие. – Волгоград: Сфера, 2020. – 137 с. ISBN 978-5-907191-61-7.

Правоведение для студентов транспортных вузов: Учебник для вузов / Под общ. ред. А. И. Землина. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 421 с. ISBN 978-5-534-13560-2.

Прокофьева Т. А., Гончаренко С. С., Семёнов Н. Н., Элларян А. С. Стратегическая доктрина развития транспорта и формирования интегрированных транспортно-логистических систем в регионах Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока: Монография. – М.: Иткор, 2020. – 226 с. ISBN 978-5-00082-057-5.

Раков В. А. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: Монография. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2020. – 239 с. ISBN 978-5-87851-894-9.

Рязанцев Н. П. История Северной железной дороги (середина XIX–начало XXI века): Учеб. пособие. – Изд. 2-е, доп. – Ярославль: Канцлер, 2020. – 275 с. ISBN 978-5-91730-943-9.

Сазонов С. Л. Автомобильный транспорт КНР: императивы инновационного развития: Монография: в 2 кн. / Отв. ред. А. В. Островский. – М.: ИДВ РАН, 2020. – Кн. 1. Отраслевой аспект. – 400 с.; Кн. 2. Региональный аспект. – 296 с. ISBN 978-5-8381-0366-6; 978-5-8381-0367-3; 978-5-8381-0368-0.

Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: Учебник. – 12-е изд., испр. – М.: Академия, 2020. – 398 с. ISBN 978-5-4468-9201-3.

Троицкая Н. А., Чубуков А. Б. Единая транспортная система: Учебник. – 13-е изд., перераб. – М.: Академия, 2020. – 285 с. ISBN 978-5-4468-9231-0.

Фомин А. П. Стандартизованная терминология в судостроении: Справочник. – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2020. – 335 с. ISBN 978-5-6042035-0-7.

Харламова Ю. А. Борьба за Евразию в фокусе транспортных геостратегий: Монография. – М.: Инфра-М, 2020. – 193 с. ISBN 978-5-16-015450-3.

Подготовила Н. ОЛЕЙНИК •





NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

For the original list of editions published in Russian please see p. 275.

DOI: DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-275-276>

Andreeva, L. S., Belyaeva M. N., Borodin, A. F. [et al]. Institute of Transport Economics and Development: history, personnel, projects: 1940–2020 [Institut ekonomiki i razvitiya transporta: istoriya, kadry, proekty: 1940–2020]. Moscow, Feforia publ., 2020, 487 p. ISBN 978-5-91796-071-5.

Bratchun, V. I., Bespalov, V. L., Pakter, M. K., Romas'yuk, E. A. Theoretical and experimental principles of obtaining modified road asphalt concrete of increased durability: Monograph [Teoretiko-eksperimentalnie printsyipy polucheniya modifitsirovannykh dorozhnykh asfaltobetonov povyshennoi dolgovechnosti: Monografiya]. Donetsk, Foliant publ., 2020, 243 p. ISBN 978-5-60423970-4-6.

Fomin, A. P. Standardized terminology in shipbuilding: Handbook [Standartizirovannaya terminologiya v sudostroenii: Spravochnik]. St. Petersburg, Krylov State Scientific Center, 2020, 335 p. ISBN 978-5-6042035-0-7.

Grechukha, V. N. Transport law: legal regulation of railway transport activity: Monograph [Transportnoe pravo: pravovoe regulirovaniye deyatelnosti zhelezodorozhного transporta: Monografiya]. Moscow, Ruscience publ., 2020, 243 p. ISBN 978-5-4365-0599-2.

Gudkova, O. V., Ermakova, L. V., Kovaleva, N. N. Transport logistics: Study guide [Transportnaya logistika: Ucheb. posobie]. Bryansk, RISO BSU, 2020, 157 p. ISBN 978-5-9734-0362-1.

Ivushkina, O. V. Theft of cargo from rolling stock of railway transport: Monograph [Krazhii gruzov iz podvizhного sostava zhelezodorozhного transporta: Monografiya]. Ed. by A. L. Repetskaya. Moscow, Jurlitinform, 2020, 137 p. ISBN 978-5-4396-1955-9.

Jurisprudence for students of transport universities: Textbook for universities [Pravovedenie dlya studentov transportnykh vuzov: Uchebnik dlya vuzov]. Ed. by A. I. Zemlin, 4th ed., rev. and enl. Moscow, Yurayt Publications, 2020, 421 p. ISBN 978-5-534-13560-2.

Kharlamova, Yu. A. Struggle for Eurasia in the focus of transport geostrategy: Monograph [Borba za Evraziju v fokuse transportnykh geostrategii: Monografiya]. Moscow, Infra-M publ., 2020, 193 p. ISBN 978-5-16-015450-3.

Kosheleva, T. N., Marikhin, S. V., Mitrofanov, S. V. [et al]. Economic-political, socio-psychological and educational aspects of service activities in transport: Collective monograph [Ekonomiko-politicheskie, sotsialno-psichologicheskie i obrazovatelnie aspekty servisnoi deyatelnosti na transporte: Kollektivnaya monografiya]. Ed. by S. V. Mitrofanov. St. Petersburg, KultInformPress publ., sor. 2020, 85 p. ISBN 978-5-8392-0826-1.

Matantseva, O. Yu. Basic economics of road transport: Study guide [Osnovy ekonomiki avtomobilnogo transporta: Ucheb. posobie]. Moscow, Yustitsinform publ., 2020, 255 p. ISBN 978-5-7205-1503-4.

Maznev, A. S., Fedorov, D. V. Complexes of technical diagnostics of mechanical equipment of electric rolling stock: Study guide [Kompleksy tekhnicheskoi diagnostiki mekhanicheskogo oborudovaniya elektricheskogo podvizhного sostava: Ucheb. posobie]. Moscow, Infra-M publ., 2020, 118 p. ISBN 978-5-16-015059-8.

Pokrovskaya, O. D., Fedorenko, R. V. Logistic management of railway transport: mathematical foundations of terminalistics, marking, classification and identification of logistics objects: Monograph [Logisticheskoe rukovodstvo zhelezodorozhного transporta: matematicheskie osnovy terminalistiki, markirovka, klassifikatsiya i identifikatsiya logisticheskikh ob'ektov: Monografiya]. Kazan, Buk publ., 2020, 289 p. ISBN 978-5-00118-425-6.

Popov, E. A., Volchetskaya, T. S., Avakyan, M. V. Investigation of road accidents involving heavy vehicles: modular technique: Monograph [Rassledovanie dorozhno-transportnykh proisshestviy, sovershennykh s uchastiem bolshegruznykh avtomobilei: modulnaya metodika: Monografiya]. Moscow, Yurlitinform publ., 2020, 211 p. ISBN 978-5-4396-2087-6.

Popov, P. V., Miretsky, I. Yu., Polkovnikov, A. A., Dmitrieva, I. S. Economic and mathematical methods in logistics: Study guide [Ekonomiko-matematicheskie metody v logistike: Ucheb. posobie]. Volgograd, Sfera publ., 2020, 137 p. ISBN 978-5-907191-61-7.

Prokofieva, T. A., Goncharenko, S. S., Semyonov, N. N., Ellaryan, A. S. Strategic doctrine of transport development and formation of integrated transport and logistics systems in the regions of the European North, Siberia and the Far East: Monograph [Strategicheskaya doktrina razvitiya transporta i formirovaniya integrirovannykh transportnologisticheskikh system v regionakh Evropeiskogo Severa, Sibiri i Dalnego Vostoka: Monografiya]. Moscow, Itkor publ., 2020, 226 p. ISBN 978-5-00082-057-5.

Rakov, V. A. Assessment of operational properties of vehicles with combined power plants: Monograph [Otsenka ekspluatatsionnykh svoistv avtomobilei s kombinirovannymi energeticheskimi ustavokami: Monografiya]. Vologda, Vologda State University, 2020, 239 p. ISBN 978-5-87851-894-9.

Ryazantsev, N. P. History of the Northern Railway (mid-19th–early 21st centuries): Study guide [Istoriya Severnoi zheleznoi dorogi (seredina XIX–nachalo XXI veka): Ucheb. posobie]. 2nd ed., enl. Yaroslavl, Kanzler publ., 2020, 275 p. ISBN 978-5-91730-943-9.

Sazonov, S. L. Road transport of the PRC: imperatives of innovative development: Monograph: in 2 vol. [Avtomobilnyi transport KNR: imperativy innovatsionnogo razvitiya: Monografiya]. Ed. by A. V. Ostrovsky. Moscow, IFES RAS, 2020. Book 1. Industry aspect, 400 p.; Book 2. Regional aspect, 296 p. ISBN 978-5-8381-0366-6; 978-5-8381-0367-3; 978-5-8381-0368-0.

Spirin, I. V. Organization and management of passenger road transportation: Textbook [Organizatsiya i upravlenie passazhirskimi avtomobilnymi perevozками: Uchebnik]. 12th ed., rev. Moscow, Akademia publ., 2020, 398 p. ISBN 978-5-4468-9201-3.

Troitskaya, N. A., Chubukov, A. B. Single transport system: Textbook [Edinaya transportnaya sistema: Uchebnik]. 13th ed., rev. Moscow, Akademia publ., 2020, 285 p. ISBN 978-5-4468-9231-0.

Compiled by Natalya OLEYNIK ●



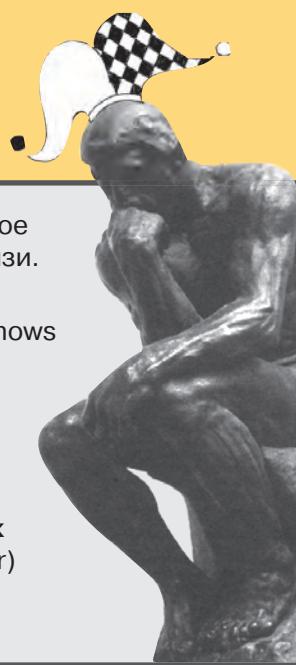
Рис. Максим Смагин / Maxim Smagin

АНЕКДОТ

НА ОБОЧИНЕ

- Экзамен по получению водительских прав. Инспектор спрашивает водителя:
— Какое из колёс меньше всего поворачивается во время поворота направо?
Тот, задумавшись:
— Наверное, запасное!
- Неужели в авариях всегда виноваты инспекторы ГИБДД?
— Всякий раз, как вижу аварию, они обязательно рядом стоят!
- — А ваша собака подпускает к вашей машине чужих людей?
— Конечно, иначе как она их укусит?

Современные афоризмы Modern sayings



- Общественный транспорт похож на увеличительное стекло, которое показывает вам цивилизацию вблизи.

Крис Гетард

- Public transportation is like a magnifying glass that shows you civilization up close.

Chris Gethard

- Мы хотим, чтобы транспорт был таким же надёжным, как водопровод.

Трэвис Каланик
(основатель Uber)

- We want transportation as reliable as running water.

Travis Kalanick



**World of Transport and
Transportation**

Vol.18, Issue 2, 2020

Editor-in-Chief Boris Lyovin

For your letters:

Mir Transporta,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
Tel/fax +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru
wttjournal@gmail.com

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,
ул. Образцова, д. 9, стр. 9.
Тел/факс (495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru
wttjournal@gmail.com



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >