

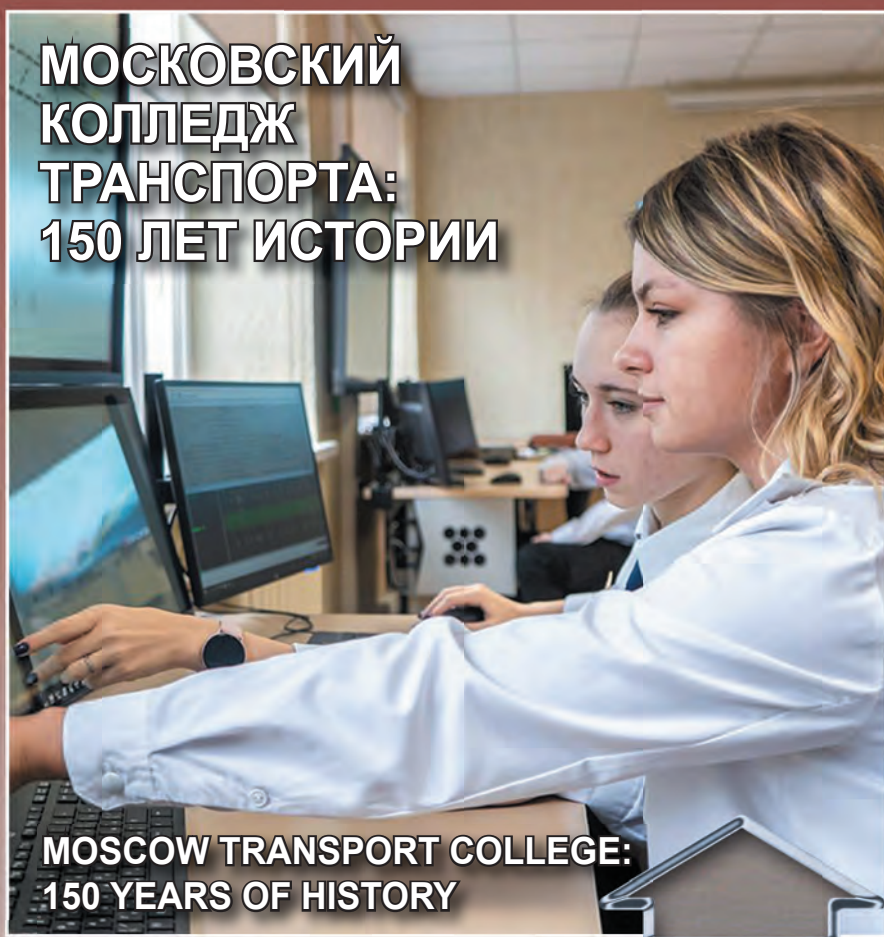
Т

ISSN 1992-3252

ТРАНСПОРТА

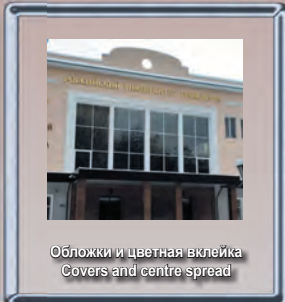
WORLD OF TRANSPORT
AND TRANSPORTATION

2²⁰²²
Том / Vol. 20



МОСКОВСКИЙ
КОЛЛЕДЖ
ТРАНСПОРТА:
150 ЛЕТ ИСТОРИИ

MOSCOW TRANSPORT COLLEGE:
150 YEARS OF HISTORY



Обложки и цветная вклейка
Covers and centre spread

ВЕХИ ИСТОРИИ МОСКОВСКОГО КОЛЛЕДЖА ТРАНСПОРТА



История Московского колледжа транспорта, входящего сейчас в состав Российского университета транспорта, берёт своё начало во второй половине XIX века.

1869 год – на особом совещании было постановлено: учредить железнодорожное училище; назвать его именем барона Андрея Ивановича Дельвига; собрать для этого капитал не менее, как в сто тысяч рублей; по собрании капитала просить барона Дельвига составить первоначальный проект заведения.

1872 год – открытие классов Дельвиговского железнодорожного училища на Новой Басманной улице. В первый год к занятиям в училище, созданном на благотворительные пожертвования и при содействии частных железнодорожных компаний, приступили 40 человек.

1878 год – начало учебного года для 58 учеников в ещё одном новом железнодорожном училище, открытом по настоянию барона Дельвига в Москве.

1882 год – первый выпуск технических работников железнодорожного транспорта по путевому хозяйству и искусственным сооружениям.

1920 год – реорганизация созданных в начале XX века в депо Москва-Павелецкая курсов в Профшколу.

1925 год – преемник Дельвиговского железнодорожного училища – Московский строительный техникум железнодорожного транспорта им. А. А. Андреева – ведёт подготовку по 5 специальностям (по содержанию и ремонту пути; по изысканию и постройке железных дорог; по искусственным сооружениям; по зданиям; по водоснабжению).

1929 год – преобразование Профшколы в Московский техникум паровозного хозяйства им. Ф. Э. Дзержинского.

1936 год – объединение Московского техникума им. А. А. Андреева и Электротехникума НКПС в Московский техникум железнодорожного транспорта им. А. А. Андреева, расположившийся по адресу Кучин пер., д. 14.

1940–41 годы – преобразование Московского техникума паровозного хозяйства в Московский техникум железнодорожного транспорта им. Ф. Э. Дзержинского.

1949 год – начинает свою работу Всесоюзный заочный техникум железнодорожного транспорта (позднее – Московский экономико-технический колледж железнодорожного транспорта).

1998 год – создание единого Московского колледжа железнодорожного транспорта, объединившего ряд учебных заведений.

2002 год – к Московскому колледжу железнодорожного транспорта присоединяется Московский техникум железнодорожного транспорта им. Ф. Э. Дзержинского.

2009 год – Московский колледж железнодорожного транспорта в качестве структурного подразделения входит в состав Московского государственного университета путей сообщения (с 2017 года – Российский университет транспорта).

2019 год – Московский колледж железнодорожного транспорта переименован в Московский колледж транспорта. ●

О сегодняшних достижениях МКТ рассказывается на центральной вклейке.

Фото на обложках и вклейке предоставлены МКТ.

The photos on the covers and centre spread: courtesy of the MTC.

ТРАНСПОРТ

2022
2 (99)

• ТЕОРИЯ • ИСТОРИЯ
• КОНСТРУИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО

СОДЕРЖАНИЕ

Издаётся
Российским университетом
транспорта.
Учреждён МИИТ
в 2003 году

Редакционный совет:

Б. А. Лёвин – доктор техниче-
ских наук, профессор РУТ –
председатель совета

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

А. А. Горбунов – доктор поли-
тических наук, профессор РУТ

Б. В. Гусев – член-корреспон-
дент Российской академии
наук

Н. А. Духно – доктор юридиче-
ских наук, профессор РУТ

Д. Г. Евсеев – доктор техниче-
ских наук, профессор РУТ

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

К. Л. Комаров – доктор техниче-
ских наук, профессор Сибирско-
го государственного университе-
та путей сообщения

Б. М. Куанышев – доктор
технических наук, профессор,
заместитель председателя
КАЗПРОФТРАНС (Республика
Казахстан)

Б. М. Лapidус – доктор эконо-
мических наук, профессор

Д. А. Мачерет – доктор эконо-
мических наук, профессор РУТ,
первый заместитель председа-
теля Объединённого учёного
совета ОАО «РЖД»

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

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

Ю. И. Соколов – доктор эконо-
мических наук, профессор РУТ

Тран Дак Су – доктор техниче-
ских наук, профессор Универ-
ситета транспорта и коммуни-
каций (Ханой, Вьетнам)

Т. В. Шепитько – доктор тех-
нических наук, профессор РУТ

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

Алексей ТЯПУХИН

Принципы управления устойчивостью организации 6

Дмитрий МАЧЕРЕТ

Окольный путь к высокой мобильности.

Диалектика мобильности в истории человечества 18

НАУКА И ТЕХНИКА

Тимофей БАРАНОВ,

Дамир ЗАЙНАГАБДИНОВ

Жёсткость фланцевых стыков со связями

растяжения сборных обделок тоннелей 30

Екатерина ГРИДАСОВА, Зульфия ФАЗИЛОВА,

Павел НИКИФОРОВ, Денис КОСЬЯНОВ

Механизм образования и исследование

свойств белого слоя в высокоуглеродистой

рельсовой стали М76 42

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

Лариса РОГАВИЧЕНЕ,

Алексей ЕМЕЦ

Внедрение беспилотных транспортных средств

в инфраструктуру Санкт-Петербурга:

исследование проблем 52

Владимир ДЕНИСОВ,

Иван КОНОНОВ,

Максим ПРУСОВ

Управление процессами загрузки, хранения

и выгрузки зерновых грузов в транспортно-складских

комплексах 60

Дмитрий ЛЕВИН

Управление поездообразованием. Часть 2 66

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», 2022

Игорь ЛАКИН, Виктор МЕЛЬНИКОВ

Математические методы проверки достоверности данных о надёжности локомотивов, их эксплуатации и техническом обслуживании 77

Тэк Енг ЛИ,

Роман КОРОЛЬ

Вопросы интеграции Транскорейской и континентальной железных дорог 83

КОЛЕСО ИСТОРИИ

Валентин БАЛАБИН,

Алексей СЕРБУЛОВ

Теплотехнические основы создания пароаккумуляторных локомотивов 94

Алексей ФЕДЯНИН

На краю Мещёры. История лесных дорог.

Некоторые факты об истории строительства

железнодорожных линий Кривандино–Рязановка

и Сазоново–Пилёво. Часть 1 100

Пресс-архив

Н. П. ВЕРХОВСКИЙ

О книге Н. П. Верховского

«Железнодорожная неразбериха». Часть 3 108

КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

Валентин СИЛЬЯНОВ

Учебник о транспортировке крупногабаритных

тяжеловесных грузов 120

Авторефераты диссертаций 122

Новые книги о транспорте 126

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 200 экз. Цена свободная.

Отпечатано с оригинал-макета в типографии ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88, литер У.

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, WorldCat.org, EBSCO CEEAS.

T World of Transport and Transportation

•THEORY
•HISTORY
•ENGINEERING
OF THE FUTURE

Vol. 20²⁰²²
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, deputy chairman
of KAZPROFTRANS (Republic of
Kazakhstan)

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. Mirotin, 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)

CONTENTS

Page numbering below refers to the texts in English

THEORY

Alexey P. TYAPUKHIN

Organisational Sustainability Management Principles 128

Dmitry A. MACHERET

Roundabout Way Towards High Mobility.

Dialectics of Mobility in the History of Mankind 140

SCIENCE AND ENGINEERING

Timofey M. BARANOV,

Damir A. ZAINAGABDINOV

Rigidity of Flanged Joints in Prefabricated

Tunnel Linings with Tensile Bonding. 152

Ekaterina A. GRIDASOVA,

Zulfia T. FAZILOVA,

Pavel A. NIKIFOROV,

Denis Yu. KOSYANOV

White Layer in M76 High Carbon Rail Steel:

Formation Mechanism and Properties 164

MANAGEMENT AND ECONOMICS

Larisa I. ROGAVICHENE,

Aleksey V. EMETS

Integration of Autonomous Cars with the Infrastructure

of the City of St. Petersburg: Study of the Problems 174

Vladimir V. DENISOV,

Ivan I. KONONOV,

Maksim V. PRUSOV

Management of the Processes of Filling, Storage and

Discharge of Grain Cargo at Transport Storage Facilities 182

Dmitry Yu. LEVIN

Train Formation Management. Part 2. 188

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. KONDRASHENKO,
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. PUDOVNIKOV,
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

© Mir Transporta

© World of Transport
and Transportation

© English translation

© 2022. All rights reserved

Igor I. LAKIN,
Viktor A. MELNIKOV

Mathematical Methods for Validation of Data
on Reliability, Operation and Maintenance of Locomotives 199

Taek Young LEE,
Roman G. KOROL

Issues of Integration of Trans-Korean and Continental Railways. 205

HISTORY WHEEL

Valentin N. BALABIN,
Aleksey Yu. SERBULOV

Thermotechnical Foundations for Creation
of Fireless Locomotives Run on Stored Steam. 216

Aleksey I. FEDYANIN

On the Edge of Meshchera. History of Forest Roads.
Some Facts about the History of Construction
of Railway Lines Krivandino–Ryazanovka
and Sazonovo–Pilevo. Part 1 222

News from the Archives
Nikolai P. VERKHOVSKY

About the Book by N. P. Verkhovsky
«Railway Confusion». Part 3 230

BIBLIO-DIRECTIONS

Valentin V. SILYANOV

Textbook on Transportation of Oversized Heavy Cargo 242

Selected Abstracts of D.SC. and Ph.D.

Theses Submitted at Russian Transport Universities 244

New Books on Transport and Transportation 248

Published quarterly since 2003. Bimonthly since 2013.

99 issues have been published since 2003.

Current issues are circulated in 200 hard copies available on subscription.

All articles in the journal are published in Russian and English, both versions
being entirely identical. The emails of corresponding authors are marked
with ✉.

The open accessed full texts of the articles, editorial politics and guidelines
for the authors are available at the Website of the journal at <https://mirtr.elpub.ru/jour> (both in Russian and English). The authors can submit their
articles either in Russian or in English. The journal uses double-blind peer
reviewing.

The full texts in Russian and key information in English are also available
at the Website of the Russian scientific electronic library at <https://www.elibrary.ru> (upon free registration).

The journal is indexed in Russian scientific citation index system, Russian
state library, Socionet, Ulrichsweb, WorldCat.org, EBSCO CEEAS.

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.



ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ

6

Проектирование принципов управления устойчивостью организаций на основе их актуальных качественных признаков с помощью дихотомий и с дальнейшим формированием бинарных матриц, позволяющих провести их цифровизацию. Поиск соответствия принципов управления организацией целям устойчивого развития.

Универсальность фундаментального подхода и его адаптивность к задачам транспортных организаций.



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МОБИЛЬНОСТЬ

18

Исторически ёмкий и дополнительно аргументированный современными данными ретроспективный анализ подводит к пониманию диалектичности и нелинейности развития мобильности. Оценка перспектив её развития в современных условиях и на перспективу позволяет ввести новое понятие – «пространственно-цифровой мобильности» и сформулировать требования к транспортным системам, призванным её обеспечить.

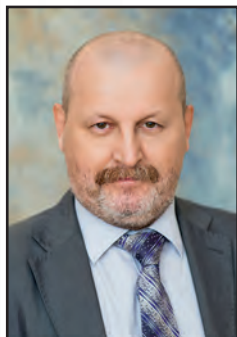


ВОПРОСЫ ТЕОРИИ





Принципы управления устойчивостью организации



Алексей ТЯПУХИН

Алексей Петрович Тяпухин

Оренбургский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия.

✉ artypuhin@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Целью статьи является обоснование и реализация подхода к проектированию принципов управления устойчивостью организаций и их объединений, обеспечивающего цифровизацию данных принципов и их структуризацию по уровням управления, а также между смежными звеньями логистической цепи.

В качестве методов исследования выбраны методы классификации, анализа и синтеза, индукции и дедукции, а в качестве инструмента использованы бинарные матрицы, сформированные на основе классификационных признаков и их дихотомий, позволяющих повысить объективность полученных результатов.

В статье обоснована возможность проектирования принципов управления организацией на основе их актуальных качественных признаков, принципов и дихотомий с дальнейшим формированием бинарных матриц, позволяющих провести цифровизацию принципов управления и их структуризацию по уровням управления организацией, а также между смежными звеньями логистической цепи; разработана упо-

рядоченная совокупность принципов управления устойчивостью организации с обоснованием их количества и качества; доказано соответствие разработанных принципов управления целям и задачам, разработанным Организацией Объединённых Наций в 2015 году.

Внедрение полученных результатов позволит снизить упущенную выгоду организаций и их объединений, сократить время и затраты на подготовку и выполнение управленческих решений, своевременно реагировать на уникальные требования конечных потребителей услуг, а также обеспечить соответствие параметров и характеристик внутренней среды организаций и их объединений характеру, продолжительности и волатильности факторов внешней среды.

Предлагаемые подходы и решения, имея достаточно универсальный характер, в полной мере относятся к организациям и их объединениям, действующим в транспортно-логистической сфере, в целом к участникам цепей поставок и особенно актуальны для них с учётом ускоренного внедрения в их деятельность цифровых технологий.

Ключевые слова: транспорт, логистическая цепь, принцип, управление, организация, цифровизация, структуризация, уровень управления.

Для цитирования: Тяпухин А. П. Принципы управления устойчивостью организации // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 6–17. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-1>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое изменение политических, экономических, технологических условий внешней среды, ускоренное внедрение новых транспортных средств, автономных и интеллектуальных систем, идущие процессы цифровизации оказывают существенное влияние на функционирование организаций транспортного комплекса Российской Федерации, определяют необходимость совершенствования систем управления их деятельностью и, в первую очередь, инструментов управления.

Среди основных инструментов управления организацией особое место занимают принципы управления, под которыми, в частности, понимаются «общенаучные методы, которые объясняют, как что-то происходит или работает»¹. Важность принципов управления для достижения целей организации подчеркивали многие исследователи. В зависимости от факторов внешней среды, а также от тех угроз и возможностей, которые в то или иное время формировались на рынках, разработаны и внедрены несколько базовых версий данных принципов, ориентированных либо на совершенствование системы управления предприятием [1], либо на повышение производительности труда [2], либо на улучшение качества продукции и/или услуг [3], либо на внедрение системного подхода к управлению [4]. При этом принципы управления непостоянны во времени как по количеству, так и по содержанию.

Проблема своевременного выявления неэффективности принципов управления организацией и необходимости их обновления, коренного изменения или проектирования является актуальной по следующим причинам: широкий перечень параметров и характеристик факторов внешней и внутренней среды организации, уникальность связей между ними; их непрерывная трансформация и волатильность; значительная доля субъективности используемых подходов к определению количества и качества принципов управления; нечётко прослеживаемые закономерности трансформации одной версии принципов управления в другую их версию; отсутствие методик проектирования данных принципов с последующей корректировкой подходов, методов и функций, обеспечивающих эффективное воздействие субъекта на объект управления.

¹ Definition of «principle». Collins Online English Dictionary. [Электронный ресурс]: <https://www.collinsdictionary.com/us/dictionary/english/principle/>. Доступ 30.03.2022.

Изложенные выше причины во многом определяют результаты управления организацией в современных условиях, которые характеризуются ориентацией на устойчивость и устойчивое развитие человеческого общества [5]. При этом многие специалисты отмечают проблемы, связанные с управлением устойчивым развитием организации, например, [6]. Данный факт, кроме прочего, обусловлен тем, что в цепях поставок, а, следовательно, и в их звеньях (организациях) недостаточно эффективно структурируются и согласуются базовые принципы управления.

Процесс разработки (проектирования) принципов управления устойчивым развитием организации в известной степени облегчён, поскольку на сегодняшний день созданы основы управления устойчивостью и устойчивым развитием, включая его цели и задачи [7]. Не подвергая сомнению актуальность и методические рекомендации по управлению устойчивым развитием, следует внести корректировки в данный раздел управления по таким направлениям, как: создание предпосылок для конкретизации и последующей адаптации данных рекомендаций к содержанию и структуре новых или скорректированных принципов управления организациями; обоснование подхода к определению их количества и качества, а также взаимосвязей с целью их дальнейшей цифровизации, структуризации по уровням управления организацией и согласования с принципами управления организациями-контрагентами.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Обзор литературных источников позволил выявить несколько важных аспектов проектирования принципов управления организацией. Среди них следующие.

- Специалисты придают большое значение принципам управления организацией, распространяя их влияние практически на все разделы менеджмента, например, [8; 9].

- Принципы управления используются в основных разделах менеджмента, таких, как стратегический менеджмент [10], маркетинг [11], инновационный менеджмент [12], управление цепями поставок [13] и др.

- Принципы управления в первую очередь направлены на человека или группу людей, формы поведения которых чрезвычайно разнообразны и во многом связаны с изменениями стратегии организации, используемых технологий, организационных структур управления



и др. Поэтому принципы управления должны соответствовать этим изменениям [14].

- Использование того или иного варианта принципов управления, обусловлено, кроме прочего, уровнем организационной культуры [15], а также способностью организации адаптироваться к негативным воздействиям извне [16], в том числе, её ориентацией на устойчивость и устойчивое развитие [17].

- Следует различать производственную (подразделения организации и их взаимосвязи) и организационную структуры управления (должности, их взаимосвязи, а также схема распределения ответственности, прав и обязанностей) организацией, для каждой из которых характерны только им свойственные, хотя и взаимосвязанные варианты принципов.

- Проектирование принципов управления устойчивостью организации целесообразно осуществлять на основе семнадцати целей и задач, разработанных Организацией Объединённых Наций [7], обеспечивая при этом возможность цифровизации данных принципов для разработки и применения компьютерного обеспечения управленческой деятельности, с одной стороны, и предусматривая создание предпосылок для структуризации данных принципов по уровням управления организацией по схеме «генеральный директор → функциональные директора → начальники отделов → ...», отслеживая не только вертикальные, но и горизонтальные связи между ними.

- Проектирование принципов управления должно содержать теоретическое обоснование количества и качества данных принципов, поскольку в подавляющем большинстве принципы управления, разработанные ранее, не дают ответов на данный вопрос, что снижает результаты их внедрения на практике из-за невозможности однозначного структурирования и согласования, в том числе, с организациями-контрагентами, хотя данный аспект управления предусмотрен, например, при управлении отношениями с поставщиками и потребителями в цепях поставок [18].

МЕТОДОЛОГИЯ

Достижение цели статьи требует использования качественных методов исследования сложных по структуре и содержанию объектов [19]. Если количественные методы исследования отличаются чётко выраженной шкалой и разнообразными инструментами измерения данных объектов, то качественные

методы явно не позволяют решить данную задачу. Тем не менее, теория и практика позволили частично обосновать её решение. Для этого необходимо:

- разработать индивидуальный, конечный ряд качественных признаков объекта исследования, в данном случае совокупности принципов управления как компонента системы управления организацией. Количество и последовательность применения данных признаков устанавливается на основе двух базовых методов, касающихся объекта исследования: анализа литературных источников и социологического опроса специалистов;

- выделить так называемые актуальные качественные признаки данного объекта. На данном этапе также необходимо выбрать дихотомии, описывающие варианты каждого актуального качественного признака, которые обозначаются кодами «0» и «1», соответственно. Дихотомии позволяют получить 2^x вариантов исследуемого объекта, где цифра «2» отражает количество дихотомий, а x – количество используемых качественных признаков данного объекта. Нетрудно заметить, что каждый из полученных при этом вариантов может быть обозначен бинарным шифром, что значительно облегчает цифровизацию данных объектов. Фактически это означает, что в системе управления организацией совокупность принципов управления будет обозначена базовым бинарным шифром или шифром первого уровня, блоки или группы данных принципов – шифром второго уровня и, наконец, каждый принцип в отдельности – шифром третьего уровня в соответствии с их иерархией и взаимосвязями;

- на основе фасетного метода сформировать основные варианты объекта исследования с помощью представленных выше актуальных качественных признаков и их дихотомий. В результате образуются и исследуются бинарные матрицы, широко известные среди специалистов в области стратегического менеджмента, маркетинга и не только, например, [20];

- качественные признаки, в свою очередь, могут использоваться не только параллельно, формируя 2^x варианта объекта исследования, но и последовательно. Предположим, что за интересующие организацию принципы управления отвечает генеральный директор. Внедрение данных принципов предполагает формирование команды функциональных

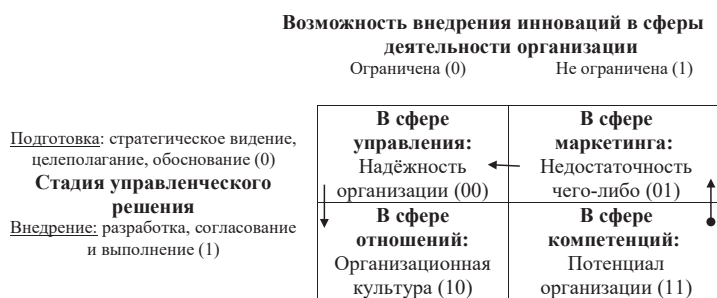


Рис. 1. Классификация основных блоков принципов управления организацией [разработана автором].

директоров, каждый из которых будет отвечать за часть принципов управления, находясь во взаимосвязи с другими функциональными директорами, ответственными за другие принципы управления. Очевидно, что данные взаимосвязи поддерживаются на основе соответствующих качественных признаков. Предположим, что таких признаков два. Это означает, что генеральный директор, ответственный за определённый набор принципов, взаимодействует с четырьмя функциональными директорами, связанными друг с другом. В простейшем случае каждый функциональный директор отвечает за одну четверть принципов управления. Очевидно, что каждый функциональный директор также в состоянии формировать собственную команду начальников отделов или более низкий уровень управления. Использование им, как минимум, двух качественных признаков второго уровня приводит к формированию команды из подчинённых ему четырёх начальников отделов, каждый из которых отвечает за одну шестнадцатую часть принципов управления и так далее. Таким образом, спроектированные принципы управления, да и не только, практически идеально распадаются по уровням управления организацией и, как было отмечено раньше, легко поддаются цифровизации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обоснование количества и качества принципов управления устойчивостью организации

Управление как вид человеческой деятельности, в первую очередь связано с обоснованием, формализацией, разработкой, согласованием, принятием, структуризацией, выполнением и мониторингом управленческих решений. Перечисленные выше процессы создают предпосылки для определения пер-

вого качественного признака принципов управления организацией: «стадия управленческого решения». Последовательность процессов, сопровождающих стадии управленческого решения, позволяет выбрать дихотомии данного признака, предполагающие подготовку (код «0») и внедрение (код «1») управленческого решения.

В динамично изменяющейся внешней среде организации управленческие решения не могут быть полностью стандартизованы и поэтому предполагают использование инноваций, с одной стороны, а, с другой стороны, предусматривают некоторые ограничения при том или ином воздействии на объект управления (человеческие ресурсы). Если в одной сфере деятельности организации возможность внедрения инноваций желательна, но ограничена, то в другой сфере она является необходимой, поскольку обеспечивает конкурентоспособность данной организации. Этот аспект подготовки и внедрения управленческих решений предполагает выделение второго качественного признака принципов управления организацией: «возможность внедрения инноваций в различные сферы деятельности организации». Этот признак предусматривает дихотомии: «возможность ограничена» (код «0») и «возможность не ограничена» (код «1»). Фасетный метод качественных исследований позволяет сформировать бинарную матрицу, состоящую из четырёх ($2^2=4$) блоков или групп принципов управления организацией (рис. 1).

Отметим при этом, что количество блоков принципов управления может быть больше четырёх. Использование третьего качественного признака и его дихотомий позволит выделить восемь ($2^3=8$) таких блоков, что не противоречит норме управляемости организации при выполнении исполнителями только им свойственных функций. Классификация



Тенденции изменения потенциала организации по результатам негативных воздействий на неё

Восстанавливается (0)

Не восстанавливается (1)

Стабильные (0)
(не подлежат корректировке)
Стабильность
стратегических целей
организации
Нестабильные (1)
(подлежат корректировке)

Устойчивость (Режим: возвращение) (0000)	Гибкость (Режим: адаптация) (0001)
Жизнестойкость (Режим: выживание) (0010)	Живучесть (Режим: противодействие) (0011)

Рис. 2. Классификация видов надёжности организации [21].

основных блоков принципов управления организацией (рис. 1) является основой для определения каждого принципа управления в отдельности, то есть каждый из четырёх блоков может быть разделён, как минимум, на четыре принципа управления.

Данные рис. 1 позволяют установить последовательность использования блоков принципов управления организацией на практике: созданный потенциал (стратегический аспект деятельности организации), шифр «11», должен позволять организации наиболее эффективным способом устранять недостаточность чего-либо на рынке (маркетинговый аспект), шифр «01», обеспечивая при этом надёжность организации (управленческий аспект), шифр «00», основанную на организационной культуре (социокультурный аспект), шифр «11».

Рассмотрим содержание рис. 1 более подробно.

1. Сочетание дихотомий «подготовка» (код «0») качественного признака «стадия управленческого решения» и «ограничена» (код «0») качественного признака «возможность внедрения инноваций в различные сферы деятельности организации» (рис. 2) предполагает выделение такого блока принципов, как «управление надёжностью организации» (шифр «00»), который в дальнейшем будет структурирован на компоненты, в нашем случае принципы управления, которых по результатам проектирования вопреки мнению А. Файоля [1] будет не четырнадцать, а шестнадцать ($2^4 = 16$).

Поскольку данные принципы разрабатываются в рамках стратегического видения организации, то есть на длительную перспективу, то гарантировать надёжную работу организации практически невозможно. В зависимости от факторов внешней и внутренней среды

организации необходимо разработать базовые варианты поведения в той или иной управленческой ситуации в зависимости от результативности или степени достижения её стратегических целей. Таким образом можно сделать вывод, что первым качественным признаком надёжности организации является признак «стабильность стратегических целей организации», который, как нетрудно догадаться, имеет дихотомии «стабильные цели» (код «0») и «нестабильные цели» (код «1») или цели, подлежащие корректировке. Факторы внешней и внутренней среды могут существенно влиять на потенциал организации, который по результатам воздействия этих факторов может либо восстанавливаться (код «0») или даже увеличиваться, либо не восстанавливаться (код «1») или даже уменьшаться. Данные дихотомии соответствуют второму качественному признаку надёжности организации, то есть её способности достигать поставленных целей в зависимости от факторов внешней или внутренней среды (рис. 1), такому как «тенденции изменения потенциала организации по результатам негативного воздействия на неё». Совместное использование представленных выше признаков и дихотомий позволило автору [21] предложить четыре варианта надёжности организации: «устойчивость» (режим функционирования организации «возвращение», шифр «0000»), «гибкость» (режим функционирования организации «адаптация», шифр «0001»), «жизнестойкость» (режим функционирования организации «выживание», шифр «0010») и «живучесть» (режим функционирования организации «противодействие», шифр «0011») (рис. 2). Заметим, что первые две цифры четырёхзначного шифра «00» означают «надёжность организации» (рис. 1).

Обоснованные выше варианты надёжности (рис. 2) закладывают основу проектиро-

Свойства (параметры) спроса потребителя	Потребительские свойства продукции и/или услуг	
	Типовые (0)	Уникальные (1)
	Нужда (0100)	Привычка (0101)
Устойчивые (0) Не устойчивые (1)	Потребность (0110)	Ценность (0111)

Рис. 3. Классификация недостаточности чего-либо у потребителя продукции и/или услуг [22].

вания принципов управления организацией на уровне начальников отделов одним из функциональных директоров организации, подчиняющимся её генеральному директору.

2. Сочетание дихотомий «подготовка» (код «0») качественного признака «стадия управленческого решения» и «не ограничена» (код «1») качественного признака «возможность внедрения инноваций в различные сферы деятельности организации» (рис. 1) предполагает выделение такого блока принципов маркетинга организации, как «управление недостаточностью чего-либо на рынке» (шифр «01»), который в дальнейшем также будет структурирован на компоненты.

Одним из факторов, предопределяющих надёжность организации, является поведение потребителя, который, например, в зависимости от платёжеспособности может резко снижать количество и качество приобретаемых продукции и/или услуг или же наоборот, увеличивать их количество и качество, ощущая при этом недостаточность чего-либо в разнообразных её формах. В данных условиях организация, как правило, стремится диверсифицировать ассортимент продукции и/или услуг, вплоть до выделения в производственной и организационной структурах соответствующих подразделений. Задача выделения основных вариантов недостаточности чего-либо у потребителя продукции и/или услуг в зависимости от его поведения на рынке решена А. П. Тяпухиным и Е. А. Тарасенко [22] (рис. 3) на основе следующих качественных признаков и их дихотомий: «потребительские свойства продукции и/или услуг»: «типовые» (код «0») и «уникальные» (код «1»); «свойства (параметры и характеристики) спроса потребителя на продукцию и/или услуги»: «устойчивые» (код «0») и «неустойчивые» (код «1»).

Как следует из рис. 3, ценность (шифр «0111») отличается от потребности (шифр

«0110») уникальными потребительскими свойствами продукции и/или услуг, а от привычки (шифр «0101») неустойчивостью свойств (параметров и характеристик) спроса на продукцию и/или услуги [22]. Заметим, что первые две цифры четырёхзначного шифра «01» означают «недостаточность чего-либо у потребителя продукции и/или услуг» (рис. 1). Обоснованные выше варианты недостаточности (рис. 3) закладывают основу проектирования принципов управления организацией на уровне начальников отделов второго функционального директора организации или директора по маркетингу, подчиняющегося генеральному директору.

3. Сочетание дихотомий «внедрение» (код «1») качественного признака «стадия управленческого решения» и «ограничена» (код «0») качественного признака «возможность внедрения инноваций в различные сферы деятельности организации» (рис. 1) предполагает выделение такого блока принципов, как «управление организационной культурой» (шифр «10»).

Поскольку речь в данной статье идёт об устойчивости и устойчивом развитии, организационная культура должна оцениваться с позиции, как минимум, трёх её базовых аспектов: экономического, социального и экологического. Автор берёт на себя смелость утверждать, что перечисленные выше аспекты могут быть обоснованы несколько другим способом, чем ранее, а именно с помощью таких качественных признаков принципов управления организацией и дихотомий, как «тип ресурсов, привлекаемых и перерабатываемых организацией»: «природные (материальные)» (код «0») и «человеческие (информационные)» (код «1»); «приоритеты организационной культуры»: «закрепление и поддержание достигнутых результатов» (код «0») и «создание предпосылок долгосрочного развития» (код «1») (рис. 4).



Закрепление и поддержание достигнутых результатов (0) Приоритеты организационной культуры Создание предпосылок долгосрочного развития (1)	Тип ресурсов организации	
	Природные (материальные) (0)	Человеческие (информационные) (1)
	Экономический аспект (1000)	Социальный аспект (1001)
	Экологический аспект (1010)	Интеллектуальный аспект (1011)

Рис. 4. Классификация аспектов организационной культуры [разработана автором].

Создание и наращивание (0) Стадия формирования и развития потенциала организации Использование и распространение (1)	Тип ресурсов организации	
	Природные (материальные) ресурсы (0)	Человеческие (информационные) ресурсы (1)
	Технологический (1100)	Инновационный (1101)
	Логистический (1110)	Маркетинговый (1111)

Рис. 5. Классификация потенциала организации [разработана автором].

Как следует из содержания рис. 4, помимо экономического, социального и экологического аспектов организационной культуры, можно выделить её интеллектуальный аспект, который касается, в первую очередь, создания ценности для конечного потребителя продукции и/или услуг (рис. 3), а также обеспечения живучести организации (рис. 2). Заметим, что первые две цифры четырёхзначного шифра «10» означают «организационная культура» (рис. 1). Обоснованные выше варианты организационной культуры (рис. 4) закладывают основу для проектирования принципов управления организацией на уровне начальников отделов третьего функционального директора организации, подчиняющегося генеральному директору.

4. Сочетание дихотомий «внедрение» (код «1») качественного признака «стадия управленческого решения» и «не ограничена» (код «1») качественного признака «возможность внедрения инноваций в различные сферы деятельности организации» (рис. 1) предполагает выделение такого блока принципов управления организацией, как «управление потенциалом организации» (шифр «11»), который в дальнейшем также будет структурирован на компоненты.

Если взять за основу практически любую организацию, ориентированную на извлечение прибыли и не только, в её производственной структуре можно выделить подразделения, выполняющие различные функции и решающие только им присущие задачи. Это также относится, например, и к транспортно-

логистическим организациям. Данный аспект исследования предполагает структуризацию принципов управления по типу используемого подразделениями организации потенциала. При этом следует учитывать, что ослабление потенциала одного подразделения оказывает влияние на результаты деятельности организации в целом. Именно поэтому необходимо управление устойчивым развитием потенциала, контролируемое генеральным директором и функциональными директорами организации.

Для того чтобы определить функциональные виды потенциала организации, целесообразно использовать следующие качественные признаки: «тип ресурсов, привлекаемых и перерабатываемых организацией»: «природные (материальные)» (код «0») и «человеческие (информационные)» (код «1»); «стадия формирования и развития потенциала организации»: «создание и наращивание» (код «0») и «использование и распространение» (код «1»). Совместное использование данных признаков и дихотомий позволяет выделить четыре типа потенциала организации: технологический (шифр «00»), инновационный (шифр «01»), логистический (шифр «10») и маркетинговый (шифр «11») (рис. 5).

Как следует из содержания рис. 5, инновационный потенциал (шифр «1101») связан с интеллектуальным аспектом (шифр «1011») организационной культуры (рис. 4), а маркетинговый потенциал (шифр «1111») предопределяет эффективность принципов управления недостаточностью чего-либо на рынке (рис. 3).

Таблица 1

Обоснование содержания принципов управления устойчивостью организации на основе содержания рис. 2–6 [разработано автором]

Шифр	Компонент	Принцип управления устойчивостью
Блок принципов «Надёжность организации»*		
0000	Устойчивость	Мониторинг и антикризисное управление
0001	Гибкость	Диверсификация и развитие конкурентных преимуществ
0010	Жизнестойкость	Реструктуризация бизнеса и управление проблемными активами
0011	Живучесть	Глобальное партнерство и стратегический менеджмент
Блок принципов «Недостаточность чего-либо на рынке»		
0100	Нужда	Удовлетворение базовых потребностей человека
0101	Привычка	Создание благоприятной среды потребления продукции и/или услуг
0110	Потребность	Обеспечение благосостояния человека
0111	Ценность	Ориентация на ощущения, впечатления и опыт потребителя
Блок принципов «Организационная культура»		
1000	Экономический аспект	Управление затратами и временем в цепях создания ценности
1001	Социальный аспект	Социальное партнерство и управление конфликтами
1010	Экологический аспект	Сохранение окружающей среды и экологический менеджмент
1011	Интеллектуальный аспект	Обучение и стимулирование инициативы и креативности
Блок принципов «Потенциал организации»		
1100	Технологический потенциал	Агрегатное планирование производства с переменным ритмом и изменяющейся численностью рабочих
1101	Инновационный потенциал	Создание новинок, разработка новых технологий и материалов, освоение новых рынков
1110	Логистический потенциал	Устранение межфункциональных барьеров, управление потоками единичных изделий
1111	Маркетинговый потенциал	Обеспечение доступности продукции, услуг и послепродажного обслуживания

*Блоки принципов управления организацией, представлены на рис. 1.

Заметим, что первые две цифры четырёхзначного шифра «11» означают «потенциал организации» (рис. 1). Обоснованные выше варианты потенциала организации (рис. 5) закладывают основу проектирования принципов управления организацией на уровне начальников отделов четвёртого (если это необходимо) функционального директора организации, подчиняющегося генеральному директору.

Таким образом, можно сделать вывод, что генеральный директор отвечает за все принципы управления устойчивостью организации; функциональные директора обеспечивают эффективность блоков принципов управления (рис. 1); начальники отделов курируют основные принципы управления устойчивостью организации, формируемые на основе рис. 2–5, содержание которых позволяет перейти от компонентов блоков к конкретным принципам управления. Решение данной задачи отражено в табл. 1.

Информация табл. 1 основана на логике достижения характеристик компонентов блоков управления (рис. 2) посредством конкретизации содержания не только локальных, но и глобальных управленческих воздействий на организацию в соответствии с компетенциями начальников отделов, функциональных директоров и генерального директора организации. Для того чтобы сформировать целостное впечатление о применении представленных в табл. 1 принципов управления устойчивостью организации, целесообразно обратиться к содержанию рис. 6.

На данном рисунке представлено не только содержание спроектированных принципов, но и показаны взаимосвязи полномочий начальников отделов и функциональных директоров, обеспечивающих устойчивость организации на их основе. В качестве примера, отражающего данный аспект исследования, возьмём принцип с шифром «1100» – «Агре-



Стабильность стратегических целей организации	Стабильные	Блок принципов А (0000) «Надёжность организации»		Блок принципов В (0100) «Недостаточность чего-либо»			
		Тенденции изменения потенциала организации по результатам негативных воздействиях на неё извне Восстанавли- вается Не восста- навливается		Потребительские свойства ресурсов Типовые Уникальные			
	Мониторинг и анти- кризисное управление (0000)	Диверсифи- кация и развитие конку- рентных преимуществ (0001)	Удовлетво- рение базовых потребностей человека (0100)	Создание благоприятной среды потребления продукции и/или услуг (0110)	Устойчивые		
	Реструктури- зация бизнеса и управление проблемными активами (0010)	Глобальное партнёрство и страте- гический менеджмент (0011)	Обеспечение благосостояния человека (0110)	Ориентация на ощущения, впечатления и опыт потребителя (0111)		Не устойчивые	
	Нестабильные	Управление затратами и временем в цепях создания ценности (1000)	Социальное партнёрство и управление конфликтами (1001)	Агрегатное планирование производства с переменным ритмом и изменяющейся численностью рабочих (1100)	Создание новинок, разработка новых технологий и материалов, освоение новых рынков (1101)	Создание и наращивание	
		Сохранение окружающей среды и экологический менеджмент (1010)	Обучение и стимулиро- вание инициативы и креативности (1011)	Устранение межфункци- ональных барьеров, управление потоками единичных изделий (1110)	Обеспечение доступности продукции, услуг и после- продажного обслуживания (1111)		Использование и распространение
		Природные (материальные)	Человеческие (информаци- онные)	Природные (материальные)	Человеческие (информаци- онные)		
	Приоритеты организационной культуры	Создание предпосылок долгосрочного развития	Тип ресурсов организации		Тип ресурсов организации		
			Блок принципов D (1000) «Организационная культура»		Блок принципов C (1100) «Потенциал организации»		

Свойства (параметры) спроса потребителя	Устойчивые	Не устойчивые	Создание и наращивание	Использование и распространение	Стадия формирования и развития потенциала организации	Свойства (параметры) спроса потребителя	
						Устойчивые	Не устойчивые

Рис. 6. Классификация принципов управления организацией [разработана автором].

гатное планирование производства с переменным ритмом и изменяющейся численностью рабочих». На рис. 6 видно, что данный принцип реализуется совместно с принципом с шифром «1110» – «Устранение межфункциональных барьеров, управление потоками единичных изделий», поскольку общим ориентиром для данных принципов является качественный признак и дихотомия: «тип ресурсов организации: природные (материальные)».

Одновременно принцип с шифром «1100» должен выполняться совместно с принципом с шифром «1101» – «Создание новинок, разработка новых технологий и материалов, освоение новых рынков», поскольку и тот, и другой принцип предполагают такую ста-

дию формирования и развития потенциала организации, как «создание и наращивание» или дихотомию. То же самое можно сказать и в отношении принципов с шифрами «1101», «1110» и «1111» блока «Управление потенциалом организации», за который отвечает функциональный директор, подчиняющийся генеральному директору.

Аналогичным образом могут быть представлены взаимосвязи функциональных директоров организации. Для их установления необходимо обратиться к содержанию рис. 1. На данном рисунке видно, что функциональный директор, отвечающий за блок принципов управления с шифром «11» – «Управление потенциалом организации» взаимодействует с функциональным директором, отвечающим

Таблица 2

Сравнение целей устойчивого развития (ООН) и принципов управления
организацией [разработано автором]

Шифр	Цели устойчивого развития (ООН)	Принципы управления организацией
1	2	3
0000	Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населённых пунктов	Мониторинг и антикризисное управление организацией
0001	—	Диверсификация и развитие конкурентных преимуществ организации
0010	—	Реструктуризация бизнеса и управление проблемными активами организации
0011	Укрепление средств достижения устойчивого развития и активизация работы механизмов глобального партнёрства	Глобальное партнерство и стратегический менеджмент организации
0100	Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности, улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства	Удовлетворение базовых потребностей человека организацией
0101	Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	Создание благоприятной среды потребления продукции и/или услуг
0110	Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте	Обеспечение благосостояния человека
0111	—	Ориентация на ощущения, впечатления и опыт потребителя
1000	Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех; Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надёжным, устойчивым и современным источникам энергии для всех	Управление затратами и временем в цепях создания ценности
1001	Сокращение неравенства внутри стран и между ними; Содействие построению миролюбивого и открытого общества в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию для всех и создание эффективных, подотчётных и основанных на широком участии учреждений на всех уровнях; Обеспечение гендерного равенства и расширение прав и возможностей всех женщин и девочек)	Социальное партнерство и управление конфликтами
1010	Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями; Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития; Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия	Сохранение окружающей среды и экологический менеджмент
1011	Обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех	Обучение и стимулирование инициативы и креативности персонала организации
1100	Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства; Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Агрегатное планирование производства с переменным ритмом и изменяющейся численностью рабочих
1101	Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Создание новинок, разработка новых технологий и материалов, освоение новых рынков
1110	—	Устранение межфункциональных барьеров, управление потоками единичных изделий
1111	Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	Обеспечение доступности продукции, услуг и послепродажного обслуживания



за блок с шифром «01» – «Управление недостаточностью чего-либо», ориентируясь на качественный признак и дихотомию «возможность внедрения инноваций в различные сферы деятельности организации: не ограничена». То же самое можно сказать и о его взаимодействии с функциональным директором, отвечающим за блок с шифром «10» – «Управление организационной культурой», общим для которых является качественный признак и дихотомия: «стадия управленческого решения: внедрение или разработка, согласование и выполнение».

Исходя из этого, можно констатировать, что спроектированные принципы управления устойчивостью адаптированы под типовую иерархически увязанную систему управления организацией, в которой обоснованы не только элементы, как в прототипах ранее созданных принципов управления, но и взаимосвязи между ними. Иными словами, предлагаемая методика проектирования принципов управления должна обеспечить достижение синергетического эффекта от взаимодействия должностных лиц и их подчинённых в рамках отведенных им компетенций и полномочий. Данная методика предполагает исключение субъективного подхода к обоснованию выводов и рекомендаций в случаях, когда количественные параметры объекта исследования измерить и оценить невозможно и приходится оперировать качественными характеристиками данного объекта и их дихотомиями, в том числе при структуризации объекта, если это входит в задачи исследования.

Анализ содержания табл. 2 показывает, что все семнадцать целей и задач, разработанных ООН [7], учтены при обосновании содержания предлагаемых принципов управления устойчивым развитием организации. При этом четыре принципа, хотя напрямую и не связаны с данными целями и задачами, но в целом им не противоречат, учитывая предпочтения организации в условиях конкуренции на рынке.

Подводя итоги исследования, можно отметить характерные черты предложенных автором принципов управления устойчивостью организации, такие как: избирательность в зависимости от факторов внешней и внутренней среды организации; сочетаемость при их реализации подразделениями организации; иерархичность; взаимосвязанность; универсальность; готовность к цифро-

визации, а также к структуризации и согласованию по уровням управления и между звеньями логистической цепи. В том случае, когда часть использованных актуальных качественных признаков окажется не востребованной, могут быть выявлены новые актуальные качественные признаки и их дихотомии, на основе которых можно спроектировать новый вариант принципов управления, которые будут понятны и доступны для реализации лицами, принимающими решения, и лицами, их выполняющими, что, по мнению автора, существенно смягчит проблему обеспечения устойчивости и устойчивого развития организации на всех её уровнях.

ВЫВОДЫ

Принципы управления являются важным компонентом системы управления организацией и одним из инструментов её стратегии. Динамичное изменение факторов внешней и внутренней среды организации, в частности, ограничения, связанные с противодействием пандемии COVID-19, постоянно провоцируют их корректировку, замену или проектирование. При этом возможна управленческая ситуация, когда организация вынуждена использовать принципы управления, которые, казалось бы, перестали быть актуальными. Одним из важнейших факторов, предопределяющих проектирование новых принципов управления организацией, является ориентация мирового сообщества на устойчивость и устойчивое развитие, предусматривающее удовлетворение потребностей нынешнего поколения не в ущерб потребностям будущих поколений. Многие аспекты разработки и внедрения нового видения мирового порядка до сих пор непонятны, не проработаны и поэтому являются дискуссионными. В рамках темы данной статьи весьма плодотворной могла бы быть дискуссия по следующим аспектам совершенствования систем управления организациями и их объединениями с централизованной и децентрализованной формами управления:

- расширение и дополнение подходов к проектированию принципов управления организацией в зависимости от стратегии её развития;
- уточнение методов согласования и структурирования принципов управления организациями и их объединениями по уровням управления, по его функциям, по типовым требова-

ниям конечных потребителей продукции и/или услуг; по видам стратегий; по основным разделам менеджмента и его видам и др.;

- разработка принципов управления цепями и сетями создания ценностей, поставок и требований, а также методики проектирования принципов управления их звеньями, начиная от первичного звена и заканчивая конечным потребителем продукции и/или услуг;

- разработка рекомендаций по оценке эффективности и результативности систем управления организациями, а также принципов управления с целью своевременной их корректировки, замены или оптимизации;

- создание предпосылок для решения двух, казалось бы, взаимоисключающих задач: создания ценностей для конечных потребителей и внедрения теории и методологии устойчивого маркетинга и др.

Важным вопросом, но уже более практического плана, является адаптация предложенной общей модели принципов управления к специфике деятельности отраслевых организаций, в том числе транспортного комплекса, и их объединений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Fayol, H. General and Industrial Management. Paris, Institute of Electrical and Electronics Engineering, 1916, 142 p.
2. Taylor, F. W. The principles of Scientific Management. Harper and Brothers Publishers, New York, London, 1919, 155 p.
3. Deming, W. E. Out of the crisis. Massachusetts Institute for Technology Press: Cambridge, MA, 1982, 507 p. ISBN 9780262541152.
4. Drucker, P. The practice of management. New York, Harper&Row, 1954, 416 p.
5. WCED. World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford University Press, New York, USA, 1987, 383 p. [Электронный ресурс]: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. Доступ 30.03.2022.
6. Linton, J. D., Klassen, R., Jayaraman, V. Sustainable supply chains: an introduction. Journal of Operation Management, 2007, Vol. 25, No. 6, pp. 1075–1082. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.012>.
7. United Nations. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development, 2015. [Электронный ресурс]: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. Доступ 30.03.2022.
8. Albers, H. H. Principles of Management: A Modern Approach. 3rd ed. New York, London, Sydney, Toronto: John

Wiley, & Sons, Inc., 1969, 702 p. ISBN 0471019178, 9780471019176.

9. Murugan, M. S. Management Principles and Practices. New York, New Age International, 2007, 520 p. ISBN 8122415067, 9788122415063.

10. Witcher, B. J., Chau, V. S. Strategic Management: Principles and Practice. Andover, Cengage Learning, 2010, 352 pp. ISBN 1844809935, 9781844809936.

11. Kotler, P., Armstrong, G. Principles of marketing. 14th ed., Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, 2011. [Электронный ресурс]: <https://nit-edu.org/wp-content/uploads/2021/09/Principles-of-Marketing-Kotler-Armstrong.pdf>. Доступ 30.03.2022.

12. de Casanove, A., Morel, L. Innovation management principles from ISO 50500 series. United Kingdom, Aston: International Association for Management of Technology IAMOT, 2018, 16 p. [Электронный ресурс]: https://www.wu.ac.at/fileadmin/wu/d/cc/npocompetence/14_Coach_Indeed_Content/COACH-Website/10_InnovationCrisis_AdRead_IAMOT2018_paper_97.pdf. Доступ 30.03.2022.

13. Wisner, J. D., Tan, K. C., Leong, G. K. Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. Mason, OH: Cengage Learning, 2012, 572 p. [Электронный ресурс]: <http://dspace.vnbrims.org:13000/jspui/bitstream/123456789/4491/1/Supply%20Chain%20Management.pdf>. Доступ 30.03.2022.

14. Godwin, A., Handsome, O. E., Ayomide, W. A., Enobong, A. E., Johnson, F. O. Application of the Henri Fayol Principles of Management in Startup Organizations. Journal of Business and Management, 2017, Vol. 19, Iss. 10, pp. 78–85. [Электронный ресурс]: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol19-issue10/Version-4/K1910047885.pdf>. Доступ 30.03.2022.

15. Schein, E. H. The Role of the Founder in the Creation of Organizational Culture. Massachusetts Institute of Technology. Sloan School of Management, 1983, 34 p. DOI: 10.1111/j.1741-6248.1995.00221.x.

16. Touma, J. Theories X and Y in Combination for Effective Change during Economic Crisis. Journal of Human Resource and Sustainability Studies, 2021, Vol. 9, pp. 20–29. [Электронный ресурс]: https://www.scirp.org/pdf/jhrss_2021022014443100.pdf. Доступ 30.03.2022.

17. Daily, B. F., Su-chun, Huang. Achieving Sustainability through Attention to Human Resource Factors in Environmental Management. International Journal of Operations & Production Management, 2001, Vol. 21 (12), pp. 1539–1552. [Электронный ресурс]: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443570110410892/full/html>. [платный доступ].

18. Cooper, M. C., Lambert, D. M., Pagh, J. D. Supply Chain Management: More than a New Name for Logistics. The International Journal of Logistics Management, 1997, Vol. 8(1), pp. 1–14. [Электронный ресурс]: <https://dr-douglaslambert.com/wp-content/uploads/2020/05/Cooper-Lambert-and-Pagh-SCM-IJLM-1997.pdf>. Доступ 30.03.2022.

19. Bailey, K. D. Typologies and taxonomies: An introduction to classification techniques. Sage Publications, Inc., London, 1994, 90 p. ISBN 0803952597, 9780803952591.

20. Ansoff, H. I. Strategies for Diversification. Harvard Business Review, 1957, Vol. 35, pp. 113–124. [Электронный ресурс]: https://www.casrilanka.com/casl/images/stories/2017/2017_pdfs/sab_portal/course_material/strategies_for_diversification.pdf. Доступ 30.03.2022.

Информация об авторе:

Тяпухин Алексей Петрович – доктор экономических наук, профессор, директор Оренбургского филиала Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия, artypurhin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 01.04.2022, одобрена после рецензирования 28.04.2022, принята к публикации 11.05.2022.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 331.55:656.072.4.001.76

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-2>

Окольный путь к высокой мобильности. Диалектика мобильности в истории человечества

*Дмитрий Александрович Мачерет**Российский университет транспорта, Москва, Россия.**✉ macheretda@rambler.ru.*

Дмитрий МАЧЕРЕТ

АННОТАЦИЯ

Целью описанного в статье исследования является долгосрочный анализ количественных и качественных параметров пространственной мобильности населения и определение её дальнейших перспектив на основе использования диалектического метода, методов исторического и статистического анализа, что необходимо для понимания требуемых направлений и темпов развития транспортных систем, призванных обеспечить возможности для удовлетворения потребностей в пространственных перемещениях в настоящем и создание условий для повышения мобильности в будущем.

На основе статистических данных охарактеризован высокий и имеющий тенденцию к росту уровень пространственной мобильности населения в современном обществе. Сделан вывод о том, что мобильность стала насущной необходимостью в современном обществе, а потребность в перемещении превратилась в одну из важнейших человеческих потребностей. Раскрыто изменение пространственной мобильности в исторической ретроспективе, выявлен

его нелинейный характер, который можно рассматривать в рамках диалектической триады «тезис – антитезис – синтез».

Определены перспективы роста пространственной мобильности населения в условиях цифровизации. Введено новое понятие – «пространственно-цифровая мобильность», определены характеристики, которыми должны обладать транспортные системы для обеспечения необходимого уровня пространственно-цифровой мобильности. Дополнительно аргументирована значимая роль строительства высокоскоростных сухопутных магистралей для реализации растущего потенциала пространственной мобильности населения. Проанализированы соответствующие параметры Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Сделан вывод о том, что углубление социально-экономической модернизации будет сопровождаться дальнейшим повышением пространственной мобильности населения, что требует ускоренного развития транспорта на инновационной основе.

Ключевые слова: пространственная мобильность населения, социально-экономическое развитие, транспорт, пассажирооборот, модернизация, урбанизация, дальность передвижения.

Для цитирования: Мачерет Д. А. Окольный путь к высокой мобильности. Диалектика мобильности в истории человечества // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-2>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях пространственная мобильность населения достигла как в мире, так и в нашей стране весьма высокого уровня и продолжает повышаться, что является как важным фактором социально-экономического развития, так и серьёзным вызовом для транспортных систем.

Развитие транспорта должно, с одной стороны, удовлетворять высокий спрос на перемещения как в количественном, так и в качественном отношении, а с другой – стимулировать рост пространственной мобильности. В связи с этим представляет интерес долгосрочный анализ изменения уровня и характера пространственной мобильности населения в контексте социально-экономического развития и определение её дальнейших перспектив. Проведение такого анализа и является *целью* настоящей статьи. При этом использованы диалектический метод, методы исторического и статистического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Высокая и возрастающая мобильность – неотъемлемая черта современного общества.

Современное общество – это общество высокой пространственной мобильности. Всё большее число людей перемещается всё чаще, на большие расстояния и с большими скоростями.

Показательны данные о росте мобильности населения Российской Федерации с начала нынешнего столетия (табл. 1). Пассажирооборот общественного транспорта и соответствующий показатель подвижности населения [1, с. 226] до начала пандемии коронавируса возросли более чем на 30 % (о влиянии пандемии на пассажирооборот будет сказано ниже)^{1,2}.

В 2019 году на каждого жителя страны в среднем приходилось более чем 4300-километровое перемещение только общественным транспортом, без учёта личных легковых автомобилей (количество которых составило 46,3 млн единиц, увеличившись по сравнению с 2000 годом почти в 2,5 раза), поездок на такси, количество которых росло опережающими

темпами [2, с. 44], использования каршеринговых автомобилей и различных микромобильных средств, набирающих популярность.

Как свидетельствует ряд исследований [3–5], при анализе транспортной деятельности показательны сверхдолгосрочные сравнения, охватывающие вековые периоды. Сравнение достигнутого в начале XXI века уровня пространственной мобильности с уровнем, существовавшим в начале XX века, в предвоенном 1913 году (около 200 пасс•км/чел. в год), показывает более чем двадцатикратное увеличение за этот период. Это весьма впечатляющий рост мобильности, обеспечивший её выход на качественно новый уровень.

Как указано выше, мобильность следует оценивать не только интенсивностью перемещений, но также их скоростью и дальностью.

Рост скорости фиксируется по конкретным видам транспорта. Например, скорость движения пассажирских поездов за рассматриваемый период возросла в дальнем следовании на 13,1 %, в пригородном сообщении – на 14,4 %. На автомобильном транспорте стремление к росту скорости проявляется в улучшении скоростных характеристик автомашин, однако их реализация сдерживается, особенно в мегаполисах и агломерациях, из-за инфраструктурных ограничений [6]. Вообще, неполное использование скоростных возможностей транспортных средств, то есть низкая скоростная эффективность [7], является системной проблемой транспорта.

Наиболее наглядно рост скорости передвижения отражается в изменении структуры пассажирооборота по видам транспорта (табл. 2). Если в преддверии XX века наиболее скоростной транспорт – воздушный – обеспечивал лишь 11 % пассажирооборота, втрое меньше, чем каждый из тогдашних лидеров (железнодорожный и автомобильный), то в 2019 году он выполнил существенно больший пассажирооборот, чем оба они вместе взятые. Этот кардинальный структурный сдвиг является очень ясной характеристикой стремления современного человека к ускорению перемещений. Не случайно использование скоростного и не подверженного попаданию в «пробки» воздушного транспорта рассматривается как одно из возможных решений проблемы ускорения поездок в мегаполисах [8].

При увеличении скоростей перемещения пропорционально им повышается и доступность более отдалённых территорий за время

¹ Транспорт в России: Стат. сб. – М.: Госкомстат России, 2003. – 182 с. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/TRANSP.ZIP>. Доступ 03.03.2022.

² Транспорт в России. 2020: Стат. сб. – М.: Росстат, 2020. – 108 с. [Электронный ресурс]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/UbzlvBZj/Transport_2020.pdf. Доступ 03.03.2022.





Таблица 1

**Рост мобильности населения Российской Федерации в 2000-2019 годах
с использованием общественного транспорта^{1,2}**

№	Показатели	2000	2019	Темп роста, %
	Пассажирооборот транспорта общего пользования, млрд пасс•км, в том числе:	485,9	635,2	130,7
1.	железнодорожного	167,1	133,6	80,0
2.	автобусного	164,4	122,5	74,5
3.	трамвайного	25,1	3,8	15,1
4.	троллейбусного	28,1	4,2	14,9
5.	метро	46,9	47,4	101,1
6.	морского	0,04	0,05	125,0
7.	внутреннего водного	0,9	0,6	66,7
8.	воздушного	53,4	323,0	604,9
	Подвижность населения, пасс•км/чел, в том числе по видам транспорта:	3314,5	4328,2	130,6
1.	железнодорожному	1139,8	910,3	79,9
2.	автобусному	1121,4	834,7	74,4
3.	трамвайному	171,2	25,9	15,1
4.	троллейбусному	191,7	28,6	14,9
5.	метро	319,9	323,0	101,0
6.	морскому	0,28	0,35	125,0
7.	внутреннему водному	6,1	4,1	67,0
8.	воздушному	364,3	2200,9	604,1

поездки (как показали исследования Г. А. Гольца [9, с. 82–121; 10, с. 263–296]), временная доступность территорий играет ключевую роль для территориального размещения населения и его коммуникационных возможностей, а потому должна учитываться при развитии транспортных систем. Критерий временной доступности использован при формировании перспективной топологии высокоскоростной наземной инновационной транспортной сети в работе [11] и при определении перспективных задач развития Единой опорной транспортной сети в соответствии с новой Транспортной стратегией Российской Федерации³.

Соответственно, повышение скоростей транспорта способствует росту ещё одного важного показателя пространственной мобильности – дальности поездки.

Средняя дальность поездки в рассматриваемый период возросла на большинстве видов транспорта, наиболее значительно – на автобусном и внутреннем водном (табл. 3). Но общий рост средней дальности поездки – гораздо выше, чем на любом из видов транспорта. Это явление, которое можно отнести

к разряду статистических парадоксов, связано с выше отмеченным структурным сдвигом – ростом доли поездок, совершаемых с помощью воздушного транспорта, который, обеспечивая наиболее высокую скорость, позволяет реализовать и наибольшую дальность поездки.

Таким образом, в предшествующий пандемии долгосрочный период ключевые показатели, которые можно использовать для характеристики пространственной мобильности, в нашей стране существенно повысились.

С этой точки зрения, Россия находилась в русле глобальных трендов роста мобильности. Данные по группе из 15 зарубежных стран, отражаемые Росстатом в разрезе основных видов пассажирского транспорта (без учёта водного транспорта и городского электрического транспорта) свидетельствуют о динамичном росте пассажирооборота в допандемийный период (табл. 4). Их важное отличие от российских показателей состоит в высокой динамике пассажирооборота железнодорожного транспорта, существенно превосходящей рост пассажирооборота на воздушных линиях. Это связано, прежде всего, с ростом более чем в 2,3 раза пассажирооборота на железных дорогах Китая, являющегося мировым лидером как в общем объёме железнодорожных пассажирских перевозок, так и в плане развития высокоскоростных железнодорожных

³ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года // Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р. – 285 с. – С. 88–89. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/727294161?marker=65C01R>. Доступ 03.03.2022.

Таблица 2

Изменение структуры пассажирооборота по видам общественного транспорта в Российской Федерации

№	Виды транспорта	Доля в пассажирообороте, %		Изменение, процентных пунктов
		2000	2019	
1.	Железнодорожный	34,4	21,0	-13,4
2.	Автобусный	33,8	19,3	-14,5
3.	Трамвайный	5,2	0,6	-4,6
4.	Троллейбусный	5,8	0,7	-5,1
5.	Метро	9,7	7,5	-2,2
6.	Морской	0,0	0,0	0
7.	Внутренний водный	0,2	0,1	-0,1
8.	Воздушный	11,0	50,9	+39,9
Всего		100,0	100,0	—

Источник: [Расчёты автора].

Таблица 3

Изменение средней дальности поездки пассажиров с использованием общественного транспорта в Российской Федерации

№	Виды транспорта	Средняя дальность поездки, км		Темп роста, %
		2000	2019	
1.	Железнодорожный	117,8	111,2	94,4
2.	Автобусный	7,5	11,5	153,3
3.	Трамвайный	3,4	3,1	91,2
4.	Троллейбусный	3,2	3,7	115,6
5.	Метро	11,2	13,7	122,3
6.	Морской	40,0	8,3	20,8
7.	Внутренний водный	34,6	54,5	157,5
8.	Воздушный	2321,7	2465,6	106,2
Всего		11,1	35,6	320,7

Источник: [Расчёты автора].

магистралей. Другими словами, динамика пассажирооборота железных дорог существенно ускоряется благодаря развитию высокоскоростного сообщения, которое позволяет им успешно конкурировать с авиацией в обеспечении приемлемого времени поездки на дальние расстояния [12, с. 52–53]. Это свидетельствует о важности сооружения высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) в России для обеспечения дополнительного роста мобильности жителей страны. Социально-экономическая эффективность строительства ВСМ обосновывалась российскими учёными многие годы [13; 14], и важно, что развитие высокоскоростного железнодорожного сообщения предусмотрено в Транспортной стратегии РФ³.

Важным показателем роста глобальной мобильности в современную эпоху являются устойчиво высокие темпы прироста мирового пассажирооборота в конце XX–начале XXI века. В период 1996–2015 годов они составляли свыше 4 % в среднем за год [15, с. 160], в то время как население мира увеличивалось

примерно на 1 % в среднем за год [16, с. 300]. То есть среднегодовой прирост транспортной подвижности составлял около 3 %.

Устойчивость потребности в перемещении

Пандемия коронавируса оказала крайне негативное влияние на пространственную мобильность во всём мире. В нашей стране во II квартале 2020 года, на который пришёлся пик антиэпидемических ограничений мобильности, пассажирооборот транспортной системы в целом сократился почти в пять раз к уровню соответствующего периода предыдущего года, а к предшествующему I кварталу вместо обыкновенного сезонного роста [17, с. 6] произошёл более чем трёхкратный спад (табл. 5).

В этот период появилось мнение, что произошедшее снижение мобильности будет долговременным, так как люди, из-за опасения заразиться, даже после снятия ограничений предпочтут отказываться от дальних поездок, а многие поездки малой дальности, в том числе



Таблица 4

Долгосрочный рост пассажирооборота в группе зарубежных стран*

№	Виды транспорта	Пассажирооборот, млрд пасс•км		Темп роста, %
		2005	2018	
1.	Железнодорожный	938, 7	1796, 9	191, 4
2.	Автомобильный	11140, 3	12573, 1	112, 9
3.	Воздушный	1922, 9	3352, 2 ¹	174, 3
Итого		14001, 9	17722, 2	126, 6

* Использованы показатели следующих стран: Азербайджан, Армения, Беларусь, Великобритания, Германия, Казахстан, Киргизия, Китай, Польша, Молдова, США, Таджикистан, Узбекистан, Украина, Франция.

Таблица 5

Динамика пассажирооборота транспорта общего пользования* в Российской Федерации в предпандемный период и после начала пандемии (2019–2020 годы)

Год	Период	Пассажирооборот, млрд пасс•км	в % к	
			соответствующему периоду прошлого года	предыдущему периоду
2019	I квартал	116, 7	107, 8	93, 6
1.	II квартал	143, 0	108, 4	122, 5
2.	III квартал	178, 2	106, 7	124, 7
3.	IV квартал	132, 6	106, 4	74, 4
4.	Год в целом	570, 5	107, 3	–
2020	I квартал	111, 2	95, 3	83, 9
5.	II квартал	30, 3	21, 2	27, 3
6.	III квартал	99, 1	55, 6	327, 1
7.	IV квартал	71, 8	54, 2	72, 5
8.	Год в целом	312, 5	54, 8	–

Источник: Социально-экономическое положение России за январь–декабрь 2020 года. – М.: Росстат, 2020. – 376 с. [Электронный ресурс]: https://nangs.org/analytics/download/6536_eebada54288ef7abbe5d55eafa67d0f7. Доступ 03.03.2022.

* Без учёта городского транспорта.

связанные с трудовой деятельностью, будут заменены цифровыми коммуникациями. Однако в научном дискурсе эта позиция не успела укорениться, так как была опровергнута жизнью. В III квартале 2020 года, когда ограничения мобильности были существенно ослаблены, пассажирооборот увеличился более чем в три раза к уровню II квартала вместо обычного сезонного роста, составлявшего порядка 25 %. По-видимому, главной причиной того, что мобильность при этом осталась существенно ниже допандемного уровня, было сохранение значительной части ограничений, прежде всего – на трансграничные перемещения. Есть все основания ожидать (и это зафиксировано в Транспортной стратегии), что после окончательной отмены ограничений произойдёт быстрое восстановление пассажиропотоков до предшествующего пандемии уровня, а затем продолжится их рост³.

Быстрое восстановление пассажиропотоков везде, где были сняты ограничения, свидетельствует о том, что мобильность стала насущной необходимостью в совре-

менном обществе, а потребность в перемещении превратилась в одну из важнейших человеческих потребностей. И это не случайно. Пространственная мобильность является неотъемлемым элементом модернизации общества и тесно связана с мобильностью социальной [16, с. 243–244], она существенно влияет на распространение инноваций и экономический рост, повышение ценности человеческого капитала и благосостояния общества [18]. Именно поэтому свобода передвижения, являющаяся необходимым условием высокой и географически дифференцированной пространственной мобильности [2, с. 45–46], столь важна для людей.

Пространственная мобильность сыграла важную роль в становлении и развитии человеческого общества [19, с. 41–44] и экономики [18]. Однако её рост был отнюдь не линейен. Сфокусировать внимание на нелинейном характере изменения мобильности в истории человечества представляется необходимым для более глубокого уяснения её взаимосвязи с социально-экономическим развитием.

³ Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 18–28

Мобильность на ранних этапах общественного развития

Становление человеческого общества было периодом практически непрерывных перемещений небольших групп собирателей и охотников [16, с. 39]. Но скорость их передвижения была невелика – до 25–30 км за сутки [20, с. 27], а перемещения, в основном, осуществлялись циклично по определённой территории. И очень медленно, как правило, под влиянием внешних факторов происходила миграция на другие территории, которую можно назвать «диффузией». Её средняя скорость, в зависимости от периода времени и направления перемещения, оценивается от 300–400 метров до двух километров в год [21, с. 356; 26].

Последующий переход к оседлости и, затем, к производящему хозяйству, по-видимому, был связан с освоением человечеством всех доступных для жизни территорий [18, с. 54] и являлся механизмом адаптации к климатическим изменениям в специфических природных условиях [23; 24].

Зерновая специализация и сужение ресурсных источников у оседлых земледельцев требовали расширения обмена, чтобы получать иные ресурсы из других, нередко удалённых, регионов [24; 25, с. 231–232] (в современных условиях доставка товаров также стала альтернативой личным поездкам за ними, что особенно проявилось при ограничении мобильности в период пандемии).

Дальние перевозки материальных благ по водным и караванным путям превращались в специализированную деятельность. Занимавшиеся этой деятельностью люди перемещались на многие сотни километров [25, с. 232–233]. Таким образом, при общем снижении повседневной массовой мобильности людей в результате перехода к оседлости и, затем, к производящему хозяйству, увеличивалась мобильность материальных благ и тех, кто занимался их перемещением, что является одним из примеров диалектики мобильности. Причём, по мере развития экономики, возрастали как объёмы перемещаемых материальных благ, так и дальность их перемещения.

По существу, переход к оседлости означал не отказ от мобильности, не снижение мобильности, а изменение её характера – переход от мобильности массовой к мобильности специализированной, сопровождавшейся ростом дальности соответствующих перемещений. Это важный вывод, говорящий о том, что уже

в древности развитие требовало качественного повышения мобильности.

«Парой» оседлых земледельческих обществ стали пространственно высокомобильные общества кочевников-скотоводов. Между оседлыми и кочевыми обществами возникал симбиоз, основанный на взаимодополнении тех видов хозяйственной деятельности, на которых специализировались эти общества, и развитии обмена между ними [24; 25].

После перехода «от присваивающей к производящей экономике» резко выросли «роль и масштабы миграций» [16, с. 227], характер которых по сравнению с первобытным периодом качественно изменился. Это была уже не медленная диффузия малых групп людей, мигрировали «целые народы, представляющие собой социально, и культурно интегрированное целое» [16, с. 228], что приводило к значительным демографическим, социально-экономическим и культурным изменениям.

Таким образом, на самых ранних этапах истории человеческого общества пространственная мобильность играла ключевую роль неотъемлемого элемента хозяйственной деятельности и самого существования человеческих обществ. Затем, по мере качественных изменений экономики и общества, характер мобильности также качественно изменился (причём всё большую роль играла мобильность материальных благ [18]), при этом мобильность продолжала иметь ключевое значение для социально-экономического развития.

Рост мобильности и социально-экономическая модернизация

Великие географические открытия XV–XVII веков дали мощный импульс росту пространственной мобильности и стали важным фактором формирования предпосылок для промышленной революции и модернизации экономики и общества [27; 28, с. 166–168]. Ключевым элементом этой модернизации стало создание инновационного – механического – транспорта, движимого не мускульной силой животных или людей, а силой пара, а затем – двигателями внутреннего сгорания и электричеством [29].

Уже паровой транспорт создал условия для роста пространственной мобильности, облегчив, ускорив и удешевив передвижения людей и товаров на дальние расстояния [29; 30; 31, с. 49–88]. Показательным является рост пассажирооборота железных дорог и соответ-



ствующего показателя подвижности населения в Российской империи в период «модернизации Витте–Столыпина» [32] перед Первой мировой войной (табл. 6). За 13 лет пассажирооборот возрос в 2,3 раза, то есть среднегодовой темп прироста составлял 6,6 %. Динамика пассажирооборота существенно опережала увеличение численности населения, и подвижность населения при перемещении по железным дорогам возросла почти в 1,8 раза, её среднегодовой темп прироста составил 4,6 %. Примечательно, что серьёзный спад подвижности населения, произошедший в 1905 году в условиях войны и социально-политических потрясений, был полностью «отыгран» уже на следующий год, после чего динамичный рост мобильности населения продолжился. В исследовании [18] выявлено существенное позитивное влияние роста железнодорожной мобильности населения на макроэкономические показатели в рассматриваемый период. Коэффициент корреляции между чистым национальным продуктом и уровнем подвижности населения составил 0,896.

Большая пространственная мобильность, обеспечиваемая благодаря развитию железнодорожной сети и повышению доступности железнодорожных поездов, в том числе для людей невысокого достатка, расширяла возможности индивидуального выбора, поиска лучших условий для жизни, в том числе в других, перспективных, регионах. Только «в период с 1906 по 1914 год население восточной половины империи выросло за счёт миграции примерно на 2 млн человек (около 220 000 человек ежегодно)» [33, с. 331], большинство из которых получило возможность более обеспеченной и благополучной жизни, чем в родных местах. И это стало результатом синергии инфраструктурного развития – строительства Транссиба – и институциональных преобразований в ходе проводимых модернизационных реформ [32; 34].

Важно отметить, что мощный миграционный поток, устремившийся в зауральские земли, в отличие от коллективных миграций древности был совокупностью отдельных семей и индивидов, принявших решение о переезде, исходя из личных стремлений и оценок. Тем самым в нашей стране проявилась глобальная тенденция – «миграционный переход», который заключался в становлении новой, индивидуальной, модели миграции [16,

с. 243–246]. Рост пространственной мобильности в условиях институциональных трансформаций способствовал изменению самих людей, росту личностного начала, реализации более активной жизненной позиции.

Железнодорожная мобильность способствовала не только освоению восточных регионов, но и урбанизации, которая резко возросла после того, как в 1870-е годы был достигнут существенный прирост российской железнодорожной сети (более чем на 12 тыс. км) и связанности территорий Европейской части страны, а уровень инфраструктурной обеспеченности населения превысил критически важный рубеж 2 км/10 тыс. человек [34, с. 162]. Если в 1869 году численность городского населения (с пригородами) в Европейской части России (без учёта Польши и Финляндии) составляла 6,2 млн чел., а его доля – 9,5 %, то к 1914 году эта численность возросла более чем втрое, до 19,5 млн чел., и составила 15,3 % от общей численности населения [35, с. 839]. Это соответствовало глобальным тенденциям – в целом в мире доля городского населения в начале XX века составляла около 15 %, в то время как столетием раньше – лишь немногим более 5 % [16; 29].

Урбанизация – ключевой элемент модернизации общества, характерный для разных её стадий [36, с. 4]. Она имеет важное значение не только для социального прогресса, но и для экономического роста: доля трёхсот крупнейших городов мира в численности мирового населения составляет около 20 %, а в мировом ВВП – около 50 % [37], что обеспечивается благодаря агломерационным эффектам, формируемым, в том числе, и рациональной организацией транспортных систем мегаполисов и городских агломераций [38; 5, с. 229–236].

Именно развитие городского и пригородного транспорта обеспечивает высокую пространственную мобильность населения мегаполисов и агломераций, которая приобретает повседневный характер и является важным фактором получения высокой отдачи от сконцентрированного там человеческого капитала, являющегося «главным элементом богатства современных обществ», превосходящим в развитых странах ВВП в 10–11 раз, а ценность физического капитала – от 3,6 до 7 раз [39, с. 537].

Благодаря развитию городского транспорта, повышению его доступности и посте-

Таблица 6

Рост мобильности населения Российской империи с использованием железнодорожного транспорта в годы предвоенной модернизации, 1900–1913 годы

Показатели	1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913
Пассажирооборот железных дорог: млрд пасс•км	9,7	10,2	10,7	11,5	11,3	10,3	11,7	13,9	14,6	15,6	17,2	18,5	20,1	22,3
% к 1900 году	100,0	105,2	110,3	118,6	116,5	106,2	120,6	143,3	150,5	160,8	177,3	190,7	207,2	229,9
Подвижность населения при перемещении по железным дорогам: пасс•км/чел.	72,9	75,6	78,1	82,7	80,1	71,5	80,1	93,3	95,4	99,4	106,8	112,8	119,6	130,4
% к 1900 году	100,0	103,7	107,1	113,4	109,9	98,1	109,9	128,0	130,9	136,4	146,5	154,7	164,1	178,9

Источник: [18].

пенному росту скоростей движения, увеличивалось расстояние ежедневных поездок в мегаполисах и агломерациях в пределах того времени, которое индивиды считают возможным затрачивать на такие поездки [9, с. 125–129; 44].

Тем самым в современном урбанизированном обществе произошёл возврат к повседневной массовой мобильности (причём ежедневно преодолеваемые расстояния в среднем сопоставимы с теми, которые преодолевали первобытные собиратели и охотники), но на качественно новом уровне, обеспечиваемом современными транспортными системами. Это – яркий пример диалектики пространственной мобильности. Повседневная массовая мобильность – уже не инструмент слабо специализированного присваивающего хозяйства, а инструмент высокоспециализированной и высокопроизводительной деятельности. Индивиды в современном урбанизированном обществе перемещаются не столько туда, где в данное время больше всего ресурсов, а, прежде всего, туда, где выше ценятся их трудовые навыки и компетенции, и существует возможность повысить отдачу от своего человеческого капитала. И подобно тому, как рост ценности перевозимых товаров является основой формирования ценности используемой для их перемещения инфраструктуры и других средств транспорта [41, с. 133–141; 42, с. 74–75], рост ценности человеческого капитала, достигаемый благодаря поездкам, определяет ценность основных фондов пассажирского транспорта.

Перспективы пространственной мобильности

Перспективы пространственной мобильности населения следует рассматривать в контексте набирающей скорость цифровой транс-

формации общества, экономики и транспорта [43; 44].

Хотя развитие возможностей цифрового взаимодействия создаёт альтернативу физическому перемещению, представляется обоснованным мнение исследователей, указывающих на то, что цифровизация способствует росту пространственной мобильности населения, в том числе – благодаря возникновению новых форм мобильности на основе взаимосвязи пространственных перемещений и цифровых взаимодействий [45; 46].

Во-первых, цифровые коммуникации позволяют при пространственных перемещениях не терять постоянной связи с родными и близкими, что снимает один из существенных барьеров для таких перемещений.

Во-вторых, цифровизация увеличивает объём информации о возможностях повышения эффективности использования человеческого капитала индивида, увеличения его ценности путём пространственных перемещений, что может стимулировать географическую мобильность.

В-третьих, благодаря цифровизации «во время поездки на общественном транспорте человек может совершать покупки в интернет-магазине или решать рабочие задачи» [46, с. 260], что делает для него более приемлемым повышение частоты, длительности (а значит, и дальности) поездок, то есть стимулирует пространственную мобильность.

Цифровизация не заменяет пространственную мобильность, а даёт ей новые цели и маршруты, наполняет новым содержанием. Формируется пространственно-цифровая мобильность, которую можно трактовать как возможность быстрого перемещения (в том числе – мультимодального) из любой точки пространства в любую другую точку и осуществления при этом глобальных цифровых



Таблица 7
Целевые индикаторы повышения
транспортной подвижности населения
(включая поездки на личном автомобиле)
к уровню базового, 2019, года (%)³

	2030	2035
Консервативный сценарий	153,5	165,1
Базовый сценарий	165,1	181,4

коммуникаций как в конечных точках маршрута следования, так и на всём его протяжении. При условии обеспечения такой мобильности вполне возможна реализация прогноза Ж. Аттали об увеличении времени, проводимого в пути, и его насыщении самыми разными видами трудовой и досуговой деятельности [47]. Практически, это уже происходит.

Следует отметить, что возможность, благодаря цифровым технологиям, проводить время в транспорте с пользой не снижает у людей стремления к ускорению поездок. Об этом свидетельствуют и вышеприведённые статистические данные, и интроспективное понимание. В условиях цифровизации люди готовы ездить чаще и дальше (если это приносит им адекватную пользу), но для каждой конкретной поездки они предпочитают более быстрый вариант (безусловно с учётом стоимости и комфорта).

Исходя из сказанного, для обеспечения пространственно-цифровой мобильности населения транспортные системы должны:

- позволять совершать поездки с высокой скоростью;
- быть гибкими и мультимодальными, позволяя комфортно, быстро и надёжно перемещаться «от двери до двери»;
- быть полностью интегрированными с цифровыми системами, чтобы человек во время поездки не «выпадал» из цифрового пространства.

С точки зрения последнего критерия высокоскоростной наземный транспорт имеет значимые преимущества перед авиацией.

Следует отметить, что среди целей развития транспортной системы нашей страны до 2030 года и на прогнозный период до 2035 года предусмотрены как повышение мобильности населения, так и цифровая трансформация отрасли³ [14, с. 80]. При этом даже по консервативному сценарию прогнозируется высокая динамика транспортной подвижности населения (табл. 7), а по более амбициозному сценарию, который рассматривается в качестве ба-

зового, консервативный уровень 2035 года должен быть достигнут уже в 2030 году, после чего подвижность продолжит достаточно динамичный рост.

По консервативному сценарию среднегодовой рост транспортной подвижности населения составляет 3,2 %, а по базовому – 3,8 %, что сопоставимо с динамикой железнодорожной мобильности в начале прошлого столетия. Это свидетельствует о том, что достигнутый в ходе длительной модернизации общества, экономики и транспорта уровень пространственной мобильности населения отнюдь не является предельным, и его динамичное повышение будет продолжаться.

Таким образом, рост пространственной мобильности населения носит долгосрочный характер, что является серьёзным вызовом для транспорта, ответ на который должен базироваться на инновационных решениях и создании широкого спектра альтернативных вариантов удовлетворения спроса на поездки, обладающих высокой социально-экономической перспективностью [48; 49].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Становление и развитие человеческого общества неразрывно связано с пространственной мобильностью и её повышением. При этом рост мобильности не был линейным процессом. Скорее, он может быть интерпретирован в рамках известной диалектической триады: «тезис – антитезис – синтез».

Для ранних этапов общественного развития, в условиях присваивающего хозяйства, была характерна массовая повседневная мобильность при низких скоростях и небольших расстояниях перемещения.

Становлению производящего хозяйства предшествовал переход к оседлости, но его ведение потребовало частичной замены пространственной мобильности людей пространственной мобильностью материальных благ с одновременным ростом дальности перемещений и превращением их в специализированную деятельность.

И, наконец, в современном модернизированном и урбанизированном обществе, ставшем результатом многотысячелетнего развития производящего хозяйства и транспорта, позволившего человечеству войти в эпоху современного экономического роста [18; 28], на основе качественно нового уровня как технико-технологического, так и социально-

экономического развития был достигнут синтез повседневной массовой мобильности с перемещением на относительно небольшие расстояния с дальними перемещениями как людей, так и материальных благ, причём интенсивность, дальность и скорость таких перемещений достигли исторически беспрецедентного уровня.

Таким образом, к современной высокой пространственной мобильности человечество двигалось нелинейно. Это был окольный путь, на разных этапах которого мобильность менялась не только количественно, но и качественно, однако её роль для экономической деятельности и общественной жизни всегда была высока. При этом достигнутый уровень пространственной мобильности отнюдь не является предельным. Углубление модернизации общества требует дальнейшего роста мобильности, который, в свою очередь, нуждается в ускорении развития транспорта на инновационной основе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мачерет Д. А., Кудрявцева А. В., Ледней А. Ю., Чернигина И. А. Общий технико-экономических курс железных дорог. – М.: МИИТ, 2017. – 364 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32652216>. Доступ 03.03.2022.
2. Мачерет Д. А. Свобода передвижения и особенности транспортных систем // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 3. – С. 40–54. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1665>. Доступ 03.03.2022.
3. Мачерет Д. А. О чём свидетельствует столетняя динамика показателей крупнейших железнодорожных систем // Экономическая политика. – 2016. – Т. 11. – № 6. – С. 138–169. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27810881>. Доступ 03.03.2022.
4. Измайкова А. В. Волны инновационного развития железных дорог // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13. – № 5. – С. 26–38. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/download/512/801>. Доступ 03.03.2022.
5. Разуваев А. Д. Экономическая оценка создания, эволюции и стратегического развития транспортной инфраструктуры (на примере железнодорожного транспорта): Монография. – М.: Прометей, 2021. – 286 с. – ISBN 978-5-00172-251-9.
6. Мачерет Д. А. Экономика «пробки» // Мир транспорта. – 2014. – Т. 12. – № 3. – С. 64–75. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/86>. Доступ 03.03.2022.
7. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Повышение скорости эффективности транспортного сообщения на основе непрерывного перемещения товаров и пассажиров // Фундаментальные исследования для долгосрочного развития железнодорожного транспорта. – М.: Интекст, 2013. – С. 85–94. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20401876>. Доступ 03.03.2022.
8. Цыпин П. Е., Разуваев А. Д., Ледней А. Ю. Воздушные перевозки в мегаполисе как фактор развития его транспортной инфраструктуры // Наука и образование: будущее и цели устойчивого развития // Материалы XVI международной научной конференции. – М., 2020. – С. 622–629. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44538517>. Доступ 03.03.2022.

9. Гольц Г. А. Транспорт и расселение. – М.: Наука, 1981. – 248 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28132974>. Доступ 03.03.2022.

10. Гольц Г. А. Культура и экономика России за три века, XVIII–XX вв. – Т. 1. Менталитет, транспорт, информация (прошлое, настоящее, будущее). – Новосибирск: Сибирский хронограф, 2002. – 536 с. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28134510>. Доступ 03.03.2022.

11. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Перспективная топология высокоскоростной транспортной системы с использованием вакуумно-левитационных технологий // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 1. – С. 15–21. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32637976>. Доступ 03.03.2022.

12. Лапидус Б. М. Будущее транспорта. Мировые тренды с проекцией на Россию: Монография. – М.: Прометей, 2020. – 226 с. – ISBN 978-5-907224-52-8.

13. Мирошниченко О. Ф. Методическое обеспечение расчётов экономической эффективности сооружения высокоскоростных линий // Вестник ВНИИЖТ. – 1993. – № 2. – С. 31–35. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33846613>. Доступ 03.03.2022.

14. Лапидус Б. М. Социально-экономические предпосылки создания в России высокоскоростного железнодорожного сообщения // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». – 2013. – № 2. – С. 9–12. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19068940>. Доступ 03.03.2022.

15. Варнавский В. Г. Глобальная транспортно-логистическая инфраструктура // Вестник Российской академии наук. – 2021. – Т. 91. – № 2. – С. 157–166. DOI: 10.31857/S0869587321020110.

16. Вишневский А. Г. Демографическая история и демографическая теория. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – 368 с. – ISBN 978-5-7598-1706-2 (в пер.); ISBN 978-5-7598-1836-6 (e-book).

17. Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Влияние сезонной неравномерности перевозок на эффективность транспортной инфраструктуры // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 6. – С. 4–9. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42194730>. Доступ 03.03.2022.

18. Мачерет Д. А. Роль плотности, мобильности населения и перемещения материальных благ в разных концепциях экономического роста // Вопросы теоретической экономики. – 2021. – № 4. – С. 50–78. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-plotnosti-mobilnosti-naseleniya-i-peremescheniya-materialnyh-blag-v-raznyh-kontseptsyiah-ekonomicheskogo-rosta>. Доступ 03.03.2022.

19. Мачерет Д. А. Социальное значение скорости транспортного сообщения // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 3. – С. 40–52. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1209>. Доступ 03.03.2022.

20. Макасовский В. П. Историческая география мира. – М.: Ленанд, 2016. – 624 с. ISBN 978-5-9710-1597-0.

21. Марков А. В. Эволюция человека. В 2 кн. Кн. 1: Обезьяны, кости и гены. – М.: Астрель: CORPUS, 2012. – 464 с. [Электронный ресурс]: https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/Markov_2011_E%60volyutsiya%20cheloveka_1_Obez'yany%60kosti%20i%20geny%60.pdf. Доступ 03.03.2022.

22. Morris, I. Why the West Rules – for Now. The pattern of history and what the reveal about future. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2010, 944 p. ISBN 9780374290023.

23. Kaube, J. Die Anfänge von allem. Berlin: Rowohlt, 2017, 400 p. ISBN-109783871348006; ISBN-13978-3871348006.



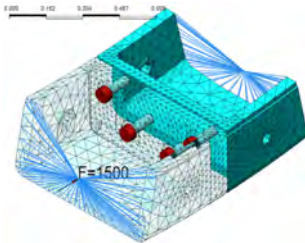


24. Scott, J. C. *Against the Grain. A Deep History of the Earliest States*. New Haven and London: Yale University Press, 2017, 312 p. DOI: 10.1111/padr.12152.
25. Ponting, C. *World History. A New Perspective*. London: Chatto & Windus, 2000, 944 p. ISBN-13 9780701168346.
26. Мачерет Д. А. Транспортный фактор в эпоху древних цивилизаций // *Мир транспорта*. – 2014. – № 2. – С. 230–239. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/72>. Доступ 03.03.2022.
27. McNeil, W. H. *The Rise of the West: A History of the Human Community*. Chicago: The University of Chicago Press, 1992, 860 p. ISBN-13 978-0226561417.
28. Мачерет Д. А. Транспортный фактор формирования эпохи современного экономического роста // *Экономическая политика*. – 2019. – Т. 14. – № 1. – С. 154–179. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnyy-faktor-formirovaniya-epochi-sovremennogo-ekonomicheskogo-rosta>. Доступ 03.03.2022.
29. Smil, V. *Energy and Civilization: A History*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2017, 564 p. DOI: 10.7551/mitpress/10752.001.0001.
30. Mortimer, I. *Centuries of Change: Which Century Saw the Most Change?* London: Bodley Head, 2014, 416 p. ISBN-13 9781847923035.
31. Загорский К. Я. *Экономика транспорта*. – М.: Л.: Госиздат, 1930. – 268 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/zagorskiy-k-ya-ekonomika-transporta_77670b556c4.html. Доступ 03.03.2022.
32. Давыдов М. А. Модернизация Витте–Столыпина и её специфика // *Вопросы теоретической экономики*. – 2017. – № 1. – С. 109–131. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32817318>. Доступ 03.03.2022.
33. Шенк Ф. Б. *Поезд в современность. Мобильность и социальное пространство России в век железных дорог: Пер. с нем.* – М.: Новое литературное обозрение, 2016. – 584 с. [Электронный ресурс]: <https://na5ballov.pro/lib/novaya/8683-shenk-fb-poezd-v-sovremennost-mobilnost-i-socialnoe-prostranstvo-rossii-v-vek-zheleznyh-dorog.html>. Доступ 03.03.2022.
34. Мачерет Д. А. *Экономические записки об отечественных железных дорогах // Отечественные записки*. – 2013. – № 3 (54). – С. 162–176. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21218771>. Доступ 03.03.2022.
35. Миронов Б. Н. *Российская империя: от традиции к модерну: в 3 т.* – Т. 1. – СПб.: Дмитрий Булавин, 2018. – 896 с. [Электронный ресурс]: http://www.bmironov.spb.ru/wp-content/uploads/2019/10/Mironov_Ros_imp_2_e_izd_t_1.pdf. Доступ 03.03.2022.
36. Мачерет Д. А. *Транспорт и модернизация: Теоретические аспекты взаимного влияния // Транспорт Российской Федерации*. – 2021. – № 3 (94). – С. 3–8. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46683400>. Доступ 03.03.2022.
37. Мартынов В. С. *Города и государства: в поисках новой стратегии взаимодействия // Общественные науки и современность*. – 2019. – № 3. – С. 170–184. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37711160>. Доступ 03.03.2022.
38. Разуваев А. Д. *Методология экономической оценки сооружения транспортной инфраструктуры в мегаполисах // Транспорт Российской Федерации*. – 2019. – № 4 (83). – С. 18–21. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39543740>. Доступ 03.03.2022.
39. Капелюшников Р. И. *Экономические очерки: Методология, институты, человеческий капитал*. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2016. – 574 с. [Электронный ресурс]: <https://institutiones.com/download/books/3972-ekonomicheskie-ocherki-kapelyushnikov.html>. Доступ 03.03.2022.
40. Marchetti, C. *Anthropological Invariants in Travel Behavior. Technological Forecasting and Social Change*, 1994, Vol. 47, № 1, p. 75–88. DOI: 10.1016/0040-1625(94)90041-8.
41. Ледней А. Ю. *Разработка методических подходов к оценке экономической эффективности развития транспортной инфраструктуры с учётом объёмов и неравномерности перевозок // Дис... канд. экон. наук.* – М.: РУТ (МИИТ), 2020. – 176 с. [Электронный ресурс]: https://rut-miit.ru/content/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9B%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B9_%D0%90%D0%AE.pdf?id_wm=864660. Доступ 03.03.2022.
42. Разуваев А. Д., Ледней А. Ю. *Экономическое значение скоростей транспортных сообщений для ценности инфраструктуры транспорта // Финансовые аспекты структурных преобразований экономики*. – 2021. – № 7. – С. 73–83. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47178604>. Доступ 03.03.2022.
43. Schwab, K. *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum, 2016, 172 p. [Электронный ресурс]: https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf. Доступ 03.03.2022.
44. Лапидус Б. М. *Влияние цифровизации и Индустрии 4.0 на развитие экосистемы железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт*. – 2018. – № 3. – С. 28–33. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32678032>. Доступ 03.03.2022.
45. Шарко Е. Р. *Удалённая работа: новый вызов мобильности населения (опыт мегаполиса и малых городов) // Вестник Академии*. – 2021. – № 2. – С. 74–83. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47265792>. Доступ 03.03.2022.
46. Старикова А. В., Демидова Е. Е. *Пространственная мобильность и цифровизация: роль новых ценностей в общественной жизни и влияние на миграции населения // Ежегодная богословская конференция Православного Свято-Тихоновского гуманитарного университета*. – 2019. – № 29. – С. 259–262. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41848748>. Доступ 03.03.2022.
47. Attali, J. *Une brève histoire de l'avenir*. Paris: Fayard, 2006, 427 p. ISBN-13 9782213631301.
48. Кудрявцева А. В. *Социально-экономические перспективы транспортных инноваций // Транспорт Российской Федерации*. – 2017. – № 2 (69). – С. 34–39. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-ekonomicheskie-perspektivy-transportnyh-innovatsiy>. Доступ 03.03.2022.
49. Кудрявцева А. В. *Методология оценки социально-экономической перспективности транспортных инноваций // Экономика железных дорог*. – 2017. – № 4. – С. 62–68. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29217965>. Доступ 03.03.2022.

Информация об авторе:

Мачерет Дмитрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, первый заместитель председателя Объединённого учёного совета ОАО «РЖД», профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, macheretda@rambler.ru.

Статья поступила в редакцию 29.12.2021, одобрена после рецензирования 02.03.2022, принята к публикации 14.03.2022.



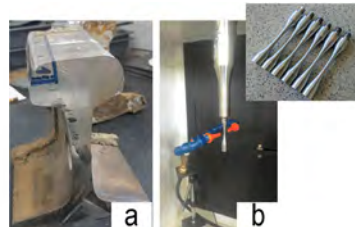
ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ

30

Жёсткость продольного фланцевого стыка сборных обделок тоннелей со связями растяжения. Новые подходы к определению величины и методов учёта этих жёсткостей. Аналитическое решение и экспериментальная проверка.



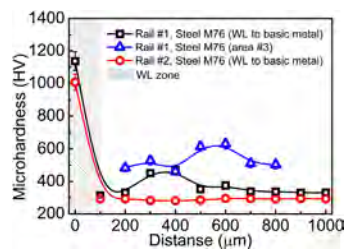
НАУКА И ТЕХНИКА



РЕЛЬСЫ

42

Изучение особенностей механизма формирования, а также свойств образующегося на поверхности металла белого слоя с использованием широкого спектра современных методов исследования. Предложена на рассмотрение вытекающая из результатов исследования версия механизма формирования белого слоя путём дробления феррита и цементита, входящих в состав перлита, без промежуточных фазовых превращений.





Жёсткость фланцевых стыков со связями растяжения сборных обделок тоннелей



Тимофей БАРАНОВ



Дамир ЗАЙНАГАБДИНОВ

Тимофей Михайлович Баранов¹,
Дамир Альфридович Зайнагабдинов²

^{1, 2} Иркутский государственный университет
путей сообщения, Иркутск, Россия.

✉ ¹ Baranov-87@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос об определении жёсткости продольного фланцевого стыка сборных обделок тоннелей со связями растяжения. Жёсткость фланцевых стыков влияет на корректность определения расчётных усилий в тоннельных обделках. В нормах проектирования тоннелей указывается необходимость учёта жёсткости сочленений сегментов сборных тоннельных обделок при расчёте усилий в несущих конструкциях, однако вопрос об определении величины и методах учёта этих жёсткостей остаётся открытым.

Целью данной работы является исследование расчётных предпосылок и раскрытие некоторых результатов определения жёсткостей обычных болтовых соединений сегментов сборных тоннельных обделок, а также влияние этих жёсткостей на усилия в обделках тоннелей. Вопрос актуален при выполнении поверочных расчётов существующих сооружений и при проектировании новых обделок с жёсткими болтовыми стыками и другими связями растяжения.

В статье приводится аналитическое решение задачи, основанное на совместности деформаций сборных элемен-

тов, получены зависимости угла взаимного поворота жёстких сегментов обделки тоннеля от изгибающих моментов, продольных сил и геометрических размеров элементов обделки. Корректность выводов проверена проведением серии численных экспериментов, в результате которых получены уточнённые кривые зависимостей тех же параметров, а также определена пространственная работа чугунных тьюбингов на контакте.

Путём решения контактно и физически нелинейной задачи работы фланцевого стыка чугунных тьюбингов со связями растяжения определён набор в начале линейных деформаций функций зависимости угла поворота сегментов от действующих в них усилий для конкретной конфигурации элементов. Раскрыта методика применения результатов исследования для моделирования обделок тоннелей в программе GTS NX в плоской постановке. Сравнительное моделирование однотипных тестовых задач работы тоннельных обделок кольцевого сечения показало, что в различных грунтовых условиях при введении параметров жёсткости стыков в обделках наблюдается увеличение изгибающих моментов до 8 % при практически неизменных продольных силах.

Ключевые слова: транспорт, тоннели, связи растяжения, жёсткость стыков, стыковые моменты, моделирование обделок, неупругое поведение.

Для цитирования: Баранов Т. М., Зайнагабдинов Д. А. Жёсткость фланцевых стыков со связями растяжения сборных обделок тоннелей // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 30–41. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-3>.

Полный текст статьи на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности моделирования работы чугунных обделок со связями растяжения между тубингами предусматривают учёт расположения и величины начальных зазоров в стыках и податливости стыков. Данное обстоятельство учтено в требованиях п. 5.6.5 СП 122.13330.2012¹, касающихся расчётов конструкций по первой группе предельных состояний. Значения податливости стыков обычно определяются так называемыми стыковыми моментами, при достижении которых жёсткость стыка переходит в пластическую стадию [1–3]. Однако в научной литературе, посвящённой проектированию и расчёту тоннелей [4; 5], ясно не указывается, какой должна быть жёсткость стандартного фланцевого болтового стыка до перехода стыка в пластический шарнир и какие зависимости существуют у этой жёсткости. В то же время в современных способах расчёта тоннелей имеется масса возможностей для уточнения характера работы чугунных тубинговых и других обделок тоннелей со связями растяжения во фланцевых стыках. Тема особенно актуальна при выполнении поверочных расчётов существующих тоннельных обделок.

Значительный объём исследований влияния жёсткости стыков численными методами проведён в зарубежных работах [6; 7], в которых приведены сравнительные расчёты усилий в сборных тоннельных обделках в зависимости от полученных коэффициентов жёсткости. В качестве коэффициентов жёсткости зарубежные авторы понимают отношение деформативных свойств сочленений

¹ СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автомобильные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97 (с Изменениями № 1, 2).

сегментов обделок с указанной жёсткостью к деформативным свойствам самих сегментов сборных обделок. В этих работах отмечается изменение усилий в сборных обделках, однако коэффициенты жёсткости рекомендуется принимать постоянными вне зависимости от усилий в элементах. Оценка жёсткости фланцевых стыков в зависимости от горного давления и сейсмического воздействия также исследована авторами [8; 9].

Целью данной работы является исследование расчётных предпосылок и раскрытие некоторых результатов определения жёсткостей обычных болтовых соединений сегментов сборных тоннельных обделок, а также влияние этих жёсткостей на усилия в обделках тоннелей. В статье использованы аналитические и экспериментальные методы, а также компьютерное моделирование.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Тюбинги, представляющие собой литые изделия из серого чугуна со «спинкой», четырьмя бортами и рёбрами жёсткости, в поперечном к оси тоннеля направлении соединяются между собой, как правило, четырьмя болтами из обычной стали диаметром 20–45 мм. Поперечное соединение двух тубингов представлено на рис. 1. В статье рассматривается узел фланцевого (поперечного) соединения, хотя в конструкции тубинговых обделок, кроме этого, предусматриваются ещё продольные соединения колец между собой – продольная перевязка. Продольная перевязка также может включаться в работу несущих конструкций, но при условии значительных деформаций обделок, превращающих несущие конструкции в трубу, лежащую на упругом основании [10; 11].

Статические расчёты обделок, заключающиеся в определении действующих в несущих

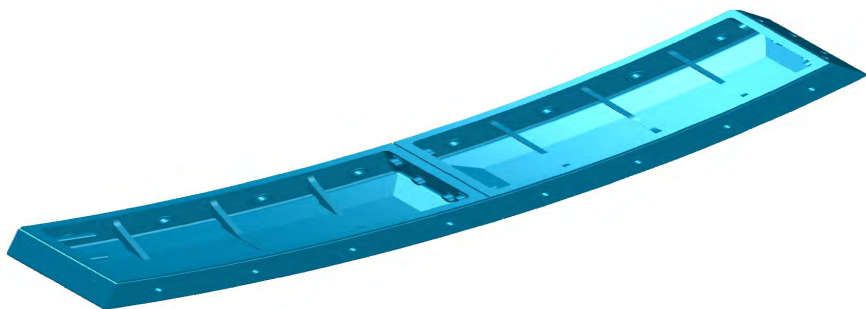


Рис. 1. 3D-модель поперечного стыка чугунных тубингов [выполнена авторами].



ших конструкциях обделок усилий, проводятся методами строительной механики и механики сплошных сред [12; 13]. Изложенные в литературе методы расчёта основаны на рассмотрении работы обделки как в упругой стадии, так и с учётом линейной жёсткости фланцевых стыков [14; 15]. В действительности соединение элементов не является ни абсолютно жёстким, ни линейно-упругим, особенно при отсутствии перевязки продольных стыков или малых продольных деформациях. В этом случае вследствие прогиба торцевых бортов и удлинения болтовых связей происходит раскрытие стыков между тубингами.

По первой группе предельных состояний предельные значения усилий N_b определяют по нормативному сопротивлению болтовой стали R_b , n с учётом коэффициента однородности k [16]:

$$N_b = A_b \cdot R_b \cdot n / k. \quad (1)$$

При раскрытии стыка с внутренней стороны у закругления торца тубинга образуется площадка смятия, через которую передаётся нормальная сила N и усилие в болтах N_b наиболее напряжённого внутреннего ряда. Высота площадки смятия:

$$x = \frac{N + N_b}{bR_p}, \quad (2)$$

где x – высота площадки смятия;

b – ширина элемента обделки;

R_p – расчётное сопротивление материала обделки.

Момент в пластическом шарнире:

$$M_{st}^+ = N \left(a_1 - \frac{x}{2} \right) + N_b \left(a_2 - \frac{x}{2} \right), \quad (3)$$

где $a_{1,2}$ – расстояние от точки взаимного поворота до ряда болтов, показанного на рис. 2.

Вследствие этого происходит перераспределение усилий в обделке с повышением её несущей способности. Предельное состояние по раскрытию стыков наступает значительно раньше, чем по прочности стыков.

Если момент в стыке $M \leq M_{st}^+ / b$, то расчёт производится в упругой стадии, а если $M > M_{st}^+ / b$ – возникает пластический шарнир.

Причём упругое поведение диктуется не жёсткостью тубинга на изгиб, а жёсткостью именно болтового соединения в стыке тубингов.

В случае действия отрицательных моментов площадка смятия образуется у чеканной канав-

ки, то есть на наиболее податливой торцевой поверхности тубинга. При определении высоты площадки смятия вводится не полная ширина, а сумма достаточно жёстких участков, через которые происходит передача усилия:

$$b_0 = 2 \cdot (b_k + \delta), \quad (4)$$

где b_k – толщина кольцевого ребра;

δ – толщина торцевого борта.

Усилие, приходящееся на один болт внутреннего ряда:

$$N_b^n = \frac{1}{m_1} \cdot \frac{M - N(a_n - r)}{(a_1 - r)^2 + (a_2 - r)^2} \cdot (a_1 - r), \quad (5)$$

где r – радиус закругления на грани элемента обделки.

Решение уравнений (1)–(5), основанных на анализе предельного состояния, приводятся в литературе по проектированию тоннелей [2; 16].

Для определения жёсткости болтового соединения рассмотрим деформационную схему стыка чугунного тубинга, представленную на рис. 2. Сумма моментов действующих в стыке сил при повороте вокруг точки O или вокруг точек, расположенных по радиусу кромки тубинга, позволяет составить уравнение равновесия сил:

$$M = N \cdot a_N + (N_1 \cdot a_1 + N_2 \cdot a_2). \quad (6)$$

При раскрытии стыка от действия сил каждый болт (пара болтов, расположенных в одном ряду) получит приращение длины δ , которое может быть связано с углом поворота α , выраженного в радианах, зависимостями:

$$\delta_{1,2} = \alpha \cdot a_{1,2}. \quad (7)$$

Закон Гука, определяющий классические зависимости относительных деформаций болтов ε с усилиями растяжения в них:

$$N_{1,2} = \varepsilon_{1,2} \cdot E_{bs} \cdot A_{b1,2} \quad (8)$$

где E_{bs} – модуль упругости болтовой стали;

$A_{b1,2}$ – суммарные площади болтов, расположенных в одном ряду.

Из определения относительной деформации и согласно рис. 2:

$$\varepsilon = \frac{\delta_{1,2}}{l_b}. \quad (9)$$

Подставляя (7)–(9) в (6) можно получить уравнение зависимости изгибающего момента в стыке и угла поворота стыка вокруг кромки тубинга:

$$M = N \cdot a_N + \frac{E_{bs}}{l_b} \alpha (A_{b1} \cdot a_1^2 + A_{b2} \cdot a_2^2). \quad (10)$$

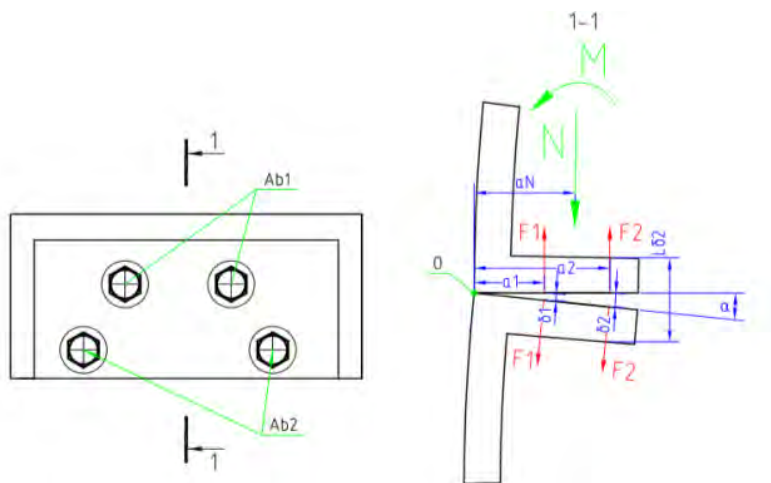


Рис. 2. Схема деформирования стыка [построена авторами].

Если площади всех четырёх болтов в стыке одинаковые и равны A_b , то уравнение (10) можно переписать в виде:

$$M = N \cdot a_N + k \cdot \alpha, \quad (11)$$

где $k = 4A_b \frac{E_{bs}}{l_b} (a_1^2 + a_2^2)$ – коэффициент линейной

жёсткости стыка.

Задавшись предельными значениями относительных деформаций, можно определить предельный угол поворота стыка. Моментом предельного состояния по углу поворота при образовании пластического шарнира будет момент, когда деформация в дальнем от точки поворота болте (ряда болтов) ε достигнет предельной ε_{lim} :

$$\alpha_{lim} = \varepsilon_{lim} \frac{l_{b2}}{a_2}, \quad (12)$$

а сам угол поворота будет линейно зависеть от действующих в стыке усилий и геометрии соединения, пока в одном из ряда болтов их материал не перейдёт в пластическую стадию:

$$\alpha = \frac{M - Na_N}{k}. \quad (13)$$

Линейная зависимость (11) сохраняется до тех пор, пока изгибающий момент не достигнет момента перехода в начальную пластическую стадию $M \rightarrow M'$, при этом угол поворота $\alpha \rightarrow \alpha'$. В уравнении (10) относительная деформация наиболее удалённого от точки поворота болта ε_1 переходит в пластическую зону текучести $\varepsilon \rightarrow \varepsilon_T$. При этом принято допущение, что материал болтов работает как упругопластический материал по типу билинейной диаграммы Прандтля. Момент перехода определится как:

$$M' = N \cdot a_N + \frac{E_{bs}}{a_2} \cdot \varepsilon_T (A_{b1} \cdot a_1^2 + A_{b2} \cdot a_2^2), \quad (14)$$

а угол при этом будет равен:

$$\alpha' = \frac{l_b}{a_2} \varepsilon_T. \quad (15)$$

При дальнейшем увеличении момента $M > M'$ напряжение в болтах дальнего ряда не меняется, а общая жёсткость болтового соединения падает:

$$M = N \cdot a_N + \alpha \cdot k' + m_{yield}, \quad (16)$$

где $k' = \frac{E_{bs}}{l_b} \cdot A_{b1} \cdot a_1^2$ – коэффициент неупругой

жёсткости стыка;

$$m_{yield} = \varepsilon_T \cdot E_{bs} \cdot A_{b2} \cdot a_2 - \text{остаточный момент.}$$

На рис. 3 приведён график, показывающий зависимость угла поворота стыка от величины изгибающего момента с учётом уравнений (10), (14) и (16). Если допустить разгрузку стыка с момента $M' > M \geq M_{st}$, то в стыке может наблюдаться остаточный угол поворота α_{res} , определяемый остаточным моментом и жёсткостью болтов первого ближайшего к точке поворота ряда:

$$\alpha_{res} = - \frac{m_{yield}}{\frac{E_{bs}}{l_b} \cdot A_{b1} \cdot a_1^2}. \quad (17)$$

Таким образом, для корректного моделирования жёсткости стыкового соединения со связями растяжения в сборных обделках тоннелей получены аналитические зависимости жёсткости стыков и величины действующих в стыке усилий. Общая жёсткость обделки формируется не столько изгибной жёсткостью чугунного тюбинга или железобетонного блока, сколько гораздо менее жёсткими



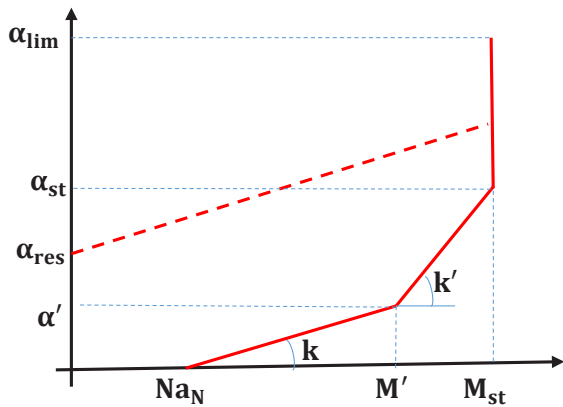


Рис. 3. График зависимости угла поворота стыка от момента [построен авторами].

Таблица 1
Материалы модели стыка [составлена авторами по данным СП.16.13330.2017*]

Элемент	Материал	Модель материала	Параметры модели
Тюбинги	Серый чугун СЧ-20-40	Мизеса	$E = 100 \text{ ГПа}$ $\nu = 0,1$ $\sigma_{\text{yield}} = 200 \text{ МПа}$
Болты	Ст3	Мизеса	$E = 206 \text{ ГПа}$ $\nu = 0,2$ $\sigma_{\text{yield}} = 245 \text{ МПа}$ $A_b = 13,85 \text{ см}^2$

* СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с изменениями № 1, 2, 3).

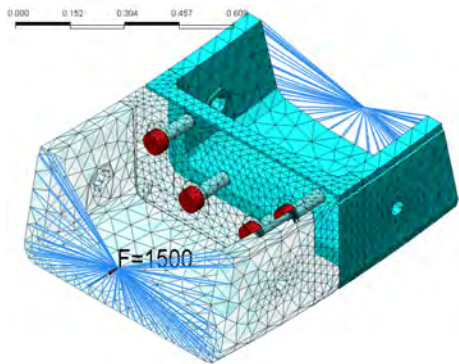


Рис. 4. Общий вид модели стыка тюбингов [модель реализована авторами].

стыками, по сравнению с которыми изгибом элемента обделки можно пренебречь.

Данные зависимости в виде функций $\alpha(N, M)$ можно использовать в расчётных программах конечно-элементного анализа напрямую либо с учётом уточнённой методики. Рассмотрим пример данной задачи, решённой методом конечных элементов с учётом физической нелинейности материалов и контактной нелинейности.

В программе midas FEA смоделирован стык двух чугунных тюбингов с болтовым

соединением, показанный на рис. 4. В табл. 1 приведены характеристики материалов в модели. Контактная задача сформирована стандартным методом *surface-to-surface contact* с коэффициентом статического трения, равным 0,4.

Нагрузки модели приняты положительными и отрицательными постепенно возрастающими моментами с различными продольными сжимающими силами от 0 до 3000 кН с шагом 500 кН. Силы приложены к торцам расчётной области модели равномерно по всей площади поверхности посредством соединения узлов жёсткой вставкой.

Результаты моделирования показывают зависимости угла поворота двух тюбингов относительно друг друга, напряжений в болтах, изменение площадки контакта тюбингов от действующих на тюбинг моментов.

При действии положительных моментов, раскрывающих зазор между тюбингами внутри тоннеля, пластический шарнир образуется при достижении расчётного сопротивления болтов в обоих рядах. На рис. 5а показано изменение напряжений в болтах каждого ряда и рост угла взаимного поворота

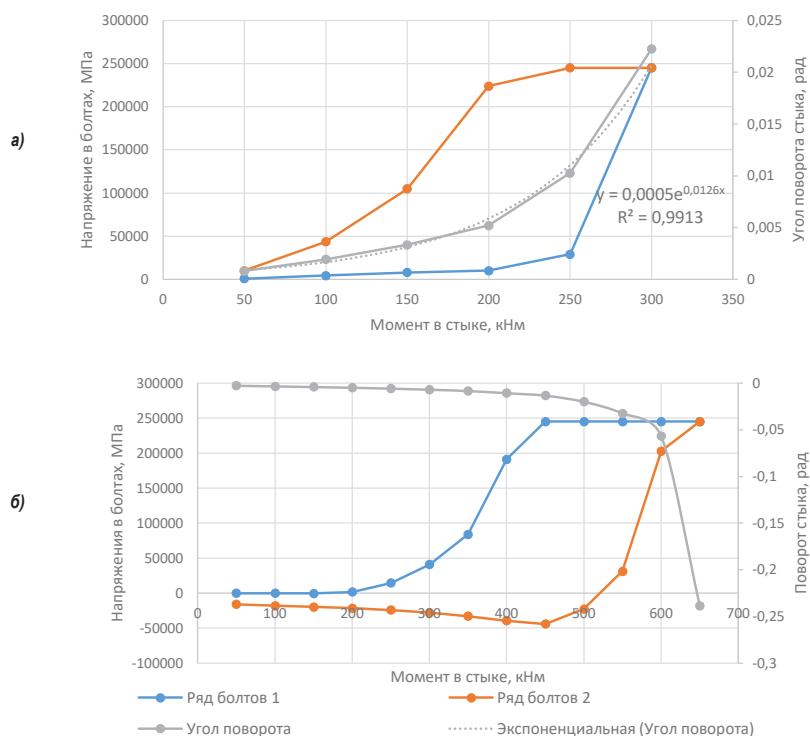


Рис. 5. Деформируемость стыка (а – при отсутствии продольного усилия; б – при наличии сжимающего продольного усилия) [диаграммы построены авторами].

тубингов. В качестве примера приведены графики при нулевом продольном усилии. По достижении момента 200 кНм стык деформируется линейно, затем сначала в дальнем ряду, а затем в ближнем к точке поворота ряду материал болтов переходит в пластическую стадию, и рост угла поворота увеличивается согласно выраженному экспоненциальному закону.

При наличии продольных сил значение стыкового момента M_{st} увеличивается, а распределение напряжений в болтах меняется. На рис. 5б показаны графики угла поворота и напряжений в болтах при действии отрицательных моментов, раскрывающих стык со стороны горной породы. Значительная часть графика до момента, когда в дальнем ряду болтов начинается происходить пластическая деформация, также линейная.

Численное моделирование стыков даёт схожий результат с аналитическими решениями, представленными на рис. 3. Наблюдаются некоторые отличия в «пологости» поведения, которое обусловлено допущением о единой и жёстко определённой точке взаимного поворота тубингов. Численное решение показывает, что при наличии продольной сжимающей силы пятно контакта тубингов

распределяется неравномерно. Пространственная жёсткость такова, что участок между продольными рёбрами тубингов при осевом сжатии не соприкасается, а контакт тяготеет к рёбрам и спинке элементов, как показано на рис. 6. При росте изгибающих моментов пятно контакта мигрирует к спинке в сторону точки O на схеме рис. 2, а передаваемая через контакт сила растёт. Аналогичная картина наблюдается при приложении отрицательных моментов, где пятно контакта расположено по продольным рёбрам тубингов.

Зависимость жёсткости стыка от продольной силы и момента по результатам численного эксперимента представлена на рис. 7. В пределах линейных деформаций болтов отличия в жёсткости незначительные, то есть жёсткость стыков практически не зависит от величины продольного усилия. Продольные силы влияют на величину стыковых моментов, а также на жёсткость стыков при значительных изгибающих моментах, приближающихся к стыковым.

Рассмотрим линейные части жёсткостей, так как основные усилия в обделках тоннелей приходятся на упругие деформации конструкций. В диапазоне моментов 200–400 кНм представляется возможным определить ли-



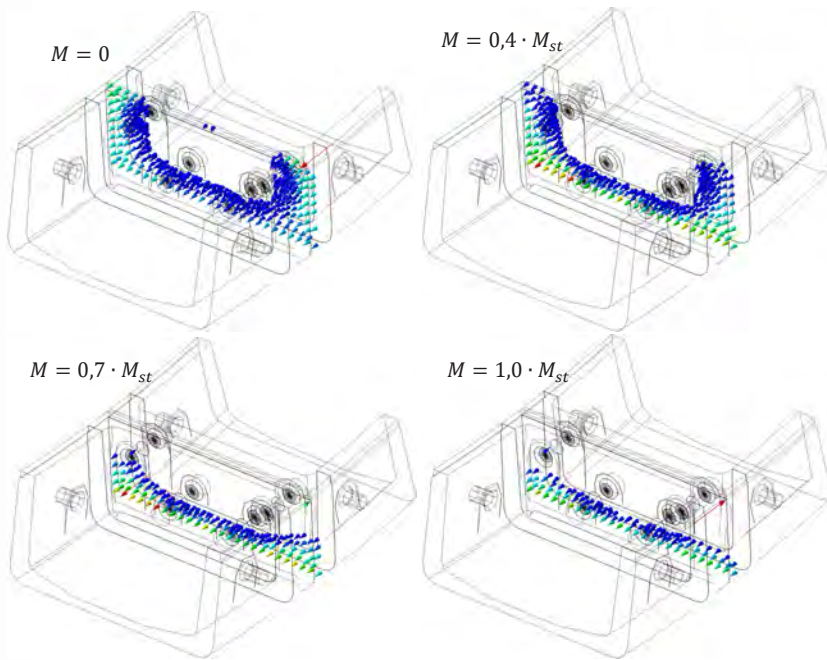


Рис. 6. Миграция пятна контакта в стыке при росте момента [модель разработана авторами].

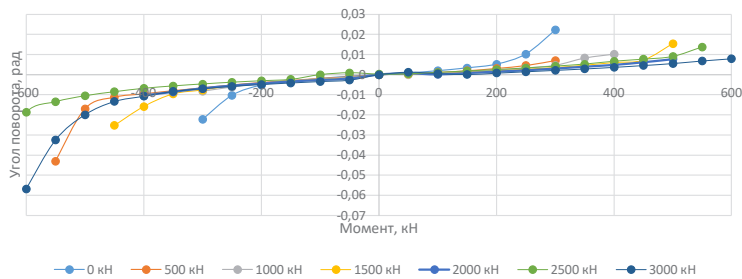


Рис. 7. Жёсткость стыка при различных продольных силах [графики построены авторами].

нейные функции углов поворота $\alpha(N, M)$, как:

$$\alpha(N) = a \cdot M + b, \quad (18)$$
где a и b – коэффициенты аппроксимации, приведённые в табл. 2.

Параметр a , который имеет физический смысл линейной жёсткости из уравнения (11), от роста силы меняется в пределах -25 % ... +6 %. При расчётах обделок тоннелей совсем отсутствующие продольные силы встречаются достаточно редко, поэтому начиная с силы в 500 кН диапазон вариации составляет -10 % ... +6 %, что находится в пределах инженерной погрешности расчётов несущих конструкций тоннелей.

Из данного исследования можно сделать следующие выводы:

1) жёсткость болтовых продольных стыков со связями растяжения незначительно зависит от величины продольной силы в стыке;

2) в определённых пределах жёсткость не меняется, а угол поворота элементов обделки друг относительно друга изменяется линейно в зависимости от величины момента в районе стыка;

3) при появлении пластических деформаций в болтах жёсткость стыка падает, причём продолжает уменьшаться при возрастании момента;

4) величина стыкового момента определяется появлением в болтах пластических деформаций, а предельная величина угла поворота элементов обделки определяется предельной деформацией наиболее удалённого от места поворота болтов соединения.

Проведём тестовые расчёты тоннельной обделки, состоящей из чугунных тюбингов, с применением полученных зависимостей. Целью расчётов является определение изме-

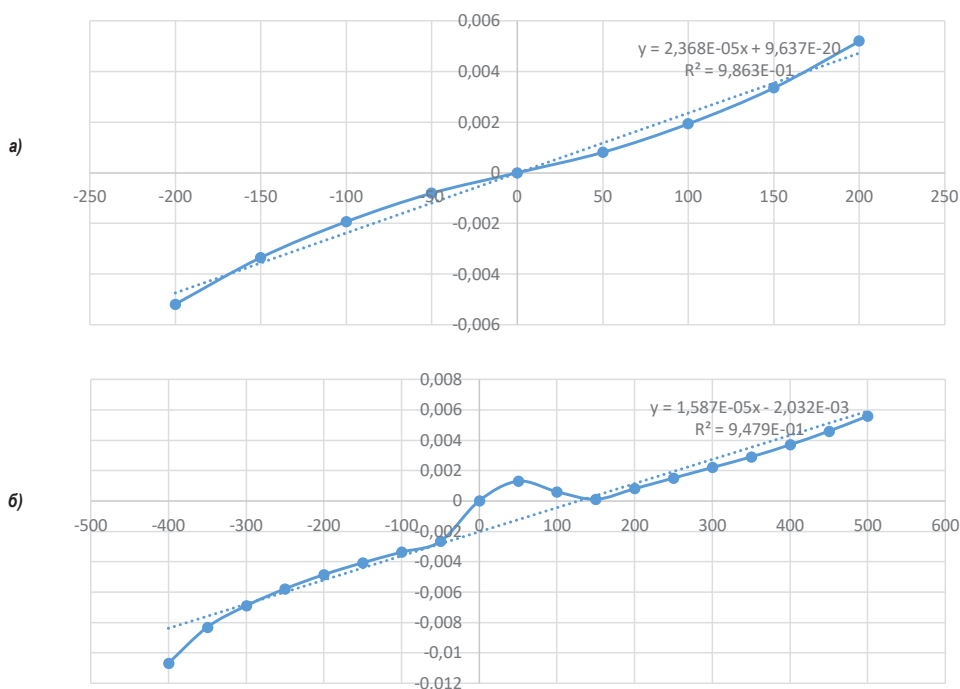


Рис. 8. Линейные аппроксимации жёсткости (а – при отсутствии продольной силы; б – при сжимающей силе в 3000 кН)
[графики построены авторами].

Таблица 2

Параметры линейной аппроксимации жёсткости по формуле (17)
[таблица составлена авторами]

Продольная сжимающая сила N	$a \cdot 10^{-5}$	$b \cdot 10^{-4}$	Коэффициент детерминации R^2
0	2,368	0	0,986
500	1,781	3,291	0,99
1000	1,892	10	0,963
1500	1,804	4,832	0,965
2000	1,629	14,55	0,968
2500	1,654	18	0,963
3000	1,587	20,32	0,948

нения внутренних усилий в обделках без учёта жёсткости стыков элементов обделки и с учётом этих жёсткостей. Расчёт выполняется в плоской постановке в программе конечно-элементного моделирования геотехнических сооружений GTS NX. Обделка выполнена из чугунных тубингов внутренним диаметром 7,78 м, расположение стыков тубингов показано на рис. 9.

Грунты, окружающие обделку, смоделированы с использованием упругопластической модели с изотропным упрочнением Hardening Soil (HS), реализованной в про-

грамме GTS NX. Модель точно описывает поведение грунта при экскавации грунта, при устройстве подпорных стен и проходке тоннелей, сопровождающейся уменьшением среднего эффективного напряжения и одновременно мобилизацией сопротивления пород сдвигу [17; 18].

В качестве примера для тестовой задачи примем физико-механические свойства грунтов трёх типов, приведённые в табл. 3. Расчётная область модели имеет размеры 100 x 100 м. В центре находится подкрепляющее грунтовый массив кольцо, обладающее жёст-



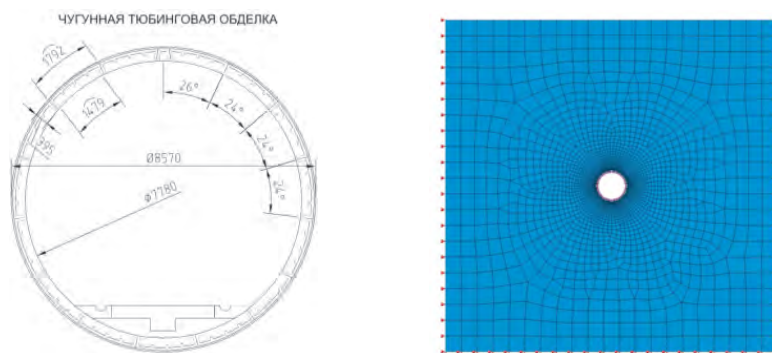


Рис. 9. Конструкция обделки железнодорожного тоннеля и КЭ-модель [схема и изображение подготовлены авторами].

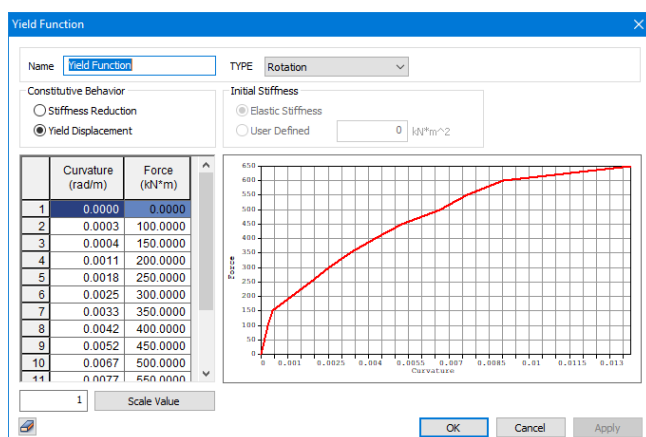


Рис. 10. Свойства неупругого шарнира [скриншот окна программы GTS NX при работе на основе модели авторов].

костью кольца из чугунных тюбингов шириной 0,75 м. Расчёт выполняется в две стадии:

1) начальная стадия для определения бытового давления и исходных перемещений грунтового массива;

2) вторая стадия, на которой происходит экскавация грунта и моментальное подкрепление отверстия обделкой. Интерфейсные элементы контакта грунт-обделка не применялись.

Вид конечно-элементной модели представлен на рис. 9. Внедрение жёсткости стыков осуществляется путём назначения шарнира на узел конечного элемента обделки, обладающего свойствами деформируемости, как показано на рис. 7 или по линейному уравнению (18). Жёсткость стыка моделируется свойством Beam-Lumped («Балка-сосредоточенный шарнир»). Неупругое поведение описывается скелетными кривыми, которые являются эмпирическими гистерезисными моделями. Продольная жёсткость представлена пружиной в центре элемента, а изгибные

жёсткости представлены пружинами на концах элементов и описаны зависимостями усилий от перемещений.

В расчётах возможно применение следующих типов зависимостей или типов гистерезисных моделей:

– Origin-oriented (исходно-ориентированная): точки реакции при начальном нагружении и при разгрузке движутся вдоль трёхлинейной скелетной кривой. Данная модель используется в тестовых расчётах.

– Возможно при дальнейших исследованиях применение иных моделей: Resk-oriented, Kinematic, Takeda и иных.

Согласно руководству по работе с программой^{2, 3}, свойства неупругого поведения задаются в функции *Yield Function* в виде

² Benchmarks & Verifications Manuals. Chapter 3. Material Nonlinearity / MIDAS IT Co., Ltd. [Электронный ресурс]: <https://globalsupport.midasuser.com/helpdesk/File/Get/3848666>. Доступ 28.02.2022.

³ GTS NX On-line Manual. Справка при работе с программой.

Таблица 3

Физико-механические характеристики грунтов при использовании модели HS
[таблица составлена авторами по данным работы [18]]

Вид грунтов	Объёмный вес грунта	Секунций модуль упругости при 50%-ном значении ($\sigma_1 - \sigma_3$) из трёхосных испытаний	Тангенциальный модуль упругости из компрессионных испытаний	Модуль упругости при разгрузке – повторном нагружении из компрессионных испытаний	Коэффициент Пуассона при разгрузке – повторном нагружении	Параметр нелинейности компрессионной кривой	Коэффициент бокового давления грунта	Эффективное сцепление из трёхосных испытаний	Эффективный угол внутреннего трения из трёхосных испытаний
Обозначения	γ	E_{50}^{ref}	E_{oed}^{ref}	E_{ur}^{ref}	ν_{ur}	m	K_0	c'	φ'
Ед. изм.	кН/м ³	МПа			–	–	–	кПа	град.
Условия № 1. Супеси пылеватые	21,4	12	10,5	36	0,35	0,5	0,642	20	21
Условия № 2. Песок	15,2	26	19	110	0,3	0,8	0,426	1,0	35
Условия № 3. Плотные глины	22,5	305	191	610	0,2	0,65	0,609	125	23

положительной ветви зависимостей угла поворота *Curvature* (rad/m) от момента *Force* (кН•м) (рис. 10). Поведение при отрицательном моменте вычисляется автоматически. В процессе тестирования работы функции в версии GTS NX 2019 v1.2 на простых моделях выяснено, что при назначении свойств неупругого шарнира в плоской задаче желательно в поле компонентов *Hinge location* указывать направление степени свободы шарнира R_z и компоненты I&J.

Результаты сравнительного моделирования представлены в виде перемещений обделки тоннеля, продольных сил и изгибаю-

щих моментов в ней, как показано на рис. 11 для грунтовых условий № 1 (супеси пылеватые). В моделях с учётом жёсткости стыков введены свойства неупругого поведения в местах расположения стыков тюбингов, модели без учёта жёсткости полностью идентичны первым без введения неупругого поведения стыков.

Сравнительное моделирование показало, что при различных грунтовых условиях учёт жёсткости стыков слабо влияет на общие перемещения обделок и продольные силы в них. Основное влияние наблюдается в величине изгибающих моментов, где наличие

Таблица 4

Результаты сравнительных тестовых расчётов [таблица составлена авторами]

Результаты		Перемещения, мм		Продольные силы, кН		Моменты, кНм	
Грунтовые условия	Жёсткость стыков	В своде	В стенке	В своде	В стенке	В своде	В стенке
Усл. № 1	Учёт	77,27	51,05	-2216,4	-3279,6	-507,2	+460,1
	Без учёта	76,98	51,09	-2217,0	-3279,8	-496,1	+447,4
	Разница	0,4 %	-0,1 %	0,0 %	0,0 %	2,2 %	2,8 %
Усл. № 2	Учёт	16,07	10,8	-1208,6	-2142,2	-155,2	+142,3
	Без учёта	16,29	10,85	-1211,5	-2139,8	-144,9	+132,4
	Разница	-1,4 %	-0,5 %	-0,2 %	0,1 %	6,6 %	7,0 %
Усл. № 3	Учёт	33,40	24,47	-1670,0	-3092,1	-106,9	+105,1
	Без учёта	33,45	24,48	-1670,1	-3091,1	-98,3	+96,3
	Разница	-0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	8,0 %	8,4 %

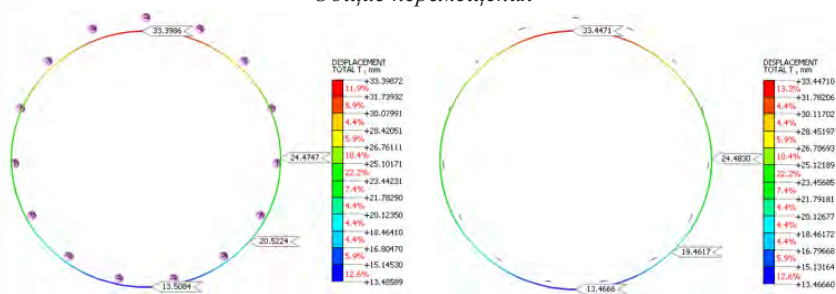




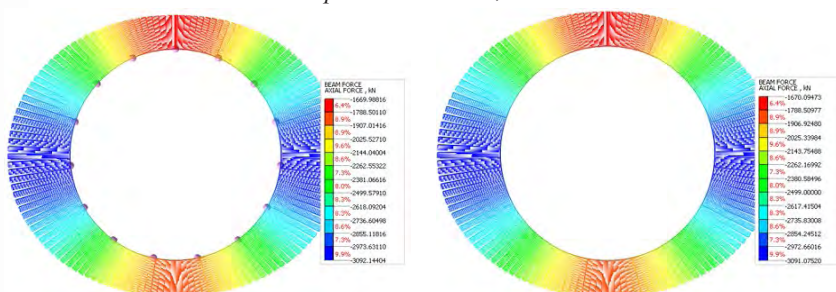
При учёте жёсткости стыков

При отсутствии учёта жёсткости
стыков

Общие перемещения



Продольные силы, кН



Моменты, кНм

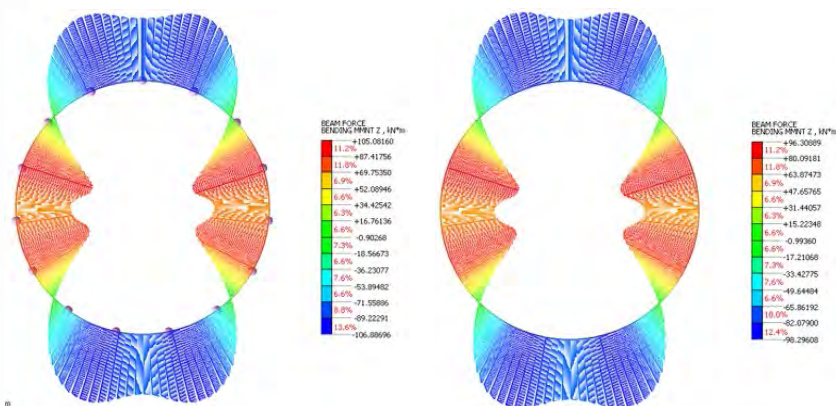


Рис. 11. Результаты сравнительных расчётов при грунтовых условиях № 1 [результаты моделирования авторами].

неупругих элементов с поведением стыка со связями растяжения увеличивает изгибающие моменты на 2,2–8,4 %. Более выраженное влияние наблюдается при меньшей величине моментов в плотных глинах.

ВЫВОДЫ

Современные способы расчётов сборных тоннельных обделок, конструктивно имеющих связи растяжения в стыках, позволяют учитывать изгибную жёсткость поперечных стыков при определении усилий. Аналитически выведены уравнения жёсткости данного

соединения в зависимости от величины изгибающего момента, продольной силы, расположения и марки стали болтов и геометрии стыка. Полученная трёхлинейная функция описывает зависимость угла взаимного поворота элементов обделки от величины действующих усилий и показывает три основных этапа снижения жёсткости. Первый этап заключается в линейном поведении всех элементов и начальной жёсткости стыка. Второй этап наступает при достижении предела текучести материала дальнего от центра поворота ряда болтов, характеризуется снижением

жёсткости и остаточным углом поворота при разгрузке. Третий этап – возникновение пластического шарнира.

Данные рассуждения были проверены при моделировании стыка двух чугунных тюбингов. Характер полученных зависимостей совпадает с аналитическим решением. Дополнительно получены линейные уравнения жёсткости на начальных стадиях нагружения стыков, где показано, что влияние продольной силы на жёсткость достаточно слабое ввиду пространственного пятна контакта тюбингов. Графики неупругого поведения по результатам конечно-элементного моделирования введены в виде функций для тестовых расчётов обделок тоннелей.

Сравнительные расчёты обделок с учётом и без учёта жёсткости стыков при прочих равных условиях показали, что наличие учёта жёсткости стыков ведёт к повышению изгибающих моментов в обделках до 8,4 % при определенных грунтовых условиях. В то же время разные грунтовые условия сказываются на усилиях по-разному, в более плотных грунтах влияние наличия стыков при расчётах увеличивается.

Таким образом, предложенный подход позволяет получать более точную картину оценки напряжённо-деформированного состояния сборных тоннельных обделок со связями растяжения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений: Учебник для вузов. – Изд. 2. – М.: Недра, 1994. – 384 с.
2. Храпов В. Г., Демешко Е. А., Наумов С. Н. и др. Тоннели и метрополитены / Под ред. В. Г. Храпова. – М.: Транспорт, 1989. – 383 с.
3. Guan, Zhenchang; Deng, Tao; Wang, Gang; Jiang, Yujing. Studies on the key parameters in segmental lining design. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2015, Vol. 7, pp. 674–683. DOI: 10.1016/J.JRMGE.2015.08.008.
4. Маковский Л. В., Поляков Д. В. Моделирование статической работы круговых тоннельных обделок с податливыми стыками во взаимодействии с грунтовым массивом // *Транспортное строительство*. – 2015. – № 11. – С. 25–27. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25048451>. Доступ 21.03.2022.

5. Шейн Аунг Тун. Моделирование тоннельных обделок // *Мир транспорта*. – 2012. – № 4. – С. 60–65. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/703>. Доступ 21.03.2022.

6. Ranjbar, G., Shahriar, K., Ahangari, K. Effect of segmental joint stiffness on tunnel lining internal forces under static conditions. *Journal of Mining and Environment*, 2019, Vol. 10, No. 4, pp. 1031–1043. DOI: 10.22044/JME.2019.8581.1738.

7. Ranjbar, G., Shahriar, K., Ahangari K. Effect of Segmental Joint on Internal Forces in Tunnel Lining under Seismic Loading by Numerical Method. *Journal of Mining and Environment*, 2020, Vol. 11, No. 3, pp. 737–751. DOI: 10.22044/JME.2020.8979.1785.

8. Mitkees, H. A., Sorour, T. M., Abdel-Motaal, M. A. Seismic Response of Segmented Tunnel Liner. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2020, Vol. 11, Iss. 7, pp. 1237–1245. [Электронный ресурс]: <https://www.ijser.org/researchpaper/Seismic-Response-of-Segmented-Tunnel-Liner.pdf>. Доступ 21.03.2022.

9. Hefny, A., Chua, H. An investigation into the behaviour of jointed tunnel lining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2006, Vol. 21, Iss. 3–4, pp. 428–434. DOI: 10.1016/J.TUST.2005.12.070.

10. Чеботаев В. В., Кубышкин А. А. Расчётное моделирование статической работы сборных железобетонных обделок с перевязкой швов // *Исследования конструкций и материалов для метро- и тоннелестроения: Сб. научных тр.* – М.: ЦНИИС, 2002. – Вып. 207. – С. 15–27.

11. Зайнагабдинов Д. А., Май Дык Минь. Модели для расчёта тоннелей, пересекающих активные разломы // *Наукоедение: интернет-журнал*, 2013. – № 3. [Электронный ресурс]: <http://naukovedenie.ru/PDF/25tvn313.pdf>. Доступ 21.03.2022.

12. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. / Под ред. Б. Е. Победри. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

13. Сонин А. Н. Исследование статической работы обделок коллекторных тоннелей // *Сб. науч. тр. Исследования тоннельных конструкций и способов их сооружения*. – Вып. 560. – М.: МИИТ, 1977. – С. 43–46.

14. Орлов С. А. Методы статического расчёта сборных железобетонных обделок тоннелей. – М.: Госстройиздат, 1961. – 136 с.

15. Podjadtke, R., Weidig, G. Adjustable flexible segment lining. *Tunnel*, 2010, No. 7, pp. 37–42.

16. Волков В. П., Наумов С. Н., Пирожкова А. Н., Храпов В. Г. Тоннели и метрополитены. – Изд. 2, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1975. – 552 с.

17. Schanz, T., Vermeer, P. A., Bonnier, P. G. The Hardening-Soil Model: Formulation and verification. In: *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Ed. by Ronald B. J. Brinkgreve. Routledge, 1999, 328 p., pp. 281–290. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315138206>. eBook ISBN 9781315138206. ISBN 9789058090409.

18. Строкова Л. А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов // *Известия Томского политехнического университета*. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 69–74. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11643120>. Доступ 21.03.2022. ●

Информация об авторах:

Баранов Тимофей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства железных дорог, мостов и транспортных тоннелей Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск, Россия, Baranov-87@yandex.ru.

Зайнагабдинов Дамир Альфридович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства железных дорог, мостов и транспортных тоннелей Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск, Россия, damirmt@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 28.02.2022, одобрена после рецензирования 18.04.2022, принята к публикации 25.04.2022.



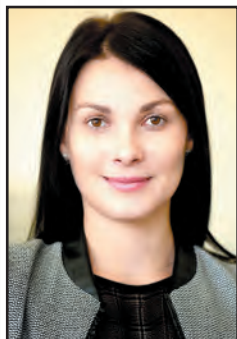


НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.143.629.4.015:672

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-4>

Механизм образования и исследование свойств белого слоя в высокоуглеродистой рельсовой стали М76



Екатерина ГРИДАСОВА



Зульфия ФАЗИЛОВА



Павел НИКИФОРОВ



Денис КОСЬЯНОВ

Екатерина Александровна Гридасова ¹, Зульфия Тельмановна Фазилова ²,
Павел Александрович Никифоров ³, Денис Юрьевич Косьянов ⁴

^{1,3,4} Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), Владивосток, Россия.

² Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ² fazil_1905@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Высокочастотные вибрации, возникающие в результате многих факторов при действующих нагрузках в системе «колесо–рельс», оказывают огромное влияние на структуру и свойства рельсовой стали – возникают значительные контактные напряжения в поверхностном слое, влияющие на прочностные характеристики и общую усталость конструкции железнодорожного пути. Результатом такого воздействия, в частности, является образование так называемого «белого слоя» (White Layer, WL) – упрочнённого слоя на поверхности основного материала, устойчивого к химическому травлению и имеющего высокую твёрдость (выше 1000 HV) и хрупкость.

Целью настоящего исследования явилось изучение особенностей механизма формирования, а также свойства образующегося на поверхности металла белого слоя с применением комплексного подхода, а именно: разрушающих методов контроля, методов электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, металлографических методов и методов микротвёрдости.

Достоверность экспериментальных исследований обусловлена использованием стандартизированных методов испытаний, разработанными методами разрушающих и неразрушающих испытаний по основным направлениям, наличием аккредитованной и аттестованной лаборатории, что дало возможность в полном объёме и соответствующем качестве достичь поставленных задач.

По результатам исследований представлен анализ белого слоя, формирование которого имело место в высокоуглеродистой рельсовой стали М76 после циклических испытаний с частотой 20 кГц. Детально изучена морфология, фазовый состав и микротвёрдость данных включений в сравнении с базовым металлом. Показано, что белый слой представляет собой высокодисперсные, перлитоподобные, безликие включения феррито-цементитной структуры, причём их микротвёрдость в 3–4 раза выше исходной стали и составляет 1000–1200 HV. Предложен возможный механизм формирования белого слоя: дробление феррита и цементита, входящих в состав перлита, без промежуточных фазовых превращений.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, высокоуглеродистая сталь, высокочастотная вибрация, циклические испытания, белый слой, микроструктура, микротвёрдость, дифрактограмма, перлитоподобная структура, рельсы.

Для цитирования: Гридасова Е. А., Фазилова З. Т., Никифоров П. А., Косьянов Д. Ю. Механизм образования и исследование свойств белого слоя в высокоуглеродистой рельсовой стали М76 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-4>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

В сегодняшнем мире железные дороги стали одной из наиболее развитых и быстро развивающихся отраслей транспорта. Причинами являются: относительно низкое загрязнение воздуха в расчёте на одного пассажира по сравнению с автомобилями и высокие скорости, достигаемые самыми современными поездами. Скорости движения железнодорожного транспорта непрерывно увеличиваются. Если сравнительно недавно 300–350 км/ч считались высокой скоростью, то сейчас высокоскоростные поезда развивают за рубежом скорость до 600 км/ч, а на российских железных дорогах – уровня 400 км/ч. К сожалению, увеличение скорости современных поездов влечёт за собой увеличение уровня связанных шумов и вибраций, которые являются значительными даже для обычных железных дорог [1–6] и достигают уровня ультразвука [7]. Основным источником высокочастотных вибраций вагонов являются удары колёс на стыках и неровностях рельсов (таких как шероховатость, волнистость и т.д.), которые, в свою очередь, имеют разную природу возникновения. При этом уровни и частотный спектр вибраций могут достигать ультразвуковых частот и лежат в диапазоне 10–50 кГц.

Природа влияния высокочастотных вибраций на структуру и свойства рельсовой стали является актуальной темой изучения для многих научных коллективов мира [8–12]. Было выявлено, что сам процесс разрушения и механические характеристики объектов, подверженных высокочастотным вибрациям, отличаются от стандартных условий.

Согласно [13], аварийные сходы с рельсов высокоскоростных поездов в Германии и Англии были связаны с накоплением в колесе 10^9 циклов нагружения из-за неровной поверхности рельса (наличия шероховатости). Проведённые предварительные исследования показали, что высокочастотные вибрации при действующих нагрузках в системе «колесо–рельс» оказывают огромное влияние на структуру и свойства рельсовой стали – возникают значительные контактные напряжения в поверхностном слое, влияющие на прочностные характеристики и общую усталость конструкций. Результатом такого воздействия, в частности, является образование так называемого белого слоя (White Layer, WL) – упрочнённого слоя на поверхности

основного материала, устойчивого к химическому травлению и имеющего высокую твёрдость (выше 1000 HV) и хрупкость [14–19].

Белый слой рассматривается как нанокристаллический мартенсит [14]. Спорными являются вопросы о том, образуется ли этот мартенсит в результате превращения сильно деформированного, но всё ещё имеющего кристаллическую структуру аустенита, или он – результат кристаллизации полностью выжженного в структурном отношении (аморфного) материала. В работах [15–17] утверждается, что образованию WL предшествуют механическая обработка, термообработка и другие операции, выполняемые во время изготовления деталей из углеродистых, легированных закаливаемых сталей, высокопрочных чугунов и других сплавов. Его структура состоит из тонкоиглочатого мартенсита, остаточного аустенита и содержит иногда небольшие количества мелкодисперсных карбидов, а износостойкость белого слоя возрастает с увеличением содержания углерода в нём.

По мнению авторов [18–19], наиболее часто источником формирования WL является механическая обработка. Когда температура вблизи обрабатываемой поверхности превышает температуру α – γ перехода, мартенсит, полученный в процессе трения, может формировать WL, наблюдаемый в микроструктуре. В работе [18] приведены значения твёрдости WL, которые составляют $12,85 \pm 0,80$ ГПа, что значительно больше, чем у неотпущенного мартенсита, полученного в результате различных режимов термообработки. Показано, что размер зерна в WL находится в субмикронном диапазоне с типичными значениями от 30 до 500 нм. Эти две характеристики WL отличают его от различных структур, формируемых в сталях термической обработкой.

Авторами работы [20] WL был обнаружен на поверхности железнодорожных рельсов. Объектом исследования являлись образцы рельсов высокоскоростной железной дороги, изготовленные из сталей S54 (0,6–0,8 % C, 0,8–1,3 % Mn) и UIC60 (0,55–0,75 % C, 1,3–1,7 % Mn) методом горячей прокатки с последующим охлаждением на воздухе. Нагрузка на первый рельс за время его эксплуатации составила $3,8 \cdot 10^6$ тонн, на второй $360 \cdot 10^6$ тонн. Выявлено, что повышение твёрдости в поверхностном слое до 10–12 ГПа обусловлено



наличием ультрамелкозернистой структуры, а также действием твёрдорастворного и дисперсного механизмов упрочнения. В обоих случаях формируется слоистая структура – WL с ультрамелкозернистой структурой феррита со средним размером зёрен 200 нм и цементита с высоко- и малоугловыми разориентировками, а также присутствует деформированный перлит. В WL происходит изменение морфологии цементита – пластины карбида дробятся на мелкие частицы и имеет место частичное растворение Fe_3C .

В работе [21] объектом исследования была выбрана высокоуглеродистая сталь промышленного назначения (1,0 % C). WL образовался в результате проведения испытаний на удар стальными падающими шариками за счёт сильной пластической деформации и рассеивания большого количества тепловой энергии во время удара. То есть, сильная пластическая деформация вызвала значительное повышение температуры, что привело к фазовому превращению остаточного аустенита в мартенсит, с одной стороны, и образованию новых зёрен аустенита при нагреве мартенситной структуры в поле аустенитной фазы, с другой. В микроструктуре хорошо различима структура высокодисперсного мартенсита с признаками интенсивной деформации на микроуровне. Внутри WL были отмечены наноразмерные равноосные зёрна. На деформированных участках наблюдается переход от пластически деформированных зёрен к рекристаллизованной структуре, характеризующейся округлыми высокодисперсными зёрнами.

Целью настоящего исследования является изучение особенностей механизма(ов) формирования и свойства белого слоя рельсовой стали в результате высокочастотных вибраций.

МЕТОДЫ

Исследование осуществлялось на основе комплексного подхода, а именно: разрушающих методов контроля, методов электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, металлографических методов и методов микротвёрдости.

В частности, для достижения поставленной цели исследования использовались:

- метод ускоренных высокочастотных испытаний, который, с одной стороны, имитирует реальные условия эксплуатации:

имитацию высокочастотных вибраций, возникающих в системе колесо–рельс при движении железнодорожного состава, и, с другой стороны, даёт возможность в десять раз быстрее стандартных методов получить характеристики долговечности исследуемых материалов. Оригинальность предлагаемого метода заключается в том, что нет общепринятого метода высокочастотных испытаний, что делает его уникальным;

- метод комплексного структурного анализа основан на электронной микроскопии, фазовом анализе, металлографических и механических исследованиях, которые позволяют в полной мере оценить структурное состояние материала, идентифицировать места возможного разрушения, выявить очаги разрушения и его причины. Оригинальность предлагаемого метода заключается в комплексной оценке структуры и выявлении факторов, предшествующих разрушению, что даёт возможность проводить исследования на разных стадиях эксплуатации элементов верхнего строения пути.

Данные исследования проводятся на базе испытательной лаборатории, аккредитованной и аттестованной в системах Ростехнадзора, Росаккредитации и Российского морского регистра судоходства, что обеспечивает качество выполняемых работ.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

В качестве объектов исследования выбраны образцы, изготовленные из рельсовой стали М76. Первый объект: рельс № 1 – тип Р65, термоупрочнённой категории Т1. Переложен с прямого участка главного хода участка Баковка–Одинцовка (Московская ДИ) на приёмно-отправочный путь. Нарботка по тоннажу – 600 млн т. брутто. Второй объект: рельс № 2 – тип Р65, термоупрочнение ДТ350, наработка по тоннажу – 400 млн т. брутто. Снят со второго главного пути участка Долгопрудный–Лобня (Московская ДИ). Химический состав образцов рельсовой стали М76 представлен в табл. 1.

Испытания на усталость проводились с помощью ультразвуковой установки Shimadzu USF-2000 с частотой 20 кГц. Для проведения испытаний на усталость рельсовой стали на токарном станке были изготовлены образцы с рабочей частью в виде песочных часов в соответствии с чертежом, представленным на рис. 1а.

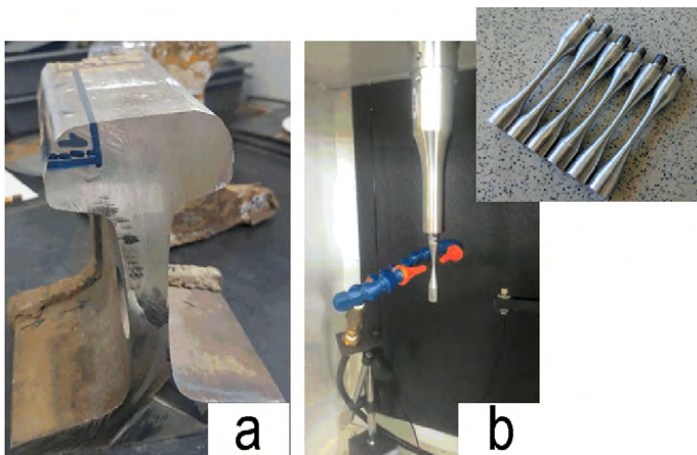


Рис. 1. Внешний вид рельса с выделенной рабочей частью для высокочастотных испытаний (а), процесс высокочастотного испытания (б) (вставка – вид образца для испытаний) [фотографии выполнены авторами].

Таблица 1

Химический состав стружки рельсовой стали М76 [данные получены авторами]

	Элементное содержание, вес. %										
	Fe	C	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	P	S	Si	V
Рельс № 1	Основа	0,745	0,016	0,076	0,125	0,83	0,075	0,013	0,011	0,31	0,04
Рельс № 2	Основа	0,77	0,015	0,053	0,10	0,93	0,039	0,015	0,035	0,21	–

В результате экспериментального высокочастотного нагружения в образцах был обнаружен «белый слой». Травление образцов для металлографии (микрошлифа) проводилось погружением на 4–5 минут в смесь растворов 2 % салициловой кислоты и 70 % этилового спирта.

Микроструктуры образцов анализировали с помощью инвертированного металлургического микроскопа Eclipse MA200 (Nikon, Япония) и сканирующего электронного микроскопа Ultra Plus (Carl Zeiss, Германия). Состав фазы был исследован дифракцией рентгена (XRD), с использованием дифрактометра Bruker D8 Advance ($\text{CuK}\alpha$, $2^\circ < 2\theta < 90^\circ$), с применением базы данных ICDD PDF2–2004 и программного обеспечения CPMR [22]. Механические характеристики образцов изучали на автоматическом микротвердомере-испытателе HNV-G-FA-D (Shimadzu, Япония).

Достоверность экспериментальных исследований обусловлена таким образом использованием стандартизированных методов испытаний, разработанными методами разрушающих и неразрушающих испытаний по основным направлениям, наличием аккредитованной и аттестованной лабораторий, что дало возможность в полном объеме и соответствующем качестве достичь поставленных задач.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности состава и микроструктуры белого слоя в высокоуглеродистой стали

По результатам проведенных исследований видно, что в обоих случаях усталостная долговечность при высокочастотном нагружении имеет постоянную тенденцию к снижению. Значения усталостных характеристик исследуемых образцов стали М76 находятся в одном диапазоне и имеют одинаковый характер изменения. Усталостная долговечность в области VHCF для обоих исследуемых материалов одинакова (около 700 МПа).

Несмотря на довольно специфическое воздействие высокочастотных вибраций, усталостные явления, возникающие в процессе их воздействия, при достаточно большой величине и длительности нагрузок такие же, как при низкочастотном (стандартном) нагружении. Однако определяемые при высоких (ультразвуковых) частотах нагружения характеристики усталостной прочности, скорости протекания процесса разрушения и сам процесс разрушения различаются.

На рис. 3, 4 представлены результаты исследования микроструктуры образцов «рельс № 1» и «рельс № 2» с WL, образованным в результате высокочастотного нагружения: образец «рельс № 1» (амплитуда $\sigma_a = 790$ МПа, количество циклов $N = 1,19 \cdot 10^4$, причина



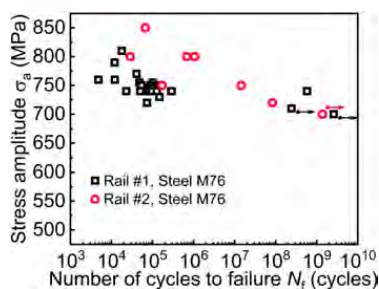


Рис. 2. Экспериментальные данные высокочастотного нагружения образцов «рельс № 1» и «рельс № 2». Стрелками обозначены образцы, которые не разрушились при данной амплитуде [получены авторами].

разрушения – трещина, на поверхности присутствуют цвета побежалости); образец «рельс № 2» ($\sigma_a = 840$ МПа, $N = 1,21 \cdot 10^4$, причина разрушения – выход из резонанса, на поверхности присутствуют цвета побежалости).

Микротвёрдость (рис. 5) для образца «рельс № 1» (рис. 3) измерялась в центре WL от начала трещины (зона 2) с нагрузкой 0,025 кгс (245,2 мН) и шагом 100 мкм. Далее измерения с шагом 100 мкм проводились в сторону области 1 на протяжении 1000 мкм. При проведении металлографических исследований была выявлена зона, отличная от WL и основного металла, – зона 3. В зоне 3 на-

блюдается промежуточное значение микротвёрдости по сравнению с зонами 2 и 1. Данные отражены на рис. 5.

Микротвёрдость «рельс № 2» (рис. 5) для образца (рис. 4) измерялась с края WL в зоне 2 (так как её протяжённость составила около 2000 мкм) с шагом 100 мкм в сторону зоны 1 с нагрузкой HV0.1 (980,7 мН) на протяжении 1000 мкм.

По проведённым исследованиям видно, что микротвёрдость WL очень высока: она находится на уровне HV 1000–1200, что примерно соответствует HRC 66 (рис. 5). Очевидно, что столь высокая твёрдость обусловлена высокой плотностью дефектов в белом слое. Повышение микротвёрдости имеет очень чёткую локализацию, при удалении от WL всего на 100 мкм для образца «рельс № 2» микротвёрдость снижается в 3–4 раза и в остальной части образца находится в пределах HV 250–400. Это соответствует перлитоподобным структурам (перлит-сорбит-троостит), характерным для структуры рельса. Стоит отметить, что в зоне 3, схожей с WL (образец «рельс № 1», рис. 3), микротвёрдость составила 484–631 HV. Вероятно, в данной области произошло частичное дробление кристаллов феррита и цементита, входящих

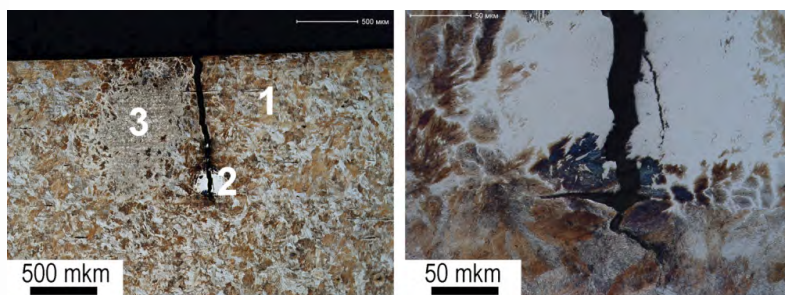


Рис. 3. Металлографические снимки характерных зон 1–3 в образце «рельс № 1», а также внешний вид трещины в БС при увеличении $\times 500$ [выполнены авторами].

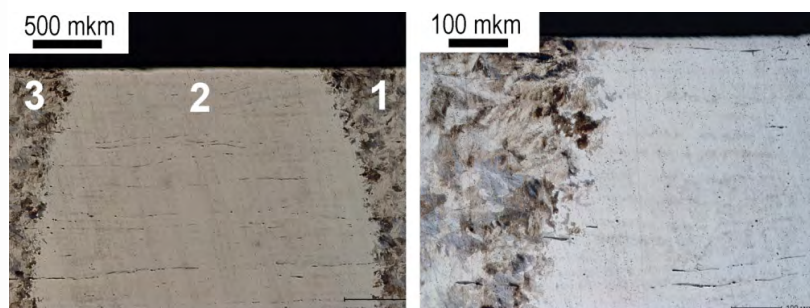


Рис. 4. Металлографические снимки характерных зон 1–3 в образце «рельс № 2», а также внешний вид шейки образца при увеличении $\times 200$ [выполнены авторами].

в состав перлита. То есть, эту структуру можно рассматривать как промежуточное звено между исходной структурой и WL. Таким образом, резкое локальное повышение микротвёрдости сигнализирует о начале процессов разрушения, но низкие средние значения микротвёрдости образца не являются признаком отсутствия в нём очагов разрушения.

Механизм формирования белого слоя в высокоуглеродистой стали при высокочастотных вибрациях

Для уточнения механизма изменения структуры в образце и образования WL с помощью электронного микроскопа (рис. 6, 7) с увеличениями от 5000× до 50000× были сняты области 1, 2 и 3 исследуемых образцов «рельс № 1» и «рельс № 2».

Для уточнения механизма разрушения и образования WL дополнительно был проведён РФА анализ зон 1, 2 и 3 (рис. 8) для образцов сталей «рельс № 1» (рис. 8а) и «рельс № 2» (рис. 8б).

Образец стали «рельс № 1» в целом имеет перлитную структуру (структурно свободно-

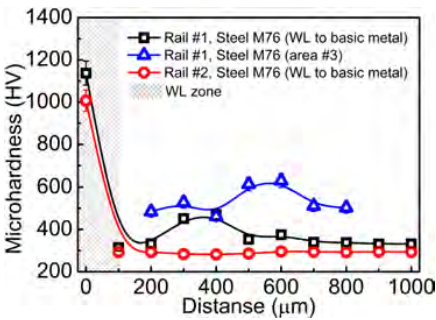


Рис. 5. Профиль микротвёрдости образцов «рельс № 1» и «рельс № 2» стали M76 от WL к основному металлу (рис. 3, 4) [выполнено авторами].

го феррита не видно) (рис. 8а). Микроструктура образца имеет следующие особенности:

1. В образце есть неметаллические включения. Возможно, эти включения являются стеклообразными шлаками. Одно из таких включений находится на нижней границе WL (вершина трещины проходит сквозь него). Образование WL именно в этом месте может быть связано с данным включением; наблюдаются участки с признаками дробления перлита и начала его гомогенизации. В случае развития этих процес-

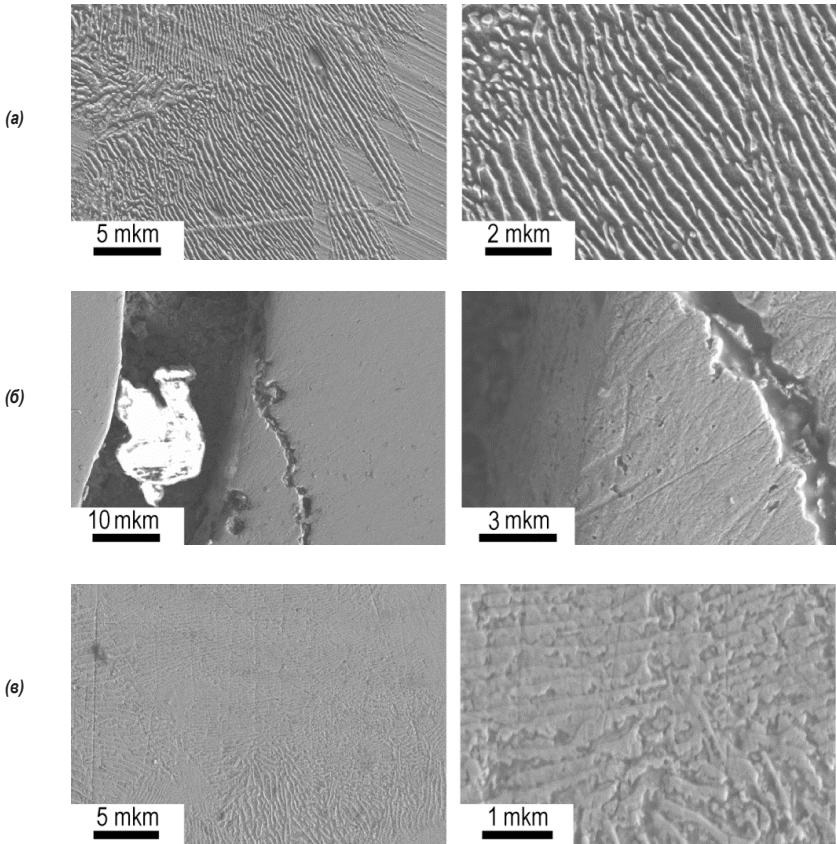


Рис. 6. СЭМ-снимки областей 1 (а), 2 (б), и 3 (в) образца Рельс № 1 [выполнены авторами].

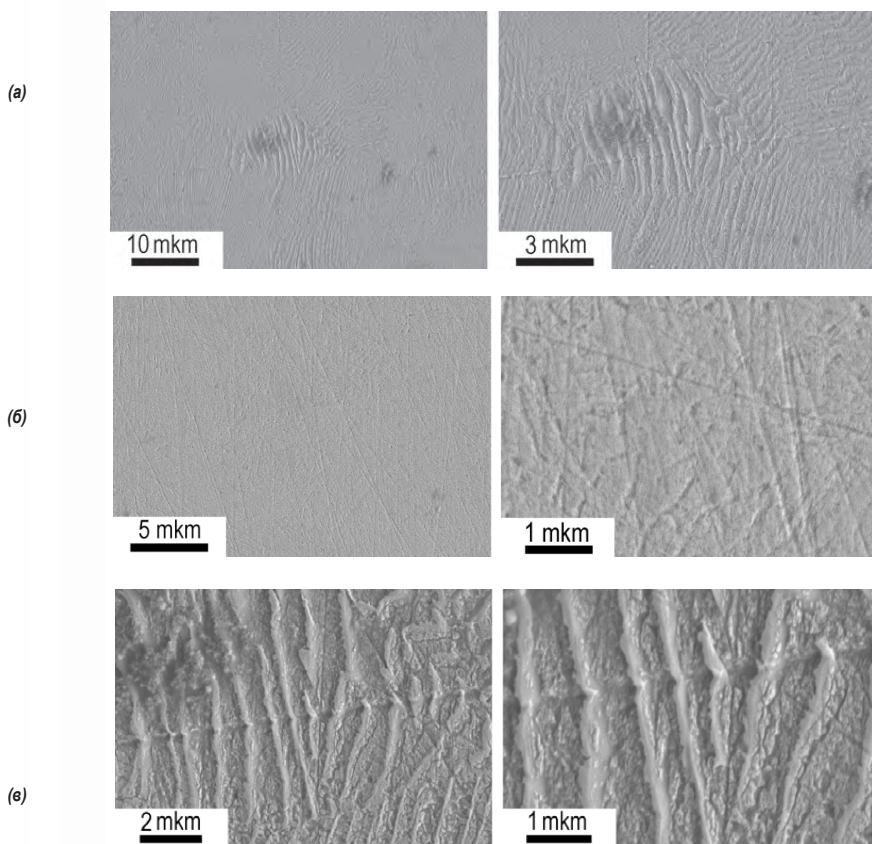


Рис. 7. СЭМ-снимки областей 1 (а), 2 (б), и 3 (в) образца Рельс № 2 [выполнены авторами].

сов данные участки также могут превратиться в WL и стать очагом разрушения; наблюдается пик в районе $2\theta \sim 38,5^\circ$ (межплоскостное расстояние $d \sim 0,234$ нм), наиболее ярко выраженный на дифрактограмме (рис. 8а) и предположительно соответствующий неметаллическому включению в образце «рельс № 1».

2. По мере удаления от излома в образце «рельс № 1» WL становится несплошным, чередуется с неизменёнными перлитными колониями (затем структура полностью переходит в неизменённый феррит).

3. В результате электронной микроскопии и измерения микротвёрдости можно утверждать, что зона 3 схожа с WL. В ней произошло частичное дробление кристаллов феррита и цементита, входящих в состав перлита, эту структуру можно рассматривать как промежуточное звено между исходной структурой и WL.

4. На дифрактограммах образца стали «рельс № 1», снятого в трёх точках, отчётливо наблюдаются пики (110), (200), (211) феррита (наиболее интенсивные пики цементита (103), (022), (210) накладываются на пик (110) фер-

рита, а пик (121) цементита – на пик (111) аустенита). В тех позициях, где должны находиться пики аустенита (111), (200), (220), (311) и мартенсита, дифрактограммы остаются на уровне фона. Дифрактограмма мартенсита отличается от дифрактограммы феррита тем, что вместо одиночных линий (110), (200), (211) и (220) феррита решётка мартенсита даёт двойные линии, линия (310) становится даже тройной. Чем больше углерода в мартенсите (то есть, чем сильнее период c отличается от a), тем шире раздвигаются линии каждой такой пары¹. Однако уширение или расщепление пиков, отнесённых к ферриту, не наблюдается (рис. 8а). Таким образом, основными фазами в образце являются феррит и цементит. Аустенит и мартенсит либо отсутствуют, либо их количества не превышают 5 вес. %.

5. Наблюдается значительное гало (повышение относительно общего уровня дифрак-

¹ Миркин Л. И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: Справочник. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 140 с.; Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Физматгиз, 1961. – 863 с.

тограммы без чёткой локализации) в районе $2\theta \sim 7...23^\circ$, которое может говорить о частичной аморфизации или, как минимум, высокой плотности дефектов в данной области (рис. 8а).

6. Отдельно стоит рассмотреть наличие пика при $2\theta \sim 38,5^\circ$ (рис. 8а). Известно, что смещать пики в металлах могут напряжения. Поскольку для пиков феррита смещение не имеет места, то и макронапряжений нет. Одновременно ширина пика при $2\theta \sim 38,5^\circ$ неизвестной фазы примерно такая же, как и у феррита, что также говорит об отсутствии микронапряжений у неизвестной фазы. Объясняется это тем, что ориентированные микронапряжения могут вызывать смещение пиков, но при этом все микронапряжения вызывают уширение пиков. С другой стороны, согласно анализу базе данных ICDD PDF2-2004, наличие данного пика соответствует 76 различным соединениям. Поэтому идентификация пика при $2\theta \sim 38,5^\circ$ затруднительна.

Образец стали «рельс № 2» имеет следующие особенности:

1. Микротрещины в данном образце обнаружены не были; в шейке образца по всему сечению обнаружен WL общей шириной до 2000 мкм.

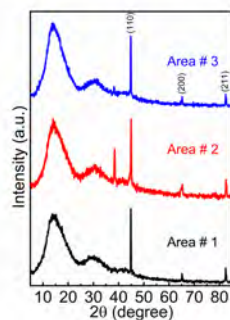
2. Микроструктура зон 1 и 3 сохраняет характерную для перлита морфологию.

3. Основными фазами в образце «рельс № 2», как и в образце M76, являются феррит и цементит, также наблюдается значительное гало в районе $2\theta \sim 10...23$ (рис. 8б).

ВЫВОДЫ

Рассмотрены особенности микроструктуры и фазового состава белого слоя в экспериментальных образцах высокоуглеродистой рельсовой стали M76, сформированного после циклических испытаний с частотой 20 кГц. Согласно данным РФА, основные фазы, составляющие белый слой, – феррит и цементит. Аустенит и мартенсит либо отсутствуют, либо их количества не превышают 5 вес.%. Микротвёрдость белого слоя значительно (в несколько раз) выше микротвёрдости исходной стали и составляет 1000–1200 HV. Таким образом, сформированный белый слой представляет собой высокодисперсную, перлитоподобную, безликую структуру. В области, схожей с WL (образец «рельс № 1», рис. 3), микротвёрдость составила 484–631 HV.

(а)



(б)

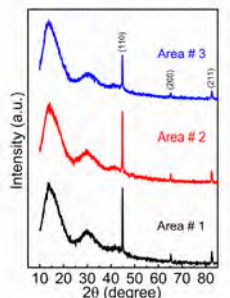


Рис. 8. Дифрактограммы зон 1, 2 и 3 для образцов сталей «рельс № 1» (а) и «рельс № 2» (б) [выполнены авторами].

В данной области произошло частичное дробление кристаллов феррита и цементита, входящих в состав перлита, их рельеф после травления выражен гораздо слабее (рис. 8в), чем у исходного перлита (рис. 8а). Эту структуру можно рассматривать как промежуточное звено между исходной структурой и WL. По проведённому комплексному исследованию возможным является следующий механизм формирования белого слоя: дробление феррита и цементита, входящих в состав перлита, без промежуточных фазовых превращений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mori, S., Kobayashi, M., Osawa, J. Noise Reduction Measure for Trussed Non-slab Bridges. In: Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, 2018, Vol. 139, pp. 343–354. Springer, Cham. Ed. by D. Anderson, P.-E. Gautier, M. Iida [et al]. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73411-8_25.
2. Heckl, M., Hauck, G., Wetschurack, R. Structure-borne sound and vibration from rail traffic. Journal of Sound and Vibration, 1996, Vol. 193, Iss. 1, pp. 175–184. DOI: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1996.0257>.
3. Němec, M., Gergel, T., Gejdoš, M., Danihelová, A., Ondrejka, V. Selected Approaches to the Assessment of Environmental Noise from Railways in Urban Areas. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, Vol. 18 (13), art. 7086. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18137086>.



4. Kouroussis, G., Verlinden, O., Conti, C. Influence of some vehicle and track parameters on the environmental vibrations induced by railway traffic. *Vehicle System Dynamics*, 2012, Vol. 50 (4), pp. 619–639. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2011.610897>.
5. Kouroussis, G., Conti, C., Verlinden, O. Investigating the influence of soil properties on railway traffic vibration using a numerical model. *Vehicle System Dynamics*, 2013, Vol. 51 (3), pp. 421–442. DOI: [10.1080/00423114.2012.734627](https://doi.org/10.1080/00423114.2012.734627).
6. Thompson, D. Railway noise and vibration. Mechanisms, modelling and means of control. Elsevier Science, 2008, 536 p. eBook ISBN 9780080914435, Hardcover ISBN 9780080451473.
7. Lyu, Y., Björklund, S., Bergseth, E., Olofsson, U., Nilsson, R. Development of a noise related track maintenance tool. The 22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV22, Florence (Italy), 12–16 July 2015. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Yezhe-Lyu/publication/283354865_DEVELOPMENT_OF_A_NOISE_RELATED_TRACK_MAINTENANCE_TOOL/links/56373d6608ae88cf81bd5187/DEVELOPMENT-OF-A-NOISE-RELATED-TRACK-MAINTENANCE-TOOL.pdf. Доступ 22.04.2022.
8. Nonaka, I., Setowaki, S., Ichikawa, Y. Effect of frequency on high cycle fatigue strength of railway axle steel. In: Proceedings of the fifth international conference on very high cycle fatigue, VHCF-5, 2011, pp. 153–158. DOI: [10.1016/J.IJFATIGUE.2013.08.020](https://doi.org/10.1016/J.IJFATIGUE.2013.08.020).
9. Ze Fu Luo, Shi Ming Cui, Yan Zeng Wu, Qing Yuan Wang. Super Long Life Fatigue Properties of Rail Steel U71Mn and U75V. *Advanced Materials Research*, 2013, Vols. 690–693, pp. 1753–1756. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.690-693.1753](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.690-693.1753).
10. Liu, X., Sun, C., Hong, Y. Crack initiation characteristics and fatigue property of a high-strength steel in VHCF regime under different stress ratios. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 2016, Vol. 35, pp. 88–97. [Электронный ресурс]: <https://www.gruppofrattura.it/pdf/fig/numero35/98/>. Доступ 22.04.2022.
11. Pfafinnger, M. R. Higher Vibration Modes in Railway Tracks at their Cutoff Frequencies. Diss. ETH No. 13755. A thesis submitted to Swiss Federal Institute of Technology for the degree of Doctor of Technical Science, Zürich, 2000. [Электронный ресурс]: <https://www.yumpu.com/en/document/view/3740866/higher-vibration-modes-in-railway-tracks-at-their-cutoff-frequencies>. Доступ 22.04.2022.
12. Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., Aikawa, A., Sakai, H. Free vibrations of interspersed railway track systems in three-dimensional space. *Acoustics Australia*, 2014, Vol. 42 (1), pp. 20–26. [Электронный ресурс]: <https://ro.uow.edu.au/eisrpapers/2237/>. Доступ 22.04.2022.
13. Miller, K. J., O'Donnell, W. J. The fatigue limit and its elimination. *Fatigue Fracture of Engineering Materials and Structure*, 1999, Vol. 22, Iss. 7, pp. 545–557. DOI: [10.1046/J.1460-2695.1999.00204.X](https://doi.org/10.1046/J.1460-2695.1999.00204.X).
14. Krawczyk, J., Pacyna, J. Effect of tool microstructure on the white layer formation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2006, Vol. 17, Iss. 1–2, pp. 93–96. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Jerzy-Pacyna/publication/42107389_Effect_of_tool_microstructure_on_the_white_layer_formation/links/0912f50b385de2aa65000000/Effect-of-tool-microstructure-on-the-white-layer-formation.pdf. Доступ 22.04.2022.
15. Babei, Yu. I., Ryabov, B. F., Golubets, V. M., Dyadchenko, B. T., Kaparova, L. A. Nature of etch-resistant layers produced in steel as a result of machining and certain other operations. *Soviet materials science: a transl. of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 1975, Vol. 9, pp. 394–400. Translated from *Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 1973, Vol. 9, No. 4, pp. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00715630> [доступ платный].
16. Golubets, V. M. Wear Resistance of the White Layer in Relation to the Carbon Content of Steels. *Soviet materials science: a transl. of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 1975, Vol. 9, pp. 101–102. Translated from *Fiziko-Khimicheskaya Mekahnika Materialov*, 1973, Vol. 9, No. 1, pp. 105–106. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00717634> [доступ платный].
17. Griffiths, B. Mechanisms of White Layers Generation with Reference to Machining and Deformation Processes. *ASME Journal of Tribology*, 1987, Vol. 109, No. 3, pp. 525–530. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.3261495> [доступ платный].
18. Ekinovic, S., Begović, E., Plančić, I., Anzel, I., Rimac, M. Scanning electron microscopy in analysis of influence of the alloying elements in steel on white layer formation by hard turning. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 2015, Vol. 19, No. 1, pp. 37–40. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/E-begovic/publication/281616455_scanning_electron_microscopy_in_analysis_of_influence_of_the_alloying_elements_in_steel_on_white_layer_formation_by_hard_turning/links/55eff25308aef559dc44f1d3/scanning-electron-microscopy-in-analysis-of-influence-of-the-alloying-elements-in-steel-on-white-layer-formation-by-hard-turning.pdf. Доступ 22.04.2022.
19. Васильев С. Г., Попцов В. В. Повышение твердости поверхности детали термическим воздействием методом деформирующего резания // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2011. – № 12. – С. 37–43. DOI: [10.18698/0536-1044-2011-12-37-43](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2011-12-37-43).
20. Иванисенко Ю. В., Бауманн Г., Фехт К. и др. Наноструктура и твердость белого слоя на поверхности железнодорожных рельсов // *Физика металлов и металловедение*. – 1997. – № 3. – Т. 83. – С. 104–111.
21. Hossain, R., Pahlevani, F., Witteveen, E., Banerjee, A. [et al]. Hybrid structure of white layer in high carbon steel – Formation mechanism and its properties. *Scientific reports*, 2017, Vol. 7, article 13288. DOI: [10.1038/s41598-017-13749-7](https://doi.org/10.1038/s41598-017-13749-7).
22. Toby, B. H. CMPR – A powder diffraction toolkit. *Journal of Applied Crystallography*, 2005, Vol. 38, pp. 1040–1041. DOI: [10.1107/S0021889805030232](https://doi.org/10.1107/S0021889805030232). ●

Информация об авторах:

Гридасова Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент Департамента промышленной безопасности Политехнического института ДВФУ, Владивосток, Россия, olvin@list.ru.

Фазилова Зульфия Тельмановна – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортного строительства Российской университета транспорта, Москва, Россия, fazil_1905@mail.ru.

Никифоров Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент Департамента промышленной безопасности Политехнического института ДВФУ, Владивосток, Россия, nikiforova@gmail.com.

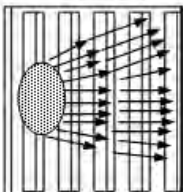
Косьянов Денис Юрьевич – кандидат технических наук, доцент Департамента промышленной безопасности Политехнического института ДВФУ, Владивосток, Россия, kosianov.diu@dvfu.ru.

Статья поступила в редакцию 22.04.2022, одобрена после рецензирования 30.04.2022, принята к публикации 11.05.2022.



АВТОНОМНЫЕ ТС В ГОРОДЕ 52

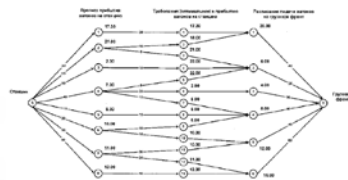
Вопрос о том, нужны ли в городе автономные автомобили, уже не обсуждается. Необходимость внедрения этой технологии очевидна. А готовы ли к этому города, дороги, сети связи, будет ли безопасно передвигаться и передавать информацию? В центре обсуждения – вполне конкретные вопросы.



ПЕРЕВОЗКИ ЗЕРНА 60

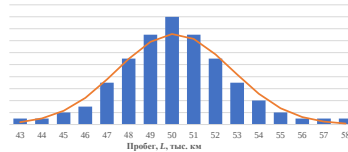
Для того, чтобы урожай дошёл до переработчиков и потребителей, его нужно не только собрать, но и сохранить, и довезти. Общие вопросы организации транспортно-складского хранения и новые технические решения.

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА



ПОЕЗДОБРАЗОВАНИЕ 66

Продолжение темы, начатой в прошлом номере. Подкреплённые точными расчётами предложения по работе сортировочных станций, призванные повысить эффективность их работы.



НАДЁЖНОСТЬ ЛОКОМОТИВОВ 77

Мало просто собрать данные диагностики, нужно собрать и интерпретировать их правильно. Принципы унимодальности в теории и их применение на практике.

ТРАНСКОРЕЙСКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА 83

Анализ предьистории, инфраструктурные и экономические предпосылки и ограничения.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 654.1:656.1/5:65.011.56

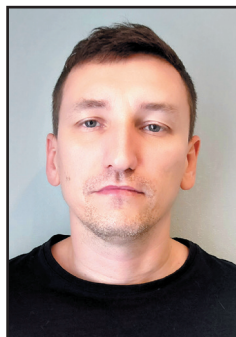
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-20-2-5>

Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 52–59

Внедрение беспилотных транспортных средств в инфраструктуру Санкт-Петербурга: исследование проблем



Лариса РОГАВИЧЕНЕ



Алексей ЕМЕЦ

*Лариса Ивановна Рогавичене¹,
Алексей Владимирович Емец²*

*^{1, 2} Национальный исследовательский университет
ИТМО, Санкт-Петербург, Россия.*

✉ ¹ Rogavichene@list.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье исследованы проблемы внедрения беспилотных транспортных средств (БТС) в транспортную инфраструктуру г. Санкт-Петербург, среди которых основными являются: техническое состояние и оснащение дорог, безопасность передачи данных, отсутствие технической возможности по скорости передачи данных, отсутствие нормативно-технической базы. Проведена оценка состояния дорог, наличия дорожной разметки, необходимой для ориентации БТС на дороге.

Перечислены основные параметры состояния дорожного покрытия, для получения которых необходимо оснастить датчиками дорожную систему. Для обеспечения безопасности передачи данных отражены основные направления, которые необходимы при проектировании и создании систем, такие как безопасность сбора, передачи и обработки данных системами БТС, аутентификация водителя, безопасность при передаче данных дорожной инфраструктурой. При изучении проблемы скорости передачи данных выполнен сравнительный анализ параметров технологии 4G, которой на сегодняшний день оснащена инфраструктура операторов связи, и технологии 5G. Проведён анализ

барьеров внедрения технологии 5G в России. В рамках изучения наличия нормативно-технической базы, регламентирующей эксплуатацию БТС на дорогах общего пользования, выявлен ряд основных вопросов, которые не урегулированы на сегодняшний день в законодательно-нормативной базе.

Рассмотрена проблема ответственности участников дорожного движения, которую необходимо распространить не только на владельца БТС, но и на других участников процесса (производители БТС, датчиков и программного обеспечения, организации по эксплуатации транспортной инфраструктуры, производители элементов транспортной инфраструктуры и т.д.). Изучен вопрос безопасности передачи данных, в том числе третьим лицам.

Проработаны вопросы адаптации смежных отраслей, сопутствующие процессу внедрения БТС, а также этики в принятии решения программным обеспечением БТС в критической ситуации. Сформулированы рекомендации по совершенствованию транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербург, направленные на решение выявленных в статье проблем.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, инновация, беспилотное транспортное средство, внедрение, технология 5G.

Для цитирования: Рогавичене Л. И., Емец А. В. Внедрение беспилотных транспортных средств в инфраструктуру Санкт-Петербурга: исследование проблем // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 52–59. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-20-2-5>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс диктует необходимость развития и усовершенствования городской транспортной системы. Экономика государства, социальная сфера и развитие государства в целом напрямую зависят от рациональной организации транспортных систем. Развитие науки в рамках разработок беспилотных транспортных средств (БТС) позволяет предположить масштабное распространение этого явления в повседневную жизнь человека в обозримом будущем.

В России в Транспортной стратегии до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года рассматривается ряд направлений цифровой трансформации транспортной отрасли. В частности, по направлению цифровизации транспортных средств предусмотрено развитие беспилотных автомобильных перевозок, которое будет, в свою очередь, осуществляться по двум направлениям. Это внедрение «автомобильных грузовых междугородних перевозок по ключевым магистралям и развитие грузовых и пассажирских городских перевозок в крупнейших агломерациях». В свою очередь в рамках направления цифровизации транспортной инфраструктуры, исходя из того, что «интеллектуальные транспортные системы позволяют повысить безопасность перевозок, оптимизировать маршруты, повысить провозную способность транспортной системы, ... планировать комплексное развитие транспортной инфраструктуры, включая инфраструктуру управления высокоавтоматизированным и автономным транспортом», предполагается применять их на «объектах инфраструктуры всех видов транспорта в следующих форматах взаимодействия по технологии V2X: транспортное средство – инфраструктура; транспортное средство – транспортное средство; транспортное средство – любые элементы и объекты, значимые для целей совершения перевозки». Предусмотрено, что «в рамках этого направления будут разработаны стандарты взаимодействия по технологии V2X в части интеллектуальных транспортных систем, обеспечено развитие сетей передачи данных, сформированы стимулирующие меры для внедрения и формирования национальной сети интеллектуальных транспортных систем»¹. Такие поло-

жения Транспортной стратегии подтверждают актуальность исследования проблем внедрения беспилотных транспортных средств в таком мегаполисе, как Санкт-Петербург, и развития сопутствующих этому элементов интеллектуальных транспортных систем.

ЦЕЛЬ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель, объект, предмет исследования

Цель исследования – выявление проблем внедрения БТС в транспортную инфраструктуру г. Санкт-Петербург. Объектом исследования является транспортная инфраструктура города Санкт-Петербург. *Предметом* исследования – проблемы внедрения БТС на автомобильном транспорте в транспортную инфраструктуру города Санкт-Петербург.

Для исследования проблем внедрения БТС в транспортную инфраструктуру г. Санкт-Петербург необходимо выполнить следующие задачи:

1. Определить перечень критически важных направлений, затрагивающих проблематику внедрения БТС в транспортную инфраструктуру г. Санкт-Петербург, и выполнить *анализ* каждого из них.

2. При анализе текущего состояния дорог города Санкт-Петербург необходимо изучить действующую нормативно-техническую базу, регламентирующую состояние дорог, *статистические данные* по состоянию дорог г. Санкт-Петербург на текущий момент, выявить тенденции по изменению ситуации с состоянием дорожного покрытия. В результате анализа необходимо определить основные проблемы, решение которых позволит осуществлять безопасную эксплуатацию БТС на дорогах общего пользования.

3. При анализе проблематики безопасности передачи данных необходимо изучить основы передачи данных, безопасности их передачи, а также способы взаимодействия БТС с окружающей средой, в том числе с интеллектуальными транспортными системами (ИТС). В результате анализа необходимо сформулировать основные положения, которые позволили бы повысить безопасность передачи данных.

4. При изучении технических возможностей по скорости передачи данных необходимо изучить принципы построения сетей связи, изучить основные принципы покрытия города сотовой связью операторами связи. Также необходимо проанализировать текущее состояние по обеспеченности со стороны операторов

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. [Электронный ресурс]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf>. Доступ 13.04.2022.



Таблица 1

Данные по протяжённости дорог, требующих ремонта
[составлено автором по данным³]

Год	Общая протяжённость, км	Нормативное состояние, км	Требуют ремонта, км	Доля дорог, требующих ремонта, %
2011	3096,9	2273,1	823,8	26,6
2012	3096,9	2359,8	737,1	23,8
2013	3276,9	2228,3	1048,6	32,0
2014	3290,5	2171,7	1118,8	34,0
2015	3337,5	2102,6	1234,9	37,0
2016	3414,6	2253,6	1161,0	34,0
2017	3433,6	2196,9	1236,7	36,0
2018	3461,8	2184,4	1277,4	36,9
2019	3472,2	2225,7	1246,5	35,9

связи существующим количеством базовых станций на предмет их достаточности для развёртывания в городе технологии 5G. Необходимо изучить проблематику выделения частот в Российской Федерации под технологию 5G.

5. При анализе действующей законодательной базы необходимо изучить действующие законы и законопроекты в части внедрения и эксплуатации БТС в городской среде. На основе анализа текущей ситуации с законодательной и нормативно-технической базой – выявить и рассмотреть основные аспекты, не отражённые на данный момент в регламентирующих документах Российской Федерации.

Проблемы внедрения

В качестве основных проблем при внедрении БТС в транспортную инфраструктуру города Санкт-Петербург выделены следующие [1]:

1. Техническое состояние и оснащение дорог.
2. Безопасность передачи данных.
3. Отсутствие технической возможности по скорости передачи данных.
4. Отсутствие нормативно-технической базы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для поиска решений по устранению обозначенных выше проблем проведён анализ текущего состояния.

1. Техническое состояние и оснащение дорог

1.1 Качество дорожного покрытия

В первую очередь для безопасной эксплуатации БТС требуется решить проблему каче-

ства дорожного покрытия, приведя его состояние к нормативному².

В табл. 1 представлены данные официального сайта администрации г. Санкт-Петербург³.

Из доли дорог, требующих ремонта, в общей протяжённости дорожного покрытия по годам можно сделать вывод, что динамика количества дорог г. Санкт-Петербург в километрах, требующих ремонта, практически не изменяется. В связи с этим необходим кардинально новый подход к решению вопроса ремонта дорожного покрытия в Санкт-Петербурге для сведения к нулю количества дорожного полотна, требующего ремонта.

1.2 Наличие дорожной разметки

Помимо непосредственного ремонта дорожного покрытия необходимо наличие и постоянное поддержание в должном состоянии дорожной разметки, ориентация на которую выполняется БТС при движении. Разметка должна быть нанесена специальной светоотражающей краской для возможности считывания её датчиками БТС в любых погодных условиях в любое время года. Эксплуатация БТС возможна по дорогам всех классов (с учётом возможности нанесения разметки на дорожное полотно), однако при введении БТС в инфраструктуру города первоначально целесообразно использовать дороги 1 и 2 классов⁴.

² ГОСТ Р 50597-2017 Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля.

³ Официальный сайт администрации г. Санкт-Петербург. Комитет по благоустройству Санкт-Петербурга. [Электронный ресурс]: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/blago/uborka-dorog-i-trotuarov/>. Доступ 13.04.2022.

⁴ ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200042582/>. Доступ 13.04.2022.

Это снизит риск аварий с другими участниками движения, а также даст возможность выявить возможные трудности для использования БТС на остальных категориях дорог, где в большей мере происходит взаимодействие с другими участниками движения.

В текущих реалиях города Санкт-Петербург остро стоит проблема очистки дорог в зимний период. При некачественной уборке дорог использование дорожной разметки для считывания её системами БТС будет невозможно.

1.3 Техническое обеспечение дорог

Кроме решения существующих проблем с состоянием дорожного полотна, необходимо обеспечить оборудование всего протяжения дорог датчиками для считывания компьютером БТС информации о состоянии дорожного покрытия [2], учитывающей:

- наличие неровностей на дороге;
- гололёдную обстановку в холодные периоды;
- наличие влаги на дороге – лужи, грязь, снег (для расчёта системой управления БТС скоростного режима и тормозного пути и т.п.);
- температурные данные асфальта, так как при повышенной температуре в летний период асфальт становится мягче и создаёт вязкость при контакте с ним колёс автомобиля.

Существенной реорганизации требует оснащение перекрёстков датчиками, камерами и светофорами, способными передавать информацию как на пост управления дорожной обстановкой, так и непосредственно компьютеру БТС для организации движения в транспортном потоке [3]. Необходимо наличие возможности передачи данных не только с ближайшего перекрёстка, но и с остальных перекрёстков, находящихся на маршруте следования БТС. Это позволит выбрать наиболее оптимальный маршрут следования, так как затор через три перекрёстка может повлиять на выбранный ранее маршрут.

2. Безопасность передачи данных

Внедрение и эксплуатация БТС предполагает генерирование большого объёма информации, такой как данные о местоположении объектов, персональные данные пользователя БТС, информация о работе объектов инфраструктуры, данные для доступа как к объектам инфраструктуры, так и непосредственно к БТС и многое другое [4]. Для обеспечения кибербезопасности БТС и инфраструктуры можно

в целом выделить следующие важные вопросы, которые необходимо учесть при проектировании и создании систем [5]:

- Безопасность сбора, передачи и обработки данных системами БТС – безопасность данных, которые используются в реальном времени внутри системы БТС (датчики, блоки управления и т.д.). В случае неверно выполненных настроек безопасности у злоумышленников может появиться возможность доступа к данным о состоянии узлов БТС в момент их считывания системой БТС с датчиков, обработки, а также при передаче этих данных в общую систему ИТС.

- Аутентификация водителя – при использовании сервисов пользователю необходимо не только предоставить персональные данные, но и пройти их проверку.

- Безопасность при передаче данных дорожной инфраструктурой – программы, используемые при сборе и обработке данных с различных БТС и элементов ИТС, а также информация или команды ИТС, связанные с управлением, передаваемые системам БТС. Действия злоумышленников, получивших доступ к таким данным, могут привести к принятию неверных решений как ИТС, так и БТС.

3. Отсутствие технической возможности по скорости передачи данных

Текущие технологии развития сетей связи не позволяют реализовать внедрение БТС в рамках города, так как они не обеспечивают потребности БТС при эксплуатации в городской среде [6]. Речь идёт об организации процесса эксплуатации большого количества БТС как единого элемента транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербурга.

Текущая технология 4G не обеспечивает потребность в скорости передачи данных, времени задержки передачи данных, количестве подключаемых пользователей на квадратный километр. Качественно новой технологией в рамках сетей связи является технология 5G. Она также не сможет удовлетворить потребности по обеспечению достаточного качества связи для реализации БТС в полной мере, но при обеспечении покрытия города сетью с технологией 5G позволит сделать первые шаги по внедрению БТС в городскую транспортную инфраструктуру.

Основными преимуществами технологии 5G (расчётные данные) по сравнению с 4G являются [7]:



- Пиковая скорость технологии 5G в 20 раз выше, чем у 4G, и составляет 20 Гбит/с. Обмен данными, а также передача актуальной информации происходит во много раз быстрее.

- Передача данных у технологии 5G происходит с задержкой в 1 миллисекунду, что более чем в восемь раз меньше, чем у технологии 4G.

- В густонаселённых городах с большой интенсивностью использования сети важным критерием является количество одновременно подключённых пользователей. Технология 5G позволяет одновременно обслуживать 1 млн пользователей на квадратный километр, что на несколько порядков выше, чем у текущей технологии 4G.

В мировой практике диапазон частот $n78$ (3300–3800 МГц) считается оптимальным для технологии 5G [8]. Для данного диапазона частот выпускается оборудование основных производителей. В России реализация технологии 5G на каком-то этапе приостановилась из-за проблем с выделением частот [9]. Государственной комиссией по радиочастотам (ГКРЧ) было предложено использование диапазона $n79$ (4400–5000 МГц). Реализация данного предложения выявила у операторов связи массив проблем [10], таких как:

- Отсутствие у основных производителей, на оборудовании которых реализуется вся сотовая связь операторов большой четвёрки, оборудования технологии 5G для работы в указанном частотном диапазоне.

- Отсутствие у потребителя возможности пользования технологией 5G из-за достаточно ограниченного количества смартфонов, поддерживающих диапазон частот $n79$. У наиболее распространённых производителей 5G-смартфоны работают в диапазоне $n78$.

- Внедрение технологии 5G в диапазоне $n79$ повлечёт за собой увеличение количества базовых станций (в среднем в два раза).

- Урезанная ширина предлагаемого диапазона $n79$ не позволит внедрить технологию в полном объёме, поскольку её ширина вдвое меньше ширины диапазона $n78$.

Кроме диапазона 4400–5000 МГц, операторам связи были предложены частоты диапазона 24250–29500 МГц. У данного диапазона частот помимо основных проблем, указанных выше в контексте диапазона 4400–5000 МГц, возникают сложности с самой физикой процесса. В диапазоне 24250–29500 МГц и выше сигнал настолько чувствителен к препятствиям (стены зданий, проливной дождь, деревья и т.п.), что

его полноценное использование возможно только при отсутствии физических помех (строения, густая крона деревьев и другие препятствия). При использовании данного диапазона в пределах городской застройки Санкт-Петербурга у операторов связи отсутствует главное – экономическая выгода проекта. Это связано с тем, что количество базовых станций, необходимых для обеспечения зоны покрытия, увеличивается в разы по отношению к их текущим количеством и окупаемость проекта переносится на недопустимо большой срок.

В рамках поиска решений Федеральная антимонопольная служба (ФАС) в мае 2021 года заключила соглашения о совместной деятельности по построению сетей стандарта 5G с тремя операторами связи из так называемой «большой четвёрки». Компаниями ПАО «Мегафон», ПАО «Ростелеком» и ПАО «Вымпел-Ком» было создано совместное предприятие ООО «Новые цифровые решения» [11]. В конце осени 2021 года ГКРЧ приняла решение о выделении ООО «Новые цифровые решения» диапазона частот 4400–4990 МГц для тестирования технологии 5G сроком на два года.

4. Отсутствие нормативно-технической базы

Анализ действующего законодательства^{5, 6, 7} показывает, что прямой запрет на использование автоматизации вождения отсутствует. При этом ни в одном из документов не прописана возможность полной передачи функций водителя системам автоматического управления. Из этого следует, что первоначально необходимо внести корректировки и дополнения в основные документы, чётко разграничив и дав определения всем случаям возможного перемещения транспортного средства как с управлением непосредственно водителем, так и в случае полного управления транспортным средством системами автоматического управления.

⁵ Федеральный закон от 8 ноября 2007 г. № 259-ФЗ «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/12157005/>. Доступ 13.04.2022.

⁶ Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» (с изменениями и дополнениями). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/10105643/>. Доступ 13.04.2022.

⁷ Правила дорожного движения Российской Федерации // Постановление Совета Министров – Правительства РФ от 23 октября 1993 г. № 1090 «О правилах дорожного движения». [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/1305770/>. Доступ 13.04.2022.

На территории России с 1 декабря 2018 года действует Постановление Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2018 года № 1415 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств»⁸, в котором идёт речь о регламентировании экспериментальной эксплуатации БТС на дорогах общего пользования с обязательным наличием водителя в салоне автомобиля. Данный эксперимент проводится в закреплённых в перечне в документе регионах страны.

Параллельно с вышеуказанным постановлением, не дожидаясь завершения срока его действия, 8 июня 2021 года Министерством транспорта Российской Федерации был представлен проект Федерального закона «О высокоавтоматизированных транспортных средствах и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

В данном законопроекте рассматриваются правила эксплуатации БТС на дорогах общего пользования на постоянной основе. В нём даны необходимые определения, связанные с автоматизированным транспортным средством, способами его управления, ответственными лицами, задействованными в процессе его изготовления, перемещения и управления, а также дано определение специальному средству регистрации действий автоматизированным транспортным средством. Отражены обязанности владельца, оператора и изготовителя автоматизированного транспортного средства.

Сегодня ведутся предварительные обсуждения этого проекта и, с учётом полученных данных в результате экспериментальной эксплуатации БТС, проводимой в рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2018 г. № 1415, в него будут внесены окончательные корректировки.

Предполагается, что проект вступит в силу с 1 марта 2025 года. Это связано с тем, что срок действия Постановления Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2018 года № 1415 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах

общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств» заканчивался 1 марта 2022 года.

Таким образом, изучив существующую нормативно-правовую базу, действующую на текущий момент в Российской Федерации, можно сделать вывод, что она недостаточно проработана для полноценного внедрения БТС в транспортную инфраструктуру города.

Ниже сформулирован ряд основных направлений, которые необходимо проработать и закрепить в законодательно-нормативной базе.

Безопасность дорожного движения

В нормативно-правовых документах требуется законодательно закрепить ответственность участников дорожного движения. На сегодняшний день вся вина за дорожно-транспортное происшествие (ДТП) ложится на владельца БТС. Необходимо, пользуясь опытом зарубежных стран [12], законодательно зафиксировать возможность снятия вины с владельца БТС в случае, если он сможет доказать, что причиной ДТП не являлись его действия. Примером может служить ДТП, произошедшее по вине стороны, ответственной за транспортную инфраструктуру, разработчика программного обеспечения БТС, сбой в работе датчиков БТС и прочее [13].

В отношении безопасности эксплуатации БТС также необходимо законодательно регламентировать, как будет проходить сертификация автомобилей, необходимая к допуску на рынок нашей страны, кто и как будет проводить периодическую диагностику БТС, его компонентов и ПО.

Безопасность передачи данных

Для нормальной эксплуатации БТС подразумевается использование и передача большого объёма данных. В части технической составляющей оборудования для обработки большого потока информации необходимо ввести регламентирующие стандарты по сбору, обработке, хранению и передаче данных [14]. Государственным органам необходимо разработать и внедрить требования к защите данных на всех этапах работы с ними: в момент сбора, обработки, передачи, а также их последующего хранения. Кроме уголовной ответственности, необходимо юридически зафиксировать возможность обработки и хранения данных, полученных в процессе эксплуатации, а также передачи информации третьим лицам, таким как правоохранительные органы.

⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 26.11.2018 № 1415 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств». [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/72113462/>. Доступ 13.04.2022.



Адаптация отраслей, содействующих процессу внедрения БТС

Помимо вопросов, касающихся непосредственно развития, внедрения и эксплуатации БТС, государственным институтам необходимо внести дополнения в нормативно-правовую базу, регулирующую деятельность смежных отраслей, задействованных в данном процессе. В первую очередь необходимо проработать вопрос сертификации оснащения ИТС необходимыми компонентами, такими как: датчики, камеры, радары, оборудование для передачи и обработки данных, а также их хранения. Нужно разработать и сертифицировать специальные сигналы, знаки и указатели, которыми необходимо будет дополнительно оснастить дорожную инфраструктуру для нормального функционирования БТС.

С учётом того, что человек как водитель в штатной ситуации при эксплуатации БТС будет исключён, а за движение БТС будет отвечать программное обеспечение, серьёзные изменения должны коснуться сферы страхования. В связи с тем, что с большой степенью вероятности произойдёт уменьшение риска возникновения ДТП из-за человеческого фактора, потребуются кардинальные изменения документов, регламентирующих наступление страховых случаев. Необходимо будет скорректировать методику расчёта стоимости страхования с учётом других факторов, влияющих на риск возникновения страховых случаев.

Вопросы этики в принятии решения

Помимо всего вышеперечисленного, необходимо определить и законодательно регламентировать приоритетность в принятии решения искусственным интеллектом в критической ситуации [15]. Необходимо утвердить алгоритм принятия решений искусственным интеллектом, который бы применялся при программировании БТС и соответствовал требованиям сертификации и последующего допуска ПО на рынок страны для дальнейшей эксплуатации БТС. Нужно однозначно указать приоритетность участников дорожного движения (водитель, пассажир БТС, пассажиры и водители других ТС и БТС, пешеходы, животные, материальный ущерб, наносимый чьему-либо имуществу и т.д.).

5. Рекомендации по выявленным проблемам

Для решения рассмотренных в статье проблем, препятствующих внедрению БТС в транспортную инфраструктуру города Санкт-

Петербург, сформулированы следующие рекомендации:

1. Обеспечение технического состояния и оснащения дорог с точки зрения качества дорожного покрытия, разметки и технического обеспечения оборудования, предназначенного для получения данных о состоянии дорожного покрытия, необходимых для безопасной эксплуатации БТС.

2. Обеспечение безопасности работы с блоком данных, необходимых для эксплуатации БТС на дорогах общего пользования.

3. Оснащение транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербург технологией 5G для обеспечения необходимой для эксплуатации БТС скорости передачи данных.

4. Выделение диапазона частот для передачи данных посредством технологии 5G, удовлетворяющего техническим требованиям.

5. Формирование нормативно-технической базы, регламентирующей процесс внедрения и эксплуатации БТС в транспортной инфраструктуре города Санкт-Петербург с точки зрения безопасности дорожного движения, передачи данных, этического аспекта, а также адаптация сопряжённых отраслей, обеспечивающих нормальное функционирование БТС в транспортной инфраструктуре города.

ВЫВОДЫ

В статье проведён анализ основных проблем, препятствующих внедрению БТС в транспортную инфраструктуру города Санкт-Петербург. Изучена проблематика состояния городских дорог, наличия разметки на дорожном покрытии. Рассмотрен вопрос оснащения дорог города оборудованием, предназначенным для получения параметров состояния дорожного покрытия, которые будут использоваться системами БТС для безопасного передвижения по дорогам общего пользования.

В ходе рассмотрения проблем безопасности передачи данных обозначены основные направления, которые необходимо учесть при проектировании и создании систем, такие как безопасность сбора, передачи и обработки данных системами БТС, аутентификация водителя, безопасность при передаче данных дорожной инфраструктурой.

В результате изучения проблемы скорости передачи данных проведено сравнение параметров технологий 4G и 5G. Из данного сравнения можно сделать вывод, что реализация технологии 5G позволит сделать первые шаги

в организации процесса эксплуатации большого количества БТС как единого элемента транспортной инфраструктуры города Санкт-Петербурга.

В рамках действующей нормативно-технической базы изучены действующие на сегодняшний день документы, сформулированы основные вопросы, которые не урегулированы в законодательно-нормативной базе. Рассмотрена проблема ответственности участников дорожного движения, которую необходимо распространить не только на владельца БТС, но и на других участников процесса. Изучен вопрос безопасности передачи данных, а также передачи данных третьим лицам. Проработаны вопросы адаптации отраслей, сопутствующих процессу внедрения БТС, а также этики в принятии решения программным обеспечением БТС в критической ситуации. Приведены рекомендации по выявленным проблемам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Юзаева А. Г., Кукарцев В. В. Беспилотные автомобили: опасности и перспективы развития // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – № 12. – Т. 2. – С. 120–122. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28146299>. Доступ 13.04.2022.
2. Евстигнеев И. А., Шмытинский В. В. Вопросы взаимодействия беспилотных транспортных средств с дорожной инфраструктурой // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 6 (85). – С. 17–21. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42194742>. Доступ 13.04.2022.
3. Овчинникова Н. Г., Алимиджанов Р. А. Модель планирования и реконструкции перекрестков в системе рационального использования территории // Экономика и экология территориальных образований. – 2019. – № 3. – Т. 3. – С. 79–88. [Электронный ресурс]: http://eco.e.donstu.ru/upload/iblock/91f/ZHurnal-3_10_79_88.pdf. Доступ 13.04.2022.
4. Пискарева О. М., Алексеев В. А., Медников Д. Н., Стариковский А. В. Характеристика зон уязвимости и источников угроз информационной безопасности эксплуатации беспилотных автомобилей в интеллектуальной транспортной системе // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2021. – № 4. – Т. 14. – С. 20–36. DOI: 10.18721/JE.14402.
5. Беляев К. М., Романов А. А. Кибернетическая безопасность беспилотного транспорта // Техно-технологические проблемы сервиса. – 2018. – № 2 (44). – С. 37–42. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35078714>. Доступ 13.04.2022.
6. Носов А. Г. Экономические и инфраструктурные аспекты развития технологий беспилотного транспорта

// Транспорт Российской Федерации. – 2016. – № 5 (66). – С. 21–25. [Электронный ресурс]: <http://www.rostransport.com/transportrf/download.php?src=/transportrf/pdf/66/1994-831X-2016-5-21-25.pdf>. Доступ 13.04.2022.

7. Громова С. Л., Боборыкина М. Д. Преимущества технологии 5G и её особенности // Конференция: Инновации и научно-техническое творчество молодежи. – 2021. – С. 746–749. [Электронный ресурс]: https://sibstis.ru/workgroups/w/group/46/files/Материалы%20конференций/РНТК-2021/Сборник_НТТМ_2021.pdf. [Файл всех материалов конференции]. Доступ 13.04.2022.

8. Гурлев И. В. Проблемы развития сетей связи и управления поколения 5G в России // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 5. – Т. 11 – С. 1–9. [Электронный ресурс]: <https://esj.today/PDF/58ECVN519.pdf>. Доступ 13.04.2022.

9. Агаджанова И. В. Проблема внедрения 5G в России // Международная научно-практическая конференция XXXIV: Международные Плехановские чтения. – 2021. – С. 99–102. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46706680>. Доступ 13.04.2022.

10. Коледа С. С. Анализ возможностей сети 5G в диапазоне 4,8–4,99 ГГц в России // Интернаука. – 2021. – № 19-3 (195). – С. 41–43. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46148016>. Доступ 13.04.2022.

11. Авдашева С. Б., Корнеева Д. В., Орлова Ю. А. Единый оператор инфраструктуры 5G: действительно ли экономия инвестиций достижима? // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2019. – № 6. – С. 59–78. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41827383>. Доступ 13.04.2022.

12. Цирит О. А., Татьяна А. Н. О некоторых вопросах уголовной ответственности за ДТП с участием беспилотного автомобиля // Вопросы российской юстиции. – 2019. – № 4. – С. 461–471. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42320987>. Доступ 13.04.2022.

13. Чурилов А. Ю. Ответственность за вред, причиненный при эксплуатации беспилотного автомобиля: проблемы и перспективы // Законодательство. – 2019. – № 6. – С. 17–24. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38321155>. Доступ 13.04.2022.

14. Правиков Д. И., Пономарева Е. А., Куприяновский В. П. Проблемы обеспечения информационной безопасности высокоавтоматизированных транспортных средств // International journal of open information technologies. – 2020. – № 6. – Т. 8. – С. 98–103. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42969480>. Доступ 13.04.2022.

15. Awad, E., Dsouza, S., Kim, R., Schulz, J., Henrich, J., Shariff, A., Bonnefon, J.-F., Rahwan, I. The Moral Machine Experiment: 40 Million Decisions and the Path to Universal Machine Ethics. Nature, 2018, Vol. 563, No. 7729, pp. 59–64. [Электронный ресурс]: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/125065/Moral%20Machine%20Paper.pdf;jsessionid=B0410B7B99EA2FC0218660F2992F5E6D?sequence=1>. Доступ 13.04.2022. ●

Информация об авторах:

Рогавичене Лариса Ивановна – кандидат экономических наук, доцент факультета технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, Rogavichene@list.ru.

Емец Алексей Владимирович – магистрант факультета технологического менеджмента и инноваций Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, n_etec@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.04.2022, одобрена после рецензирования 04.05.2022, принята к публикации 11.05.2022.





Управление процессами загрузки, хранения и выгрузки зерновых грузов в транспортно-складских комплексах



Владимир ДЕНИСОВ



Иван КОНОНОВ



Максим ПРУСОВ

Владимир Васильевич Денисов¹, Иван Иванович Кононов², Максим Владимирович Прусов³

Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия.

✉ ³ mak-prusov@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Активное преобразование транспортных связей и перераспределения грузопотоков требует интенсивного освоения новых перспективных направлений транспортировки грузов. Необходимо задействовать существующие транспортно-технологические системы с разработкой мероприятий по повышению производительности и снижению производственных расходов. Данный подход предусматривает повышение эффективности функционирования транспортно-логистической системы.

Целью статьи являются исследование, разработка и обоснование транспортно-технологических комплексов для зерновых грузов и их отдельных, наиболее значимых элементов.

Организация перевозок различных грузов с учётом параметров подвижного состава, перегрузочного и складского оборудования имеет определяющее значение в определении эффективности транспортно-технологических схем.

В статье рассматривается разработанная технология продвижения материального потока от грузоот-

правителя к грузополучателю, позволяющая предоставлять получателям груз в заранее обозначенное время с сохранением качественных и количественных характеристик. Исследование рынка перевозок зерновых грузов позволило сделать заключение о важности для всей технологии операций по загрузке, выгрузке и временному хранению.

Предложена инновационная конструкция класса бункерных устройств, которая существенно расширяет их функциональность, разработана технология работы применительно к зерновым грузам.

Выполнена работа по изучению и моделированию процессов, проходящих в перспективной конструкции бункерного устройства с учётом физических и механических свойств рассматриваемых грузов. Определены и исследованы основные параметры и факторы, степень их влияния на эффективность его функционирования на этапах загрузки, хранения и выгрузки.

Ключевые слова: зерновые грузы, транспортно-складские комплексы, бункер, хранилища, загрузка, хранение, разгрузка.

Для цитирования: Денисов В. В., Кононов И. И., Прусов М. В. Управление процессами загрузки, хранения и выгрузки зерновых грузов в транспортно-складских комплексах // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 60–65. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-6>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Объемы перевозки сыпучих грузов в России с каждым годом увеличиваются. Это достигается за счёт развития комплексного обслуживания грузоотправителей и повышения качества перевозок, одной из решаемых при этом в сфере транспортно-логистических услуг задач является также привлечение новых клиентов. По прогнозам, в ближайшее время перевозки только железнодорожным транспортом увеличатся на 30 %, например, перевозка химических и минеральных удобрений к 2025 году увеличится на 44,4 % до 85,5 млн тонн, зерновых грузов на 22 % до 140 млн тонн и т.д.¹.

На железнодорожных путях общего пользования, например, ОАО «РЖД», на грузовых терминалах предоставляются различные услуги: аренда складов, погрузочно-разгрузочные работы с тарно-штучными грузами, с контейнерами, с тяжеловесными, со щебнем и т.д., очистка и промывка вагонов/контейнеров, а также временное хранение товаров под таможенным контролем. Для расширения сферы комплексной транспортно-логистической деятельности необходимо осуществлять и переработку зерновых грузов, для этого нужно установить транспортно-складские комплексы (элеваторы), в оборудование которых входят бункеры и силосы.

Зарубежные исследователи также уделяют внимание этому вопросу, в том числе и в контексте деятельности видов транспорта, выделяя в различных аспектах роль железнодорожных перевозчиков (например^{2, 3}). Сбор зерновых грузов осуществляется в определённый период времени, а перевозятся они круглый год. Для кратковременного или долгосрочного хранения используют бункеры и силосы, которые должны стабильно функ-

ционировать и обеспечивать своевременную и бесперебойную погрузку зерновых грузов в подвижной состав².

Для этого необходимо, чтобы складские комплексы (причём не только транспортно-складские) отвечали определённым правилам (например^{4, 5, 6}; [1]) и условиям: обработка зерновых грузов должна быть полностью автоматизирована, а также обеспечивались качественная и количественная сохранность зернового груза, санитарно-гигиеническая обработка, защита от проникновения грызунов и птиц (например, [2–3]).

На основе трудов российских и зарубежных учёных была разработана схема транспортно-складских комплексов для зерновых грузов (рис. 1) [4; 5].

Транспортно-складские комплексы (ТСК) для зерновых грузов подразделяются на три уровня. К первому уровню относятся заготовительные транспортно-складские комплексы. Ко второму уровню – промежуточные, базисные, перевалочные и фондовые. К третьему уровню относят портовые, реализационные и производственные транспортно-складские комплексы.

Заготовительные транспортно-складские комплексы располагаются вблизи фермерских хозяйств, где принимают зерновые грузы с полей, обрабатывают и хранят. Впоследствии зерновые грузы отгружают на водный и железнодорожный транспорт и доставляют в транспортно-складские комплексы второго и третьего уровня. Заготовительные комплексы обеспечивают обработку всего урожая благодаря большой вместительности и производительности оборудования.

Базисные транспортно-складские комплексы располагаются на пересечении водных и железнодорожных путей, на железнодорож-

¹ Минсельхоз: выйти к 2025 году на 140 млн тонн зерновых – вполне реальная задача // Finmarket.Ru, 07.02.2020. [Электронный ресурс]: <http://www.finmarket.ru/news/5167151>. Доступ 19.01.2022.

² Frittelli, John V. Grain Transport: Modal Trends and Infrastructure Implications. CRS Report for Congress, January 5, 2005, pp. 9–10. [Электронный ресурс]: https://www.everycrsreport.com/files/20050105_RL32720_e3fc321b404da603d95f0e2fe799a64a9dd6d770.pdf. Доступ 19.01.2022.

³ Pittman, R., Jandová, M., Król, M., Nekrasenko, L., Paleta, T. The Effectiveness of EC Policies to Move Freight from Road to Rail: Evidence from CEE Grain Markets. Research in Transportation Business & Management, Vol. 37, December 2020, article 100482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100482>.

⁴ См., напр.: White, B. (Kondinin Group). Grain Storage Facilities. Planning for efficiency and Quality, A Grains Industry Guide. GRDC, 2012. [Электронный ресурс]: <https://storedgrain.com.au/grain-storage-facilities/>. Доступ 19.01.2022.

⁵ National policy on handling, storage and transportation of foodgrains. Ministry of Consumer Affairs, Food and Public Distribution (Department of Food and Public Distribution) New Delhi, the 4th July 2000. No. TFC-14/99-Vol.III. Resolution. [Электронный ресурс]: https://dfpd.gov.in/NationalPolicy_HST.htm. Доступ 19.01.2022.

⁶ Davis, R., Stafford, R. Feedlot Design and Construction, 30. Grain Storage and Handling. [Электронный ресурс]: https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/research-and-development/program-areas/feeding-finishing-and-nutrition/feedlot-design-manual/030-grain-storage-and-handling-2016_04_01.pdf. Доступ 19.01.2022.



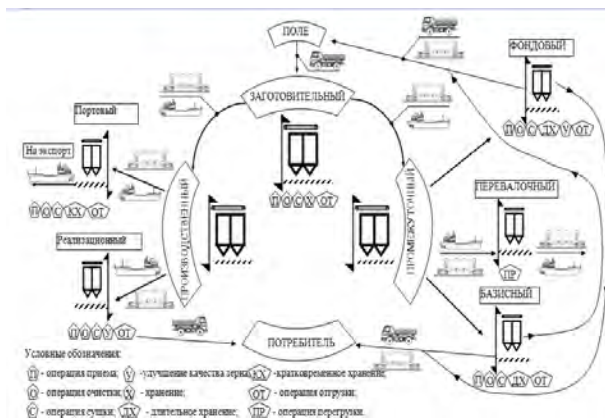


Рис. 1. Схема транспортно-складских комплексов для зерновых грузов [выполнена авторами].

ных узлах и служат для постоянной переработки зерновых грузов. В таких ТСК выполняются следующие операции: приём и очистка зерновых грузов, в основном длительное хранение, сушка и погрузка на транспорт.

Для перегрузки с одного вида транспорта на другой предназначены перевалочные транспортно-складские комплексы, которые оснащены оборудованием высокой производительности.

Резерв зерновых грузов обеспечивают фондовые транспортно-складские комплексы. Срок хранения зерновых грузов составляет 3–4 года, благодаря очистке, сушке и сохранению качества зернового груза [6].

Производственные транспортно-складские комплексы распределяют зерновые грузы по различным перерабатывающим предприятиям: комбикормовым, мукомольным и т. д. Зерновые грузы на производственном ТСК хранятся 5–6 месяцев.

Портовые транспортно-складские комплексы предназначены для отгрузки зерновых грузов на экспорт. Зерно на портовые элеваторы поступает с водного и железнодорожного транспорта. Для обеспечения стабильной погрузки зерновых грузов на экспорт портовые ТСК необходимо обеспечить новейшим транспортно-складским оборудованием [7].

Для доставки зерновых грузов потребителям используют реализационные транспортно-складские комплексы. Как правило, груз прибывает железнодорожным транспортом и отгружается на автомобильный транспорт.

Транспортно-складские комплексы всех уровней частично выполняют функции других типов комплексов.

Основными элементами транспортно-складских комплексов для зерновых грузов являются бункеры и силосы различного назначения. Проблемы, возникающие в них: сводообразование, сегрегация, уплотнение, слеживаемость и т. д. Эти проблемы негативно влияют на функционирование комплексов [8; 9]. Задержка подвижного состава при погрузочных операциях напрямую влияет на оборот вагонов.

Целью работы является разработка конструкции бункерного хранилища, которая сможет обеспечить стабильное функционирование ёмкости и позволит устранить уплотнение зернового груза в процессе загрузки путём равномерного распределения сыпучего груза по сечению ёмкости, свести к минимуму сегрегацию и сводообразование груза, обеспечить равномерное давление внутри ёмкости. Это позволит регулировать выгрузку сыпучего груза, а также улучшить безопасность производства и его эффективность.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе анализа загрузочных и выгрузочных устройств для бункеров и силосов разработана конструкция секторного мультифункционального бункера (рис. 2) [10].

Мультифункциональный бункер 1 разделён на сектора с помощью перфорированных решёт 2. Решёта с прямоугольными отверстиями располагаются под определённым углом к горизонтальной плоскости. Благодаря пассивному приводу 4 изменяется угол установки решёт. Прямоугольные отверстия решёта располагаются перпендикулярно движению зернового груза. Выгружается зерновой груз через воронку 3.

Мультифункциональный бункер работает следующим образом. Перфорированные решёта выставляются под углом к горизонтальной плоскости. В процессе загрузки мультифункционального бункера зерновой груз встречает на своём пути первое решето, которое делит загружаемый материал на два потока, один из которых сходит по решету, другой проходит через прямоугольные отверстия и попадает на второе решето, находящееся ниже на противоположной стенке бункера и т.д. до полной загрузки бункера.

Хранение зерновых грузов в бункерах и силосах сопряжено с различными трудностями, часть из которых указана выше: сводообразование, уплотнение, зависание, сегрегация, нарушение геометрии выпускной воронки ёмкости от механических воздействий и т.д. Это негативно влияет на работу всего транспортно-складского комплекса.

Многие учёные разрабатывали параметрические модели бункеров в процессе их функционирования. На основе данных исследований рассмотрим параметрическую модель мультифункционального бункера (рис. 3).

Процесс работы данного бункера необходимо разделить на функциональные блоки:

- 1) входящий поток зернового груза ($X_{вп}$);
- 2) процесс работы перфорированного решета при загрузке ($X_{пф}$);
- 3) работа перфорированного решета в процессе хранения зернового груза ($X_{пфх}$);
- 4) работа перфорированного решета в процессе выгрузки зернового груза ($X_{пфв}$);
- 5) параметры, влияющие на функционирование работы всего бункера ($Y_{пв}$).

Функционирование мультифункционального бункера можно записать в следующем виде:

$$Z_{пф} = Z_{пф} \{X_{вп}, X_{пф}, X_{пфх}, X_{пфв}, Y_{пв}\}. \quad (1)$$

Рассмотрим факторы, влияющие на входной поток зернового груза:

$X_{вп} = X\{x_{1вп}, x_{2вп}, x_{3вп}, x_{4вп}, x_{5вп}, x_{6вп}, x_{7вп}, x_{8вп}\}, \quad (2)$

где $x_{1вп}$ – производительность подающего устройства;

- $x_{2вп}$ – площадь сечения потока;
- $x_{3вп}$ – плотность потока;
- $x_{4вп}$ – высота падения;
- $x_{5вп}$ – влажность груза;
- $x_{6вп}$ – содержание примесей;
- $x_{7вп}$ – коэффициент парусности;
- $x_{8вп}$ – физико-механические свойства грузов.

Перфорированное решето, находясь внутри бункера, также влияет на загрузку ёмко-

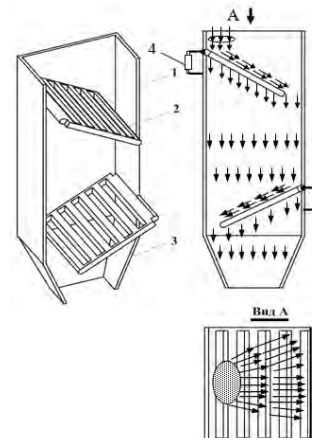


Рис. 2. Мультифункциональный бункер [выполнено авторами].

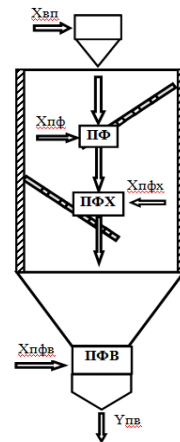


Рис. 3. Схема параметрической модели [выполнена авторами].

сти. Рассмотрим факторы, влияющие на функционирование решета в процессе загрузки:

$X_{пф} = X\{x_{1пф}, x_{2пф}, x_{3пф}, x_{4пф}, x_{5пф}, x_{6пф}, x_{7пф}, x_{8пф}, x_{9пф}\}, \quad (3)$

где $x_{1пф}$ – производительность перфорированного решета (чем больше производительность, тем быстрее загружается бункер);

$x_{2пф}$ – установка перфорированного решета (если угол установки большой, то основная масса груза сходит с решета, если угол установки небольшой, основная масса груза остаётся на решете);

$x_{3пф}$ – конфигурация проёмов в решете (оказывает существенное влияние на перемещение груза, если конфигурация отверстий имеет форму окружности, необходимо встряхивать решето, а если конфигурация отверстий имеет прямоугольную форму, то груз свободно проходит и сходит по решету);

$x_{4пф}$ – размеры проёмов в решете;



$x_{5нф}$ – размеры перемычек между проёмами решета;

$x_{6нф}$ – динамический показатель заполнения поперечного сечения бункера;

$x_{7нф}$ – количество перфорированных решёт в бункере (влияет на горизонтальное и вертикальное давление в бункере, а также на сегрегацию груза);

$x_{8нф}$ – коэффициент уплотнения (влияет на целостность частиц груза);

$x_{9нф}$ – коэффициент используемого объёма (зависит от размеров проёмов в решете).

Рассмотрев все факторы, которые оказывают существенное влияние на процесс загрузки бункера, необходимо помнить, что этот процесс влияет на хранение сыпучего груза.

Факторы, оказывающее влияние на работу перфорированного решета в процессе хранения:

$$X_{пфх} = X\{x_{1пфх}, x_{2пфх}, x_{3пфх}\}, \quad (4)$$

где $x_{1пфх}$ – количество перфорированных решёт в бункере (влияет на горизонтальное и вертикальное давление в бункере, а также на сегрегацию груза);

$x_{2пфх}$ – геометрические размеры перфорированного решета (если площадь решета будет больше чем половина площади поперечного сечения бункера, то перфорированные решета могут являться точкой взаимодействия управляемого свода и конструкцией бункера, в связи с этим процесс выгрузки будет контролируемым);

$x_{3пфх}$ – установка перфорированного решета под наклоном относительно горизонтали.

Как известно, процесс загрузки влияет на функционирование всего бункера. В процессе хранения сыпучего груза возникают нежелательные явления, такие как сводообразование, зависание, уплотняемость, сегрегация сыпучего груза [11; 12]. Зависание сыпучего груза часто возникает в бункерах с прямоугольным сечением. Сводообразование образуется в связи с увеличением горизонтального давления внутри бункера. Уплотняемость и сегрегация сыпучего груза появляется из-за посторонней вибрации. Данные явления негативно влияют на выгрузку сыпучего груза из бункера. Выгрузка происходит с пульсацией, и качество груза ухудшается, так как наблюдается расслоение груза, то есть сегрегация [13–16].

В мультифункциональном бункере перфорированные решета в процессе хранения

сыпучего груза не извлекаются, следовательно, они являются опорой для сводообразования, но достаточно изменить наклон перфорированного решета на 1° , свод разрушится, и выгрузка будет проходить равномерно, без пульсации. В данном случае можно будет контролировать процесс выгрузки сыпучего груза [7].

Рассмотрим параметры, которые влияют на процесс выгрузки с использованием перфорированного решета:

$$X_{пфв} = X\{x_{1пфв}, x_{2пфв}, x_{3пфв}, x_{4пфв}, x_{5пфв}, x_{6пфв}, x_{7пфв}, x_{8пфв}, x_{9пфв}, x_{10пфв}\}, \quad (5)$$

где $x_{1пфв}$ – линейные величины бункеров (прямоугольного, круглого и корытообразного сечения);

$x_{2пфв}$ – форма нижнего элемента бункера (воронки) (моделирует и управляет производительностью и сводообразованием);

$x_{3пфв}$ – число выгрузных отверстий (чем больше отверстий, тем равномерней будет выгрузка);

$x_{4пфв}$ – область размещения выгрузного отверстия относительно оси бункера;

$x_{5пфв}$ – угол нижнего элемента бункера (воронки);

$x_{6пфв}$ – зависимость площади сечения бункера и площади выгрузного отверстия;

$x_{7пфв}$ – шаг установки от выгрузного отверстия до начала перфорированного решета;

$x_{8пфв}$ – физико-механические свойства зернового груза;

$x_{9пфв}$ – материал изготовления бункера;

$x_{10пфв}$ – установка перфорированного решета (наклон перфорированного решета влияет на выгрузку);

Рассмотрим параметры влияния процесса выгрузки на функционирование мультифункционального бункера:

$$Y_{пв} = Y\{Y_{1пв}, Y_{2пв}, Y_{3пв}\}, \quad (6)$$

где $Y_{1пв}$ – производительность бункера;

$Y_{2пв}$ – постоянное поступление в технологическую линию;

$Y_{3пв}$ – коэффициент расслоения груза (сегрегация).

ВЫВОДЫ

Таким образом, после рассмотрения и оценки всех факторов, оказывающих воздействие на работу мультифункционального бункера, определены основные параметры для функционирования бункера.

Благодаря перфорированным решёткам можно регулировать и контролировать про-

цесс загрузки, хранения, а, самое главное, процесс выгрузки сыпучего груза. На предлагаемую конструкцию получен патент РФ [17].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Masi, P., Harris, K. The Feasibility of Investing in a High-Speed Grain-Handling Facility in Kansas. Applied Economics Teaching Resources, 2021, Vol. 3, Iss. 1, pp. 74–85. DOI: 10.22004/ag.econ.310268.
2. Guru, P. N., Mridula, D. Safe Storage of Food Grains. Technical Bulletin No.: ICAR-CIPHET/Pub./2021-22/01. ICAR Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology. DOI: 10.13140/RG.2.2.14957.51680.
3. Rajput, K., Amar, V. S. Engineering Perspective on Technical Challenges Associated with Corn Grain Storage. Acta Scientific Applied Physics, 2022, Vol. 2, Iss. 5, pp. 28–33. [Электронный ресурс]: <https://actascientific.com/ASAP-2-5.php>. Доступ 05.05.2022.
4. Горюшинский И. В. Технологические системы обеспечения сырьём комбикормовых и животноводческих предприятий // Дисс... докт. техн. наук. – Оренбург, 2005. – 298 с.
5. Кононов И. И. Совершенствование процесса функционирования бункерных хранилищ транспортно-складских комплексов для сыпучих грузов (на примере компонентов комбикорма) // Дисс... канд. техн. наук. – Саратов, 2002. – 154 с.
6. Prusov, M., Kurdyumov, V., Pavlushin, A. Optimization of the hopper design parameters with a controlled technological process of loading, storage and unloading of bulk materials. Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2020). Kazan, EDP Sciences, 2020, p. 00131. DOI: 10.1051/bioconf/20202700131.
7. Прусов М. В. Бункер для сыпучих грузов без ручного труда // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 3 (64). – С. 176–181. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1960>. Доступ 19.01.2022.
8. Ивлиева И. А. Инновационные системы заполнения транспортных средств сыпучими грузами // Дни студенческой науки: Сб. материалов 48-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 06–16 апреля 2021 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 63–65. [Электронный ресурс]: <https://www.samgps.ru/science/uchenomu/konferentsii-i-granty/files/2021/%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8%202021.%20%D0%A2.%201.%20%D0%A2%D0%95%D0%A5%D0%9D%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%98%D0%95%D0%95%D0%9D%D0%A3%D0%9A%D0%98.pdf>. Доступ 19.01.2022.
9. Прусов М. В., Павлушин А. А., Курдюмов В. И. Теоретическое обоснование параметров процессов загрузки, хранения и выгрузки комбикормов // Вестник

Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1 (49). – С. 6–13. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-1-6-13.

10. Прусов М. В., Павлушин А. А., Курдюмов В. И. Оптимизация конструктивных параметров бункерного устройства // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3 (51). – С. 22–27. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-22-27.
11. Денисов В. В., Прусов М. В., Кожевников В. А. Контроль сегрегации при выполнении транспортно-складских операций с сыпучими грузами // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 1 (79). – С. 48–54. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43680651>. Доступ 19.01.2022.
12. Третьяков Г. М., Прусов М. В., Денисов В. В., Кононов И. И. Экспериментальные исследования хранилища сыпучих грузов в транспортно-технологических комплексах // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 5 (83). – С. 56–61. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44304111>. Доступ 19.01.2022.
13. Денисов В. В., Прусов М. В., Кожевников В. А. Современное состояние процесса перевозок зерновых грузов железнодорожным транспортом // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 109–111. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44551811>. Доступ 19.01.2022.
14. Кожевников В. А., Денисов В. В., Прусов М. В. Теоретические исследования процесса устранения зазоров мобильным устройством в бункерах для хранения и транспортировки сыпучих грузов // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 1 (67). – С. 37–44. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35332915>. Доступ 19.01.2022.
15. Прусов М. В. Совершенствование технического оснащения транспортно-складских комплексов для хранения и перегрузки сыпучих грузов // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 1. – С. 114–115. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37072690>. Доступ 19.01.2022.
16. Мишина С. А., Прусов М. В. Взаимодействие складского и транспортного комплекса в современных условиях // Молодёжная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых учёных, аспирантов, студентов и старшеклассников: в 3 частях, Самара–Оренбург, 05 апреля 2017 года. – Самара–Оренбург: ООО «Аэтерна», 2017. – С. 84–86. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30036728>. Доступ 19.01.2022.
17. Патент № 2219118 С1 Российская Федерация, МПК B65D 88/64. Бункер для сводообразующих сыпучих материалов: № 2002112529/12: заявл. 13.05.2002; опубл. 20.12.2003 / Г. М. Третьяков, В. С. Горюшинский, И. В. Горюшинский [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество «Промжелдортранс», Самарская государственная академия путей сообщения. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2219118C1_20031220. Доступ 19.01.2022. ●

Информация об авторах:

Денисов Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий грузовой и коммерческой работы, станций и узлов Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, Россия, vdenisoff@mail.ru.

Кононов Иван Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий грузовой и коммерческой работы, станций и узлов Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, Россия, ikonoenov@yandex.ru.

Прусов Максим Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий грузовой и коммерческой работы, станций и узлов Самарского государственного университета путей сообщения, Самара, Россия, mak-prusov@yandex.ru.

Статья поступил в редакцию 06.04.2022, одобрена после рецензирования 28.04.2022, дополнена 05.05.2022, принята к публикации 11.05.2022.





ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.1:656.225:629.45/46

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-7>

Управление поездообразованием. Часть 2

*Дмитрий Юрьевич Левин*

АО «НИИАС», Москва, Россия.

✉ levindu@yandex.ru.

Дмитрий ЛЕВИН

АННОТАЦИЯ

В номере публикуется вторая, заключительная часть статьи, в которой представлено видение подходов к созданию оптимальных условий поездной работы, регулированию загрузки сортировочных станций, их взаимодействию с грузовыми, перераспределению грузовой работы и предлагаются итоговые выводы.

Как отмечалось в аннотации к первой части статьи, выносимые на основе обобщения целого ряда результатов более ранних авторских исследований и публикаций и вновь сформулированных предложений на обсуждение изменения в управлении поездообразованием позволят принципиально по-новому оперативно руководить перевозочным процессом.

Ключевые слова: железная дорога, управление поездообразованием, нормативно-технологические документы, непроезводительные потери, оптимальные условия работы, оперативное управление перевозочным процессом.

Для цитирования: Левин Д. Ю. Управление поездообразованием. Часть 2 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 66–76.
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-7>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

Создание оптимальных условий поездной работы

Управление поездообразованием предусматривает создание условий, необходимых для выполнения графика движения, которые включают оценку насыщения участков поездками, прогнозирование подхода поездов, решение задачи по регулированию насыщения участка поездками, разработку мер по недопущению и ликвидации заторов в движении поездов.

В ходе моделирования плана составообразования появляется возможность учитывать насыщение участков поездками в зависимости от режима поездной работы (рис. 4)¹.

Нормальный режим поездной работы (рис. 4, область 1) характеризуется выполнением нормативов графика движения поездов. В оптимальном режиме (рис. 4, область 2) к тому же реализуются максимальные размеры движения. Утяжелённый режим (рис. 4, область 3) характеризуется перенасыщением участка поездками. В тяжёлом режиме (рис. 4, область 4) перенасыщение участка поездками приводит к дефициту режима работы локомотивных бригад и необходимости «бросания» поездов на промежуточных станциях. При аварийном режиме (рис. 4, область 5) прекращается движение поездов из-за отказов инфраструктуры и подвижного состава или сдвига груза на открытом подвижном составе.

В зависимости от режима работы участков в процессе моделирования составообразования решаются задачи управления поездной работой по обеспечению соблюдения установленных нормативов графика движения и предотвращения перенасыщения участков поездками. Создание и поддержание оптимальных условий поездной работы является одной из задач управления поездообразованием, с помощью которой будет регулироваться насыщение участков поездками.

Увеличение числа поездов на участке сверх максимального графика не только не способствует увеличению размеров движения, но и не позволяет выполнить нормативы графика и ухудшает использование пропускной способности участка [20].

Управление насыщением участков поездками заключается в недопущении нахождения на участке большего числа поездов, чем

максимально одновременно допускается. Максимальное число поездов, которое одновременно может находиться на участке, определяется вертикальным разрезом максимального графика движения. Максимальным графиком движения называется график, в котором «нитки» поездов проложены с минимальными интервалами [21].

Рассмотрим определение максимального числа поездов, которое одновременно может находиться на участке при параллельном двухпутном графике. На рис. 5 в прямоугольном треугольнике abc наклон гипотенузы ab («нитка» графика) характеризует скорость движения поездов и определяет острый угол α . Катет ac соответствует межпоездному интервалу. Катет bc – доля вертикального разреза, приходящаяся на один поезд (L_1). Тригонометрическая функция острого угла α отношения противолежащего катета bc к прилежащему ac соответствует тангенсу $\operatorname{tg} \alpha$. Решение прямоугольного треугольника abc напомним в железнодорожных обозначениях:

$$\operatorname{tg} \alpha = L_1 / I = V_x,$$

$$\text{или } L_1 = I \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

$$L_2 = 2I \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

$$\dots$$

$$L_n = n'' I \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

$$n'' = \frac{L_n}{I \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

$$\text{или } n'' = \frac{L_n}{I \cdot V_x},$$

где n'' – максимальное количество поездов для чётного направления;

L_n – длина участка (вертикальный разрез);

I – минимальный межпоездной интервал;

V_x – ходовая скорость поездов.



Рис. 4. Режимы поездной работы:
1 – нормальный, 2 – оптимальный,
3 – утяжелённый, 4 – тяжёлый,
5 – аварийный [выполнено автором].

¹ Используется сквозная нумерация рисунков, начатая в первой части статьи.



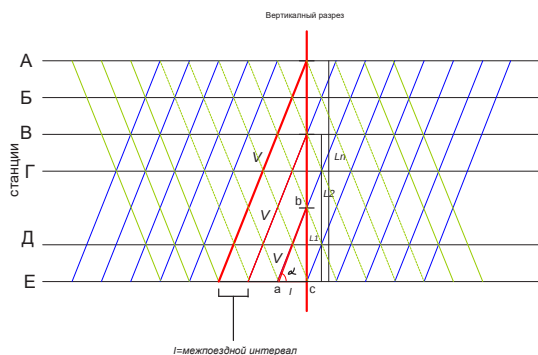


Рис. 5. Фрагмент графика движения чётных поездов и тригонометрия вертикального разреза [выполнено автором].

Регулирование загрузки сортировочных станций

Современный технологический процесс работы сортировочной станции содержит две составляющие: последовательность операций и нормы времени на их выполнение. Реальная оперативная работа существенно отличается от нормативного суточного плана-графика. Анализ прибытия поездов на сортировочные станции по часовым периодам свидетельствует о значительной внутрисуточной неравномерности. Например, на станции Бекасово-Сортировочное, Орехово-Зуево и Свердловск-Сортировочный диапазон колебаний прибытия мог в своё время составлять от 0 до 10 поездов в час. К чему это приводит? В отдельные периоды из-за отсутствия составов простаивает сортировочная горка и невосполнимо теряется перерабатывающая способность. В другое время, в связи со сгущённым прибытием поездов составы простаивают в ожидании роспуска с сортировочной горки, и увеличивается время нахождения вагонов на станции [22].

Таким образом, чтобы максимально использовать перерабатывающую способность сортировочной горки при минимальном вре-

мени нахождения вагонов на станции, необходимо заблаговременно сопоставлять и приводить в соответствие поступление поездов и перерабатывающую способность горки. Тем самым создавать и поддерживать оптимальные условия работы сортировочной станции.

Условия работы сортировочных станций в каждый момент времени характеризуются режимом, который определяет количественные и качественные показатели работы станции.

Режим работы сортировочной станции зависит от объёма переработки вагонов, интенсивности и равномерности подхода поездов, своевременности обеспечения сформированных составов локомотивами, вывоза поездов и определяет своевременность приёма и отправления поездов, наличие межоперационных простоев вагонов.

Нормальный режим (рис. 6, область 1) характеризуется условиями работы станции, при которых отсутствуют задержки поездов по неприёму и межоперационные простои вагонов, соблюдаются нормы на выполнение технологических операций, и увеличение объёма переработки приводит к сокращению времени нахождения вагонов на станции. При нормальном режиме, в котором происходит поездная, сортировочная и маневровая работа, выполняются график движения поездов, технологический процесс работы станции и своевременная постановка локомотивов на техническое обслуживание.

Если в нормальном режиме обеспечивается минимальное время нахождения вагонов на станции или минимальные эксплуатационные затраты при отсутствии задержанных поездов по неприёму, то такой режим называется оптимальным (рис. 6, область 2).

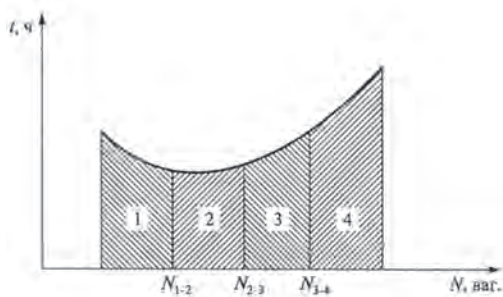


Рис. 6. Режимы работы сортировочной станции [выполнено автором].

Утяжелённый режим (рис. 6, область 3) характеризуется условиями работы станции, когда имеются межоперационные простои, которые могут усугубляться неравномерным подходом поездов, несвоевременным обеспечением составов локомотивами и отправлением со станции. Возникают периодические задержки поездов по неприёму. Увеличение объёма переработки вызывает возрастание времени нахождения вагонов на станции и эксплуатационных расходов. Отклонения затрат времени на выполнение технологических операций вызывает трудности в текущем планировании работы станции.

Тяжёлый режим (рис. 6, область 4) характеризуется увеличением межоперационных простоев, постоянными задержками поездов по неприёму и содержанием избытка вагонного парка. Если своевременно не ликвидировать тяжёлый режим работы станции, то начнут ещё больше возрастать межоперационные простои, количество и продолжительность задержек поездов по неприёму, возникнет нехватка поездных локомотивов.

Заблаговременно создавать и поддерживать оптимальные условия работы сортировочных станций позволяет такое управление поездообразованием, когда на стадии моделирования процесса накопления составов приводятся в соответствие поступление поездов на станциях назначения и перерабатывающая способность их сортировочных горок.

Взаимодействие сортировочных и грузовых станций

Оперативное управление поездообразованием позволяет устранить существующие недостатки в организации местной работы и обеспечить своевременный подвод вагонов к грузовым станциям. Максимальное использование погрузочных и выгрузочных способностей грузовых фронтов достигается, когда после окончания грузовых операций вагоны сразу убирают с грузовых фронтов и подают следующие группы вагонов. Своевременное наличие на станциях этих подач вагонов для грузовых фронтов и должно быть целью местной работы. Отсутствие вагонов на станции к моменту подачи на грузовой фронт приводит к невосполнимой потере выгрузочных возможностей. То есть оперативное управление поездообразованием должно обеспечивать наличие на станциях вагонов

для своевременной и полной подачи их на грузовые фронты. Эти условия характеризуют оптимальный режим работы грузовых фронтов, при которых реализуются максимальные размеры грузовой работы [23].

В математической постановке такую задачу целесообразно сформулировать в терминах распределения потоков на графах (рис. 7). В этом случае адекватной математической моделью организации работы с местными вагонами служит взвешенный граф, «весом» вершин первой доли которого является прогнозное время прибытия вагонов на станцию. При этом нумерация вершин возрастает в течение планируемого периода (например, смены, суток). «Весом» вершин третьей доли графа является время подачи вагонов на грузовой фронт, который определяется частным от деления продолжительности планируемого периода на время выполнения грузовых операций. Стохастически складывающееся прогнозное прибытие вагонов на станцию, не увязанное с выполнением грузовых операций, не всегда обеспечивает максимальное использование выгрузочной способности грузовых фронтов, т.е. часть времени последние простаивают в ожидании работы, а часть времени при сгущённом прибытии вагоны простаивают в ожидании подачи. Для своевременного обеспечения графика подач вагонов на грузовой фронт строят искомую вторую долю графа, «веса» вершин которой характеризуют необходимые моменты времени поступления вагонов на станцию. Последние могут совпадать с прогнозным временем при своевременном прибытии или необходимо более раннее прибытие вагонов на станцию. В этом случае «вес» вершин (время прибытия) определяется разностью времён подачи вагонов на грузовой фронт по графику и необходимым на выполнение технологических и маневровых операций.

Таким образом, задача отыскания «весов» вершин второй доли графа сводится к синтезированию дуг, соединяющих вершины различных долей графа, и вычислению потоков на них, чтобы реализовывалось решение между истоками (прогнозное прибытие вагонов на станцию) и стоками графа (заявка на подачу вагонов под выгрузку в планируемый период) при достижении на множестве дуг этого графа экстремума функционала:

$$F = \min \{M, P\}, \quad (4)$$



Исходные данные примера [составлено автором]

Прогноз прибытия вагонов на станцию	Очередность прибытия	1	2	3	4	5	6	7	8
	Время	17:30	21:00	2:00	7:00	8:00	10:00	11:00	12:00
	Число вагонов	30	15	10	40	15	20	50	40
Расписание подачи вагонов на грузовой фронт	Номер подачи	1	2	3	4	5	6		
	Время	20:00	0:00	4:00	8:00	12:00	16:00		
	Число вагонов	40	20	20	40	40	60		

где М – наличие местных вагонов для каждого грузового фронта;

Р – выгрузочная способность грузового фронта.

Для реализации функционала (4) рассмотрим алгоритм, предварительно введя следующие обозначения: S – исток графа; Т – сток графа; i, j, k – вершины соответственно первой, второй и третьей долей графа; N – поток вагонов на дугах между долями графа; N_{si} – прогнозный поток прибытия вагонов на станцию; N_{kt} – максимальное число вагонов в подаче на грузовой фронт; $t_{гр}$ – текущее время наиболее позднего прибытия вагонов на станцию для использования в определённой подаче на грузовой фронт; $t_{и}$ – время подачи вагонов на грузовой фронт; $t_{техн}$ – технологическое время от прибытия вагонов на станцию до подачи на грузовой фронт.

Алгоритм выполнения расчётов приводит в упорядоченное состояние поток прибытия вагонов на станцию с тем, чтобы обеспечить максимально возможный размер выгрузки, и определяет требуемый для этого график их поступления. Оптимальному графику поступления вагонов на станцию соответствует нахождение «весов» вершин второй доли графа.

Алгоритм выработки требований к поступлению местных вагонов на станцию выгрузки:

1. Положим $i = k = 1, j = 0$.
2. Если $N_{si} < N_{kt}$, то идти к п. 4; если $N_{si} = N_{kt}$, то – к п. 5; если, $N_{si} > N_{kt}$ то – к п. 3.
3. Вычислим $N_{si} = N_{si} - N_{kt}$; $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{kt}$; $t_i = \min \{t_{i,k} - t_{техн}\}$; $k = k + 1$. Если $k > k_{max}$, то идти к п. 6, иначе – к п. 2.
4. Вычислим $N_{kt} = N_{kt} - N_{si}$; $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{si}$; $t_j = \min \{t_{i,k} - t_{техн}\}$; $i = i + 1$. Если $i > i_{max}$, то идти к п. 6, иначе – к п. 2.
5. Вычислим $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{si}$; $t_j = \min \{t_{i,k} - t_{техн}\}$; $k = k + 1$. Если $k > k_{max}$, то идти к п. 6, иначе $i = i + 1$. Если $i > i_{max}$, то идти к п. 6, иначе – к п. 2.
6. Составляем график поступления вагонов на станцию для всех значений i и k , $t_j = \min \{t_{i,k} - t_{техн}\}$.

Пример. Оптимизировать прибытие вагонов на станцию для грузового фронта с выгрузочной способностью 220 вагонов в сутки (рис. 7). Время выполнения технологических и маневровых операций от прибытия вагонов на станцию до подачи на грузовой фронт 2 часа. В таблице 3 задан прогноз прибытия местных вагонов на станцию и расписания подачи на грузовой фронт.

Оптимизация предполагаемого поступления местных вагонов для отдельных грузовых фронтов обобщается в целом для станций участка. С учётом проследования местных вагонов до станции выгрузки определяется необходимое время отправления их с технических станций (рис. 8). Возможность более раннего отправления местных вагонов с технической станции зависит от прогноза времени прибытия на неё. Проверка заключается в сопоставлении времени, необходимого на выполнение технологических операций по переработке вагонов на станции и имеющегося от прибытия до отправления. В результате этой проверки выявляются вагоны, которые могут быть отправлены с технической станции раньше прогнозного времени. Другими словами, выявляются ситуации, когда местные вагоны простаивают на технической станции, а в это время на грузовых станциях отсутствуют вагоны для подачи на грузовые фронты.

В результате автоматизации оперативного планирования местной и грузовой работы разрабатывается оперативный план развоза местных вагонов по станциям и подачи их на грузовые фронты. Такой план включает технологию формирования и график движения поездов с местными вагонами и позволяет контролировать ход его выполнения. Вагоны, поданные на грузовые фронты с полными сроками на выполнение грузовых операций до конца смены или суток, составляют планируемый размер выгрузки за соответствующий период времени. Дополнительно поступающие в течение суток местные вагоны

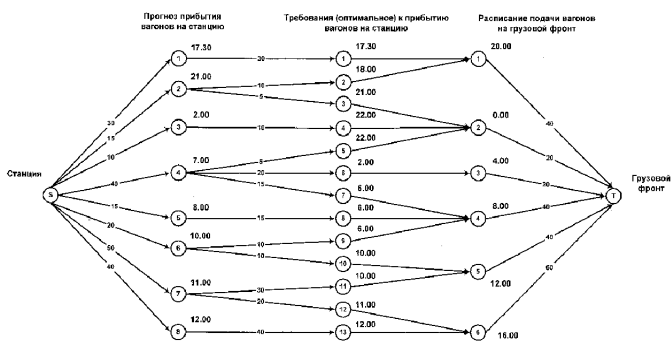


Рис. 7. Потокосная модель оптимизации прибытия местных вагонов на станцию выгрузки [выполнено автором].

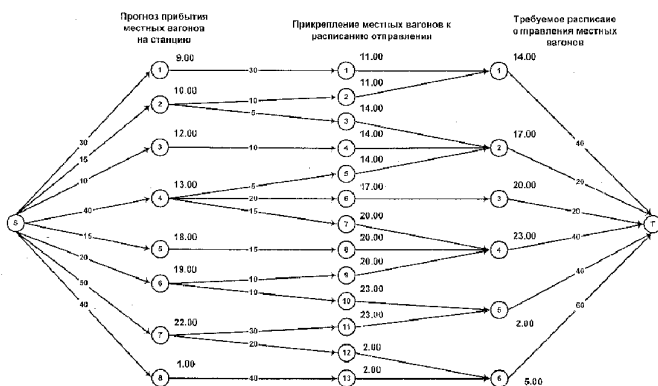


Рис. 8. Потокосная модель оптимизации отправления местных вагонов с технической станции [выполнено автором].

используются для заполнения неполных под-
дач на грузовые фронты.

Оперативное управление поездообразова-
нием даст возможность значительно повысить
эффективность управления перевозочным
процессом за счёт действительного перехода
от информационных к управляющим автома-
тизированным системам.

Средства управления составообразованием

Моделирование процесса накопления
составов различной длины и веса позволяет
регулировать продолжительность и моменты
завершения накопления составов.

На рис. 9 показано влияние числа вагонов
в формируемых составах на параметр накоп-
ления, а на рис. 10 – влияние изменения
длины состава m на минимальный размер
вагонопотока, который выгодно выделять в
самостоятельное назначение.

Использование отклонений от установ-
ленной величины составов позволяет регу-
лировать затраты времени накопления

(рис. 11) и параметры накопления составов
(рис. 12).

При увеличении допускаемых отклонений
от установленной длины составов сокраща-
ются затраты вагоно-часов на накопление
(рис. 13), причём тем интенсивнее, чем боль-
ше отклонения. Это связано с увеличением в
процессе накопления числа интервалов
между накапливаемыми составами (рис. 14)
средними величинами замыкающей (рис. 15)
и завершающей (рис. 16) групп вагонов. Но
сокращение затрат вагоно-часов на накопле-
ние при увеличении допускаемых отклонений
от установленной длины составов приводит
к росту размеров движения поездов (рис. 17),
а это при высоком уровне заполнения про-
пускной способности направлений приводит
к снижению участковой скорости (рис. 18).

В связи с изменением условий движения
поездов на участке (рис. 20) стало очевидно,
что при определении допускаемых отклоне-
ний от установленной длины составов при
формировании поездов необходимо сопостав-
лять сокращение затрат вагоно-часов на на-



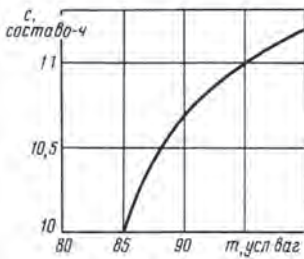


Рис. 9. Зависимость параметра накопления с от среднего числа вагонов m в формируемых составах [выполнено автором].

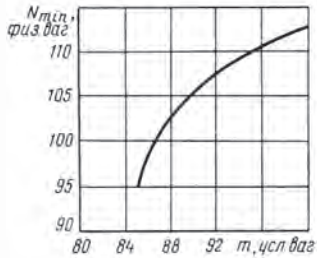


Рис. 10. Зависимость минимального вагонопотока, выгодного для выделения в отдельное назначение $N_{\min}$, от среднего числа вагонов m в составе [выполнено автором].

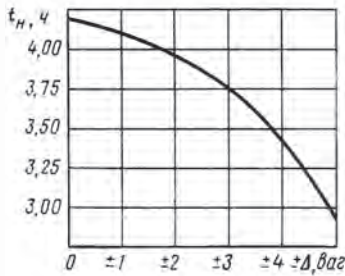


Рис. 11. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на время накопления t_n [выполнено автором].

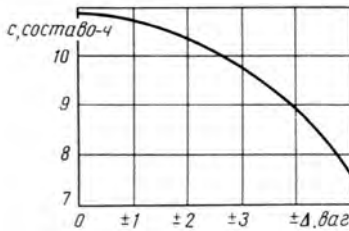


Рис. 12. Взаимозависимость допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ и параметра накопления c [выполнено автором].

копление с увеличением вагоно-часов в движении, а также локомотиво- и бригадо-часов, приведённых к стоимости 1 вагоно-часа:

$$\Delta N t_n = \Delta t_{\text{де}} n m_{\phi} + \frac{\Delta t_{\text{лок}} e_{MH} + \Delta t_{\text{бр}} e_{Mh}}{e_{nH}},$$

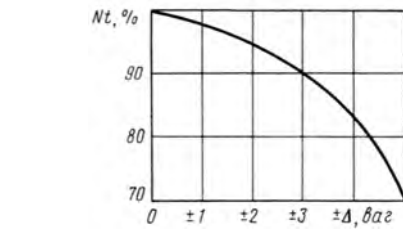


Рис. 13. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на затраты вагоно-часов накопления N_t [выполнено автором].

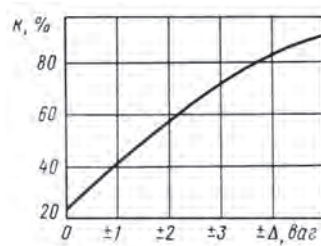


Рис. 14. Взаимозависимость размера допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ и доли интервалов между составами в процессе накопления [выполнено автором].

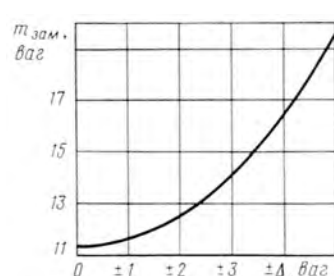


Рис. 15. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на среднюю величину замыкающей группы $m_{\text{зам}}$ [выполнено автором].

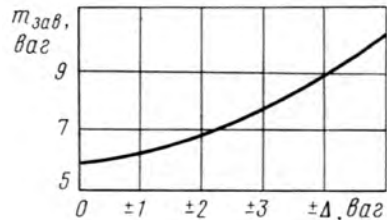


Рис. 16. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm\Delta$ на среднюю величину завершающей группы $m_{\text{заб}}$ [выполнено автором].

$$\text{или } \Delta c m \geq \Delta t_{\text{де}} n m_{\phi} + \frac{\Delta t_{\text{лок}} e_{MH} + \Delta t_{\text{бр}} e_{Mh}}{e_{nH}},$$

где $\Delta N t_n = \Delta c m$ – сокращение затрат вагоно-часов на накопление составов;

$\Delta t_{\text{дв}} = \Delta v_{\text{уч}} / L$ увеличение времени нахождения поездов на участке;

n – размеры движения поездов на участке;
 m_{ϕ} – фактическое число вагонов в поездах;
 $\Delta v_{уч}$ – уменьшение участковой скорости движения поездов;
 L – длина участка.

Рассмотрим, например, целесообразность увеличения допускаемых отклонений от установленной длины составов 50 вагонов с ± 1 до ± 3 при затратах на накопление 550 вагоно-часов в сутки, размерах движения на участке 80 поездов, длине участка 200 км. По графику (рис. 11) определяем, что затраты вагоно-часов на накопление сократятся на 7,7 %, или на 42,35 вагоно-часа, размеры движения (рис. 17) увеличатся на 7,6 поездов, а это вызовет уменьшение участковой скорости (рис. 3 (2,3)) на 2,5 км/ч, т.е. увеличит время нахождения поездов на участке на 0,19 ч. Таким образом, сокращение вагоно-часов накопления составов (на 42,35 вагоно-ч) превышает увеличение времени нахождения вагонов в движении на 9,5 вагоно-ч. Значит, на данном участке целесообразно увеличить допускаемые отклонения от установленной длины составов на ± 3 вагона. Если же использование пропускной способности достигло высокого уровня, целесообразно формировать составы одновременно полные по длине и весу, чтобы не вызывать дальнейшего увеличения размеров движения поездов.

При формировании составов из гружёных вагонов в процессе накопления участвует весь вагонопоток данного назначения. Особенность формирования составов из порожних вагонов – изъятие их в процессе накопления для погрузки на станции и прилегающих участках. Таким образом, грузовые станции, как правило, отправляют меньше порожних вагонов, чем выгружают, а технические – меньше, чем получают. На грузовых станциях параметр накопления составов из порожних вагонов c_n при одном назначении рекомендовалось принимать равным 7. Однако на величину c_n влияют размеры грузовой работы на станции. Суточный порожний вагонопоток N_n представляет собой разность между объёмами выгрузки и погрузки определённого рода вагонов. Поэтому суточный вагонопоток, например, 50 вагонов можно получить при выгрузке 50 вагонов, а также при выгрузке 500 и погрузке 450 вагонов. Затраты на накопление в обоих случаях $c_n m_n = 7 \cdot 50 = 350$ вагоно-ч. Однако в первом случае суточные затра-

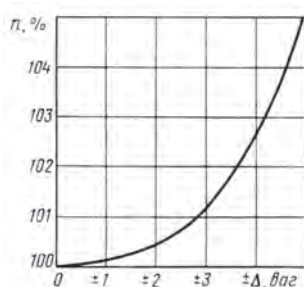


Рис. 17. Влияние допускаемых отклонений от установленной длины составов $\pm \Delta$ на число накапливаемых составов [выполнено автором].

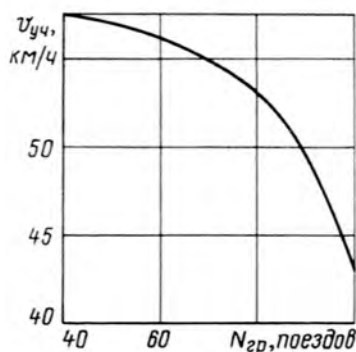


Рис. 18. Изменение участковой скорости в зависимости от размеров движения грузовых поездов [выполнено автором].

ты на накопление фактически составляют $c_n m_n = N_n t_n = 50 \cdot 12 = 600$ вагоно-ч, а во втором – можно, сконцентрировав подвод после выгрузки групп вагонов или целых маршрутов, ускорить процесс накопления в отдельных случаях до минимума – $t_n = 1,2$ ч, и тогда затраты на накопление будут в несколько раз меньше, чем в первом случае, т.е. $N_{пор} t_n = 50 \cdot 1,2 = 60$ вагоно-ч.

В соответствии с необходимым условием для маршрутизации при значении показателя $\sum T_{эк} + \sum T_{эк}^{ст} + t_{назн} = 6$ приведённых вагоно-ч/вагон в первом случае нецелесообразно маршрутизировать порожний вагонопоток, поскольку $50 \cdot 6 < 600$, а во втором целесообразно, так как $50 \cdot 6 > 60$. Существовавшая ранее методика определения затрат на накопление не учитывала этих особенностей образования порожнего вагонопотока. Поэтому в обоих рассмотренных случаях было целесообразно формировать порожние маршруты $(50 \cdot 6) < 350$. Следовательно, время накопления составов из порожних вагонов зависит не только от величины суточного вагонопотока, но и от размеров грузовой работы на станциях. На основе исследований



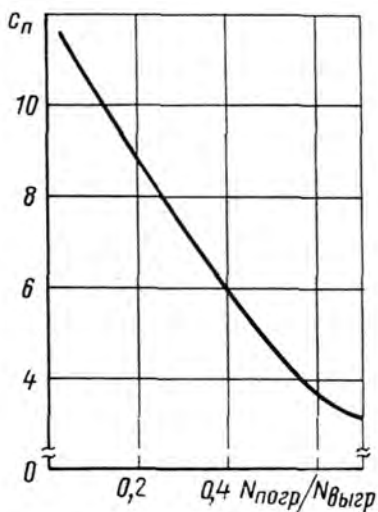


Рис. 19. Зависимость параметра накопления составов из порожних вагонов c_n от размеров грузовой работы [выполнено автором].

особенностей процесса накопления составов из порожних вагонов была получена формула накопления:

$$c_n = \frac{(N_{\text{выгр}} - N_{\text{погр}})^2 t_n}{N_{\text{выгр}} m_n} + 0,76e^{1,338 \left(1 + \frac{N_{\text{погр}}}{N}\right)}.$$

Для облегчения её практического применения, на рис. 19 представлена графическая зависимость значений параметра накопления порожних составов от соотношения размеров грузовой работы станций.

Перераспределение сортировочной работы

При наличии диспетчера по организации вагонопотоков при несоответствии интенсивности подвода поездов и возможности их переработки появится возможность временного перераспределения сортировочной работы между техническими станциями. Причём это несоответствие может возникнуть как из-за изменения интенсивности подвода поездов к станции, так и перерабатывающей способности. Последнее может быть вызвано изменением числа находящихся в работе сортировочных путей, несвоевременным вывозом поездов со станции, ремонтными работами на горке и т.д. Потребность перераспределения сортировочной работы возникает при составлении и корректировке плана формирования поездов, сменно-суточном планировании поездной работы, ремонтно-строительных работах на станциях и перегонах. Методы перераспределения вагонопотоков для этих задач одни и те

же. Рассмотрим их на примере регулирования загрузки технических станций в оперативном планировании поездной работы. Следует сразу отметить, что предлагаемый способ уменьшения объёма переработки вагонов на одной из станций не вызывает её увеличения на такую же величину на других станциях. Как правило, это сопровождается снижением общего объёма переработки вагонов.

Сортировочная работа перераспределяется за счёт выделения струй вагонопотоков в дополнительные более дальние назначения, чем предусмотрено планом формирования, либо перераспределения вагонов между назначениями поездов. Формирование дополнительных более дальних назначений поездов целесообразно как при возрастании вагонопотока (N), обеспечивающем превышение экономии от пропуска поездов без переработки на попутных технических станциях ($T_{\text{эк}}$) над затратами на накопление составов (cm), так и при увеличении $T_{\text{эк}}$ в связи с возросшим объёмом переработки и сокращением затрат на накопление составов при сгущённом поступлении вагонов. Изменения мощности струй вагонопотоков или нормативов плана формирования являются достаточным основанием для выделения дополнительных назначений, когда $N \cdot T_{\text{эк}} \geq cm$.

Изменение загрузки сортировочных станций за счёт перераспределения вагонов между назначениями поездов основано на том, что струи вагонопотоков, выделенные в самостоятельные назначения, часто значительно превышают достаточную для этого минимальную величину. В то же время смежным с ними более коротким струям для целесообразности выделения в отдельные назначения не хватает незначительного числа вагонов. Поэтому их объединяют с ещё более короткими струями, и вагонопотоки дополнительно перерабатывают на попутных технических станциях. При необходимости уменьшения загрузки попутных технических станций транзитность поездов может быть повышена перераспределением вагонов между смежными струями вагонопотоков благодаря некоторому разукрупнению более дальних назначений для пополнения коротких струй. В общем виде целесообразность выделения в отдельные назначения струй вагонопотоков, пополняемых за счёт более дальней струи, отвечающей достаточному условию, определяется неравенством:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l N_i T_{\text{эк } j} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l N_i^{\text{нед}} T_{\text{эк } j} > \left[(k-1) + \frac{N_{\text{Д}} - \sum_{i=1}^n N_i^{\text{нед}}}{N_{\text{Д}}} \right] \text{см}, \quad (5)$$

где $N_{\text{Д}}$ – струя вагонопотока, удовлетворяющая достаточному условию;

N_i – размер струи i , пополняемой вагонами назначения $N_{\text{Д}}$;

$T_{\text{эк } j}$ – получаемая или ликвидируемая приведённая экономия вагоно-часов при пропуске вагонопотока i без переработки на станции;

$N_i^{\text{нед}}$ – недостаток вагонов в струе i для выполнения достаточного условия;

k – число дополнительных назначений поездов.

Для пополнения могут использоваться струи вагонопотоков, первоначально удовлетворяющие достаточному условию, но у которых избыток вагонов меньше недостатка в смежной струе. Это объясняется тем, что уменьшение дальней струи вагонопотока N_1 для пополнения ближней струи на $N_2^{\text{нед}}$ в достаточном условии выгоды выделения N_1 :

$$(N_1 - N_2^{\text{нед}}) T_{\text{эк}}^{\text{Д}} \geq \left(\frac{N_1 - N_2^{\text{нед}}}{N_1} \right) \text{см},$$

одинаково влияет на изменение величин правой и левой частей неравенств, не меняя их соотношения.

Последовательность выполнения расчётов при перераспределении сортировочной работы между техническими станциями:

1. Выявляют струи вагонопотоков, удовлетворяющие достаточному условию, выделенные в транзитные назначения поездов через рассматриваемую станцию.

2. Выявляют струи вагонопотоков, удовлетворяющие необходимому условию, которые после пополнения смогут проследовать станцию без переработки.

3. Из струй, удовлетворяющих необходимому условию, выделяют такие смежные, с которыми более дальние струи удовлетворяют достаточному условию.

4. Для струй вагонопотоков, выделенных согласно п. 3, находят недостающие вагоны для выполнения достаточного условия.

5. Выявленные в п. 4 струи, пополненные недостающим числом вагонов, проверяют на выполнение достаточного условия (5).

В качестве информационного обеспечения оперативного перераспределения сортировочной работы используется заблаговременное моделирование процесса накопления составов. Рациональное перераспределение сортировочной работы способствует созданию оптимальных условий функционирования участков и станций, повышает транзитность вагонопотоков. Перераспределять сортировочную работу между станциями рассмотренным способом можно как при расчёте и корректировке плана формирования, так и при оперативном планировании поездной работы, когда уже возникли или прогнозируются затруднения с переработкой вагонов на некоторых станциях. Период времени, на который перераспределяется сортировочная работа, зависит от возможной продолжительности прогнозируемых затруднений.

ВЫВОДЫ

Планирование составаобразования – ключевая задача оперативного управления перевозочным процессом. Поэтому замена пассивного, неуправляемого процесса накопления составов диспетчерским управлением поездообразованием позволяет ликвидировать существующую неопределённость и стихийность эксплуатационной работы железных дорог.

Оперативное управление поездообразованием позволяет значительно расширить перечень задач, решаемых планом формирования поездов. Кроме установления назначения формируемых поездов, периодически неэффективных, организация вагонопотоков оперативно адаптируется к реальной эксплуатационной обстановке, заблаговременно регулируется время завершения накопления составов в соответствии с обеспечением их локомотивами и «ниток» графика движения поездами, предоставляется исходная информация для оптимизации использования поездных локомотивов, регулируется насыщение участков поездами и содержание вагонных парков на станциях.

Определены характеристики оптимальных условий работы участков и станций. Прогнозирование режима работы участков и станций позволяет с помощью управления поездообразованием создавать наиболее эффективные условия поездной и сортировочной работы.





Для управления поездобразованием предусмотрены мероприятия диспетчерского воздействия, позволяющие влиять и определять эффективность перевозочного процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левин Д. Ю. Логистика перевозочного процесса железных дорог. Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 1–2 (92–93). – С. 21–27. [Электронный ресурс, платный доступ]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46108214>.
2. Кобзев С. А. Инструмент повышения эффективности // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 4–7. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841041>. Доступ 19.01.2022.
3. Шилов А. Н. Об основных результатах описания бизнес-процесса «транспортно-логистическая деятельность» // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 8–15. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841042>. Доступ 19.01.2022.
4. Рахимжанов Д. М. Выстраивая сквозной процесс перевозочной деятельности // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 16–19. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841043>. Доступ 19.01.2022.
5. Левин Д. Ю. Организация вагонопотоков на железных дорогах: Монография – М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. – 443 с. [Электронный ресурс]: <https://umczdt.ru/books/1196/39298/>. Доступ 19.01.2022.
6. Шапкин И. Н., Левин Д. Ю. Оптимальное управление поездобразованием на железнодорожном транспорте // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России: Труды международной научно-практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2021 года / Отв. редактор А. Ф. Бородин, сост. Р. А. Ефимов. – М.: Российский университет транспорта, 2021. – С. 175–191. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46552761>. Доступ 19.01.2022.
7. Левин Д. Ю. Обеспечение ниток графика движения поездами // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 9. – С. 14–17. [Электронный ресурс, платный доступ]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43873900>. Доступ 19.01.2022.
8. Левин Д. Ю. История техники. История развития системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие // М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. – 2014. – 468 с. ISBN 978-5-89035-755-7. (Дополнительные электронные ресурсы: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27908703>).
9. Xue, Feng; Xiaochen, Ma; Hu, Zuoan. Building a Railway Logistics Center Based on Freight Stations and Marshalling Yards. International Conference of Logistics Engineering and Management, September 2014. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Feng-Xue-11/publication/301430092_Building_a_Railway_Logistics_Center_Based_on_Freight_Stations_and_Marshalling_Yards/links/5ffdf1ec2299bf140888c85da/Building-a-Railway-Logistics-Center-Based-on-Freight-Stations-and-Marshalling-Yards.pdf. Доступ 19.01.2022. DOI: 10.1061/9780784413753.179.
10. Wenliang, Zhou; Xia, Yang; Jin, Qin; Lianbo, Deng. Optimizing the Long-Term Operating Plan of Railway Marshalling Station for Capacity Utilization Analysis. The Scientific World Journal, Vol. 2014, Article ID 251315, 13 p. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/251315/>. Доступ 19.01.2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/251315>.
11. Khoshniyat, Fahimeh. Simulation of Planning Strategies for Track Allocation at Marshalling Yards. Masterarbeit, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2012, 64 p. [Электронный ресурс]: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.491060.1550158510!/X12_032_report.pdf. Доступ 19.01.2022.
12. Левин Д. Ю. Диспетчерские центры и технология управления перевозочным процессом. – М.: Маршрут, 2005. – 759 с.
13. Левин Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: Монография. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2008. – 625 с. ISBN 978-5-89035-547-8.
14. Угрюмов А. К., Грошев Г. М., Кудрявцев В. А., Платонов Г. А. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
15. Левин Д. Ю. Диспетчеризация вагонопотоков: «управление по целям» // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 1. – С. 136–150. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1412>. Доступ 19.01.2022.
16. Хижняк А. В. Прогноз для станции. «Гудок» № 496 (26995) от 11 августа 2020 г. [Электронный ресурс]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1531032&archive=2020.08.11>. Доступ 19.01.2022.
17. Левин Д. Ю. Технологическая модернизация системы управления перевозками на железнодорожном транспорте: Дисс... д.т.н. – Москва, 2015. – 310 с.
18. Васильев И. И. Графики и расчёты по организации железнодорожных перевозок. – М.: Желдориздат, 1941. – 576 с.
19. Левин Д. Ю. Эксплуатация железных дорог в рыночных условиях // Экономика железных дорог. – 2019. – № 10. – С. 73–80. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41195841>. Доступ 19.01.2022.
20. Левин Д. Ю. Управление технологией перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. – М.: Инфра-М, 2017. – 286 с. [Электронный ресурс]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008686803>. Доступ 19.01.2022.
21. Левин Д. Ю. Потребности в перевозках и возможности железных дорог. – М.: Инфра-М, 2017. – 245 с.
22. Левин Д. Ю. Эксплуатационная работа железных дорог: аксиомы и закономерности. – М.: Инфра-М, 2017. – 330 с.
23. Левин Д. Ю. Организация местной работы. – М.: УМЦ по образованию на ж.д. транспорте, 2013. – 612 с. ●

Информация об авторе:

Левин Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, главный эксперт АО «НИИАС», Москва, Россия, levindu@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 21.09.2020, одобрена после рецензирования 25.01.2021, актуализирована 19.01.2022, принята к публикации 24.01.2022.

От редакции: Обзорная статья профессора, доктора технических наук Дмитрия Левина представляет собой авторское обобщение и новое осмысление более ранних трудов учёного. Учитывая многолетний опыт автора в разработке темы эксплуатации железных дорог, в том числе отражённый в многочисленных публикациях, работа, на наш взгляд, представляет большой интерес и практическую ценность, тем более что при стремительно растущих объёмах железнодорожных перевозок, проблема управления поездобразованием более чем актуальна.



Математические методы проверки достоверности данных о надёжности локомотивов, их эксплуатации и техническом обслуживании



Игорь ЛАКИН



Виктор МЕЛЬНИКОВ

**Игорь Игоревич Лакин¹,
Виктор Александрович Мельников²**

¹ АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), Москва, Россия.

² ООО «Кlover Групп», Москва, Россия.

✉ ¹ i.lakin@tmholding.ru.

✉ ² Lordson@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Целью статьи является описание предлагаемого авторами метода контроля достоверности исходных данных для управления надёжностью локомотивов и локомотивным хозяйством в целом. Показано, что вероятностно-статистические методы являются основой теории вариабельности предприятия Эдварда Деминга, позволяющей управлять качеством продукции предприятий, включая их надёжность.

В практике железнодорожного транспорта и локомотивного комплекса используемые среднестатистические данные на практике не являются однородными, что в популярных изданиях принято называть «средней температурой по больнице». Однородность данных определяется их унимодальностью, т.е. наличием в выборке одного процесса. Неудачное формирование выборки приводит к её бимодальности и даже мультимодальности.

Методом исследования, предложенным в статье, является проверка на унимодальность исходных данных на основании следствия закона больших чисел, согласно которому при увеличении числа данных однородные выборки стремятся к одному из законов распределения случайной величины: нормальному, экспоненциальному, логнормальному или другому известному закону. Следовательно, любая унимодальная выборка должна соответствовать критерию согласия, в качестве которого в статье предлагается использовать

критерий Пирсона («хи-квадрат», χ^2). Унимодальность данных предлагается оценивать через вероятность соответствия выбранному для рассмотрения закону распределения случайной величины, считая достаточной вероятность более 0,3 (30 %).

На примере данных эксплуатации локомотивов и данных бортовых микропроцессорных систем показаны данные, которые действительно не могут быть унимодальными, и указано на наличие данных, требующих изменения правил формирования выборки для достижения унимодальности. Например, при рассмотрении среднесуточных пробегов локомотивов по сериям по конкретным депо приписки при участии в одном виде движения (магистральное движение, вывозная или маневровая работа) достигается их унимодальность. Попытка укрупнить данные (взять несколько серий, несколько полигонов и др.) приводит к потере унимодальности.

В статье рассмотрена унимодальность данных бортовых микропроцессорных систем управления МСУ-ТП тепловозов серии 2ТЭ116У. Ожидаемое время работы по позициям контроллера машиниста оказалось относящимся к мультимодальным данным. Неожиданно унимодальным оказался ток тяговых электродвигателей независимо от ходовой позиции контроллера машиниста.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотивы, надёжность, проверка достоверности.

Для цитирования: Лакин И. И., Мельников В. А. Математические методы проверки достоверности данных о надёжности локомотивов, их эксплуатации и техническом обслуживании // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-8>.

**Полный текст статьи на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

ВВЕДЕНИЕ

Задача научной организации производства, управления качеством технологических процессов впервые была решена в конце XIX – в начале XX веков Фредериком Тейлором [1]. В начале XX века принципы управления качеством продукции и её себестоимостью научно и практически развил Генри Гант (наиболее известна «диаграмма Ганта», хотя это далеко не единственная и не основная его разработка). Качественно новый этап управления производством в середине XX века связан с именами Уолтера Шухарта и Эдварда Деминга, которые ввели в менеджмент обязательность применения принципа постоянного улучшения (цикл PDCA). Принимая за основу тезис о постоянной изменчивости производственной ситуации, Э. Деминг развил теорию вариабельности предприятий, сделав практику применения вероятностно-статистических методов в управлении обязательной [1].

Развитие теории Э. Деминга применительно к отечественному локомотивному комплексу во второй половине XX века выполнил выдающийся учёный, доктор технических наук (д.т.н.), профессор Игорь Петрович Исаев, который не только адаптировал математический аппарат к условиям транспорта, но и практически реализовал систему в локомотивном депо «Рыбное» [2]. И. П. Исаев разработал теорию применения вероятностно-статистических методов в исследовании надёжности локомотивов, которая развивалась его учениками и последователями [3]. Вероятностно-статистические методы стали обязательной частью учебного процесса [4].

Современный этап развития теории надёжности локомотивов связан с развитием средств вычислительной техники (IT-технологий). Под руководством д.т.н. Игоря Капитоновича Лакина создана автоматизированная система управления (АСУ) локомотивным хозяйством (АСУТ) [5] – основа системы управления локомотивным комплексом ОАО «РЖД». Как развитие АСУТ И. К. Лакиным и его учениками создана АСУ технического обслуживания и ремонта (ТОиР) локомотивов – АСУ «Сетевой график» (АСУ СГ) для управления ТОиР в 85 сервисных локомотивных депо группы компаний «ЛокоТех» [6; 7]. В АСУ СГ инкапсулированы научные положения менеджмента качества, Lean Production, TQM и др. [13–15], в результате подготовлено

пять кандидатских диссертаций и одна докторская.

С июля 2014 года ОАО «РЖД» перешло на сервисную систему ТОиР локомотивов, при которой сервисные компании (представители заводов-изготовителей) получают доход (выручку) не за выполненный объём ТОиР, а за полезный пробег локомотивов (руб./км). Предусмотрен понижающий коэффициент, если не обеспечен заданный в договоре сервисного обслуживания уровень надёжности (SLA). Все вновь покупаемые ОАО «РЖД» локомотивы поставляются по Контракту жизненного цикла (КЖЦ), где установлены более строгие требования к надёжности локомотивов. Определить на 40 лет вперёд затраты на ТОиР – трудная задача. Переход от бюджетной формы оплаты ТОиР к КЖЦ требует применения вероятностно-статистических методов: необходимо прогнозировать объём ТОиР как в рамках планово-предупредительной системы, так и для сверхцикловых неплановых работ из-за отказов, необходимости модернизации и др. Возрастает роль вариативных методов управления.

В процессе эксплуатации локомотивов, выполненная ими работа (в т·км, кВт·ч, млн км и др.) фиксируется в информационных системах ОАО «РЖД» [5]. Одновременно в бортовых микропроцессорных системах управления (МСУ) локомотива по информации с датчиков регистрируется информация о режимах работы оборудования, производится техническое диагностирование [6; 7]. Эта информация является исходной для организации ТОиР как планово-предупредительного с элементами предиктивного ремонта (с учётом фактического технического состояния локомотивов, выполненной ими работы).

При заходе локомотива в сервисное локомотивное депо (СЛД) на ТОиР выполняется анализ накопленной в процессе эксплуатации информации, производится дополнительное диагностирование при помощи переносных и стационарных систем (вибродиагностирование, измерение профиля бандажа, измерение сопротивления изоляции и др.). Используются также результаты визуального осмотра, замечания машиниста из бортового журнала. Вся информация собирается в электронной диагностической карте, которая является основанием для назначения сверхцикловых работ для устранения отказов

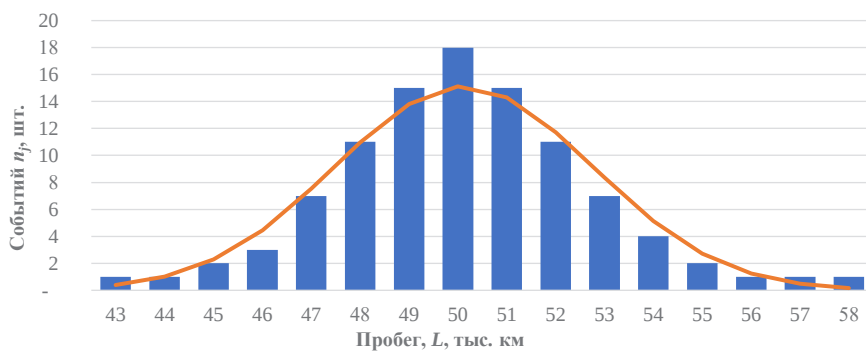


Рис. 1. Пример распределения межремонтного пробега, тыс. км (столбцы – фактические данные, график – теоретическое распределение).

и предотказных состояний. На каждую плановую и сверхцикловую работу выписывается электронный наряд, в котором фиксируются трудозатраты, полученные со склада материалы и запасные части, а в будущем – использованный при ТОиР инструмент и оборудование. Регистрируется простой локомотива на различных операциях. В результате в процессе эксплуатации и ТОиР локомотивов формируется комплексная база данных на протяжении всего жизненного цикла локомотивов по безбумажной технологии. Важно, что данные являются результатом процессов эксплуатации и ТОиР, а не вводятся вручную.

Информация жизненного цикла локомотивов нужна не только для управления производственными процессами ТОиР, но и для анализа эффективности организации эксплуатации и ТОиР локомотивов. Современная интероперабельная система АСУ конструирования, производства, эксплуатации и ТОиР локомотивов создаёт большой объём данных (Big Data), анализ которого не возможен без программируемых алгоритмов анализа. Но автоматизированная обработка данных имеет риск получения ложных заключений.

Марк Твен в книге «Главы моей биографии» процитировал премьер-министра Великобритании «Существуют три вида лжи: ложь, наглая ложь и статистика». Это широко известное выражение подчёркивает наличие рисков при формальной математической обработке данных. Один из них известен как «средняя температура по больнице»: смешивание разнородных данных. Со средней температурой ошибка очевидна. В практике локомотивного комплекса часто пользуются усреднёнными значениями для оценки эффективности эксплуатации и ТОиР локомотивов: участковая скорость, время простоя на ТОиР

и его ожидании, интенсивность отказов по видам оборудования, необходимая периодичность ТОиР по видам оборудования и др. Проверка на унимодальность при этом не производится. Поэтому, целью проводимого исследования работы является автоматизация процесса проверки статистических данных на достоверность.

В качестве метода исследования выбрана проверка распределения исследуемой величины на унимодальность, которая возможна по свойству закона больших чисел [4]: при увеличении выборки вероятность появления того или иного значения приближается к устойчивому значению.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Унимодальный процесс принимает вид стандартного распределения случайной величины: нормального, экспоненциального, логнормального или др.: оценить унимодальность можно по критерию согласия проверки гипотез. Рассмотрим пример распределения пробега локомотива L между ТР-1 (рис. 1 и табл. 1).

Сформировано четыре выборки с одинаковой пропорцией распределения, но с различным числом данных $N = \{100, 1000, 10\,000, 100\,000\}$. У распределений одинаковое математическое ожидание $L_n = 50,12$ тыс. км и почти одинаковое среднеквадратичное отклонение σ_n [4]:

$$L_n = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} L_{ni}, \quad (1)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N_{n-1}} \sum_{i=1}^{N_{n-1}} (L_n - L_{ni})^2}, \quad (2)$$

где L_n – математическое ожидание выборки $n \in N = \{100, 1000, 10\,000, 100\,000\}$;

L_{ni} – i -й пробег выборки $n \in N = \{100, 1000, 10\,000, 100\,000\}$;





Таблица 1

Примеры распределений межремонтного пробега [выполнена авторами]

i	L _i , тыс. км	Объём выборки фактический N				Теоретический объём выборки N _т				
		100	1 000	10 000	100 000	f(L _i)	100	1 000	10 000	100 000
1	43	1	10	100	1 000	0,0040	0	4	40	395
2	44	1	10	100	1 000	0,0102	1	10	102	1 024
3	45	2	20	200	2 000	0,0230	2	23	230	2 298
4	46	3	30	300	3 000	0,0446	4	45	446	4 465
5	47	7	70	700	7 000	0,0751	8	75	751	7 513
6	48	11	110	1 100	11 000	0,1095	11	110	1 095	10 951
7	49	15	150	1 500	15 000	0,1382	14	138	1 382	13 823
8	50	18	180	1 800	18 000	0,1511	15	151	1 511	15 111
9	51	15	150	1 500	15 000	0,1431	14	143	1 431	14 308
10	52	11	110	1 100	11 000	0,1173	12	117	1 173	11 733
11	53	7	70	700	7 000	0,0833	8	83	833	8 333
12	54	4	40	400	4 000	0,0513	5	51	513	5 126
13	55	2	20	200	2 000	0,0273	3	27	273	2 731
14	56	1	10	100	1 000	0,0126	1	13	126	1 260
15	57	1	10	100	1 000	0,0050	1	5	50	503
16	58	1	10	100	1 000	0,0017	0	2	17	174
	L _n	50,12	50,12	50,12	50,12					
	σ	2,64	2,63	2,62	2,6					

Таблица 2

Вероятность соответствия нормальному закону по χ² [выполнена авторами]

	Объём выборки фактический N			
N _n	100	1 000	10 000	100 000
χ ²	7	73	732	7 325
P _n	0,3	0	0	0

N_n – максимальное число данных в выборке n ∈ N.

По критерию согласия Пирсона вычисляется «хи-квадрат» χ²_n для каждой выборки n ∈ N:

$$\chi_n^2 = \sum_{i=1}^{N_n} \frac{(L_{ni} - L_{теор i})^2}{L_{теор i}}, \quad (3)$$

где L_{теор i} – теоретическое число попаданий в диапазон для нормального закона распределения случайной величины, вычисляемую по функции плотности распределения f(x) [4] (см. табл. 1):

$$L_{теор} = \int_{x_{n1}}^{x_{n2}} f(x) dx. \quad (4)$$

Вероятность соответствия нормальному закону P_n определяется по таблице Пирсона. В табл. 2 приведены результаты расчёта: только для N=100 есть значимая вероятность соответствия нормальному закону P₁₀₀ = 0,3.

Четыре одинаковых распределения имеют совершенно разную вероятность соответствия закону: вероятность соответствия край-

не чувствительна к объёму выборки. В практике локомотивного хозяйства выборки всегда будут разного объёма и зашумлённые даже при больших выборках. Ориентация на минимальную из них снизит объём полезной информации. Критерий Пирсона эффективен и чувствителен для строго унимодальных выборок и для инкапсуляции в АСУ не подходит.

Рассмотренный пример проверен по критерию согласия Колмогорова–Смирнова, согласно которому надо найти максимальное различие фактического L_{ni} и теоретического L_{теор i} распределений:

$$\Delta_{max} = \text{Max}(f_{\phi i} - f_{\pi i}), \quad (5)$$

где f_{φi} = N_i / N;

f_{πi} = N_{πi} / N_т;

N_i – число фактических попаданий в диапазон i;

N – размер эмпирической выборки;

N_{πi} – число теоретических попаданий в диапазон i;

N_т – размер контрольной выборки (N_т = N).



Рис. 2. Распределение времени работы ДГУ тепловоза по позициям [выполнено авторами].

Таблица 3

Вероятность соответствия нормальному закону по D_ϕ [выполнена авторами]

N	100	1000	10000	100000
$\Delta_{\max}$	0,029	0,029	0,029	0,029
D	0,2910	0,9139	2,8885	9,1341
P_n	0,9999	0,3791	0,00000018	0

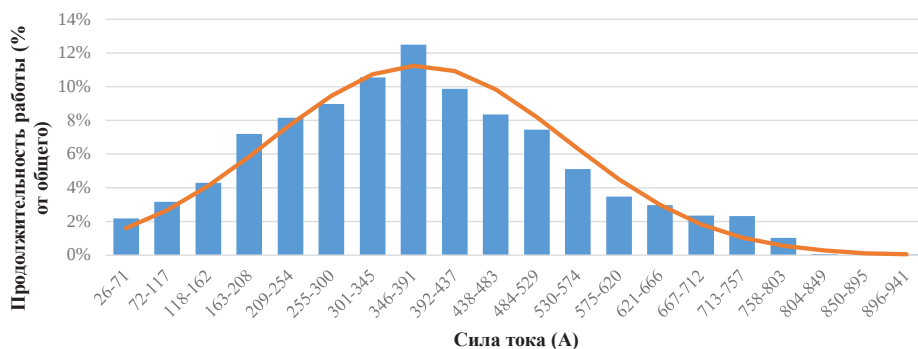


Рис. 3. Распределение тока ТЭД у тепловозов серии 2ТЭ116У [выполнено авторами].

Далее следует рассчитать показатель D , который для нормального закона:

$$D_\phi = \Delta_{\max} \cdot (N^{0,5} - 0,01 + 0,85 / N^{0,5}). \quad (6)$$

В табл. 3 приведены результаты расчёта: при увеличении выборки вероятность соответствия уменьшается медленнее, чем по критерию согласия Пирсона: при выборках менее 1000 проверка унимодальности по D_ϕ эффективна.

Проверка унимодальности данных внедрена авторами в практику их работы. Приведём примеры полученных на практике данных.

Один из важных показателей эксплуатации локомотивов – средняя участковая скорость движения. Анализ данных бортовых микропроцессорных систем управления (МСУ) показал наличие как минимум двух пиков. Например, у тепловозов серии 2ТЭ116У на Октябрьской ж.д. есть три пика – в диапазонах 18–25 км/ч, 34–41 км/ч и 50–

57 км/ч, на Приволжской – два: 42–49 км/ч и 58–65 км/ч, на Свердловской ж.д.: 26–31 км/ч, 68–73 км/ч.

Интересные данные получены авторами по работе дизель-генераторной установки тепловозов серии 2ТЭ116У за 3164 суток эксплуатации (рассмотрено 120 секций локомотивов на трёх полигонах эксплуатации). Распределение времени работы по позициям ожидаемо оказалось мультимодальным (рис. 2), но при этом ток тяговых электродвигателей оказался унимодальным (рис. 3).

В заключении следует отметить, что анализ мировых публикаций показывает, что в статистических материалах по железнодорожному транспорту уделяется недостаточно внимания проверке унимодальности данных, что снижает их достоверность [8–12]. Однако в целом задаче проверки достоверности данных посвящено большое число публикаций [13–15].



ВЫВОДЫ

1. Автоматизация процесса управления жизненным циклом локомотивов в целом и их техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) в частности позволяет инкапсулировать в программное обеспечение математические методы управления, включая вероятностно-статистические согласно теории вариабельности Эдварда Деминга.

2. При вероятностно-статистической обработке данных об эксплуатации локомотивов и их ТОиР перед принятием управляющих решений необходимо проверить данные на унимодальность как принадлежащие одному процессу. При бимодальном или мультимодальном процессе данные следует разделить на группы, добившись тем самым унимодальности.

3. Проверку на унимодальность в автоматизированных системах управления (АСУ) предлагается производить через проверку согласия гипотезы об унимодальном распределении как наличия значимой вероятности соответствия распределения рассматриваемого параметра одному из законов распределения случайной величины. Предпочтительным является критерий согласия Колмогорова–Смирнова.

4. Комплексный анализ данных эксплуатации и ТОиР параметров дизель-генераторных установок и тяговых электродвигателей локомотивов показал, что унимодальностью обладают данные одной серии локомотивов одного депо приписки при участии в одном виде движения (магистральное движение, вывозная или маневровая работа): местные условия эксплуатации, весовые нормы, профиль и скоростной режим приводят к потере унимодальности при попытке обобщить данные.

5. Выявленная унимодальность тока тяговых электродвигателей (ТЭД) тепловозов в режиме тяги по совокупности работы на всех тяговых позициях дизель-генераторной установки позволяет учитывать этот факт при конструировании ТЭД.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лакин И. К., Супрун В. Н. История создания систем менеджмента качества (СМК) и особенности их внедрения на железнодорожном транспорте. – Красноярск: КФ ИрГУПС, 2006. – 91 с.
2. Стрельников В. Т., Исаев И. П. Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов. – М.: Транспорт, 1980. – 207 с.
3. Горский А. В., Воробьев А. А. Надёжность электроподвижного состава. – М.: Маршрут, 2005. – 303 с.
4. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. – М.: Академия, 2000. – 464 с.
5. Лакин И. К., Смирнов Ю. В., Тимченко А. Ю. и др. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ. – М.: Отраслевой центр внедрения новой техники и технологий, 2002. – 516 с.
6. Липа К. В., Пустовой В. Н., Лянгасов С. Л., Лакин И. К., Аболмасов А. А., Лакин И. И., Мельников В. А. и др. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов. Теория и практика. – М.: ЛокоТех, 2015. – 212 с.
7. Лакин И. К., Пустовой В. Н., Аболмасов А. А. Автоматизированная система управления эксплуатационным жизненным циклом локомотивов // Тр. Всероссийской научно-практ. конференции с международным участием «Эксплуатация и обслуживание электронного и микропроцессорного оборудования тягового подвижного состава». – Красноярск: ДЦВ Красноярской ж.д., 2020. – С. 223–242. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42908916>. Доступ 24.03.2022.
8. Bonadero, A. Statistical methods and dynamic railway. Ingegneria Ferroviaria, December 2011, Vol. 66 (12), pp. 1087–1107.
9. Ghosh, Saptarshi; Banerjee, Avishek; Sharma, Naveen; Ganguly, Niloy; Bhattacharya, Saurav; Mukherjee, Animesh. Statistical Analysis of the Indian Railway Network: a Complex Network Approach. Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement, 2011, Vol. 2, pp. 123–137. DOI: 10.5506/APhysPolBSupp.4.123.
10. Railway Statistics. Indian Railways. 108 p. [Электронный ресурс]: <http://122.252.243.98/ZRT11/statistics.pdf>. Доступ 24.03.2022.
11. Reference Manual in Rail transport statistics. Eurostat. January 2021. [Электронный ресурс]: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/29567/3217334/Reference_manual_for_rail_transport_statistics%E2%80%9393version_10.4_%282021_edition%29.pdf/b152c85c-11d6-cff4-a1a8-d34bd4cac839?t=1610708187248. Доступ 24.03.2022.
12. Rail transportation occurrences in 2020. Transportation Safety Board of Canada. [Электронный ресурс]: <https://www.bst-tsb.gc.ca/eng/stats/rail/2020/sser-ssro-2020.html>. Доступ 24.03.2022.
13. Yi, Mike. A Complete Guide to Histograms. Chartio. [Электронный ресурс]: <https://chartio.com/learn/charts/histogram-complete-guide/>. Доступ 24.03.2022.
14. Unimodal Distribution: Overview. Statistics How To. [Электронный ресурс]: <https://www.statisticshowto.com/unimodal-distribution-2/>. Доступ 24.03.2022.
15. What Is Statistical Process Control? Infinity QS. [Электронный ресурс]: <https://www.infinityqs.com/resources/what-is-spc>. Доступ 24.03.2022. ●

Информация об авторах:

Лакин Игорь Игоревич – кандидат технических наук, руководитель направления по техническому управлению АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), Москва, Россия, i.lakin@tmholding.ru.

Мельников Виктор Александрович – специалист, старший эксперт, ООО «Кlover Групп», Москва, Россия, melnikov.viktor@corp.itclover.ru.

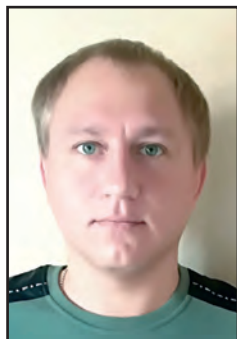
Статья поступила в редакцию 01.03.2022, одобрена после рецензирования 24.03.2022, принята к публикации 31.03.2022.



Вопросы интеграции Транскорейской и континентальной железных дорог



Тэк Енг ЛИ



Роман КОРОЛЬ

Тэк Енг Ли¹, Роман Григорьевич Король²

^{1,2} Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия.

✉ ² kingkhv27@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В период с 1990-х годов Правительство Республики Корея проводило планомерную политику по объединению железных дорог Корейского полуострова для организации транскорейского железнодорожного сообщения с выходом на континентальную железнодорожную сеть, но так и не достигло реализации этого проекта. Различия в экономических системах и инфраструктуре двух стран являются сдерживающими факторами скорейшей организации Транскорейской железной дороги.

В работе рассмотрены основные исторические периоды, отражающие этапы воссоединения Транскорейской железной дороги с возможностью организации трансконтинентального железнодорожного сообщения. Республике Корея появление транскорейского и континентального железнодорожного сообщения позволит переориентировать контейнеропоток с морского и автомобильного транспорта на железную дорогу в направлении «Азия – Европа», что значительно ускорит и сделает более стабильной доставку товаров. Прогнозируемый объем контейнеропотока к 2040 году между Кореей

и Евразией может достичь 300 тысяч контейнеров в год. Целью данного исследования является анализ состояния, проблем и тенденций организации Транскорейской железной дороги с перспективным выходом на транспортную сеть азиатско-тихоокеанского региона. В данном исследовании применяются методы анализа, синтеза и сравнения.

Возможные решения по интеграции Транскорейской и континентальной железных дорог представлены в пяти аспектах. Долгосрочной политике и планам, составленным на основе консультаций руководства двух корейских стран, необходима поддержка, через установление интересов международных организаций и соседних стран. Усиление и развитие железнодорожной инфраструктуры КНДР возможно с помощью совместных проектов с Республикой Корея и граничащими странами. Создание трансконтинентальной железной дороги и разработка технологии ускоренного таможенного пропуска контейнеров позволит странам Корейского полуострова выйти на новый уровень политического и экономического сотрудничества.

Ключевые слова: Транскорейская железная дорога, континентальная железная дорога, транспортная инфраструктура КНДР и Республики Корея.

Для цитирования: Ли Т. Е., Король Р. Г. Вопросы интеграции Транскорейской и континентальной железных дорог // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 83–92. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-9>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Транскорейская железная дорога на Корейском полуострове имеет долгую историю развития и становления, включая период колониализма. Дорога была необходима для организации пассажирских перевозок в Россию или Китай. Железнодорожное сообщение было прервано 75 лет назад из-за военных действий, итогом войны стало разделение страны на Республику Корея и КНДР. С 1990-х годов Республика Корея проводила различные стратегические сессии с целью получения выхода на континентальную железную дорогу через транскорейское железнодорожное сообщение. Сегодня этот проект не реализован, помимо различных технических и инфраструктурных проблем, политическая ситуация является наиболее важной частью возобновления транскорейского железнодорожного сообщения. В июле 2021 года президент Республики Корея Мун Чжэ Ин и председатель Государственного совета КНДР Ким Чен Ын договорились возобновить работу прямой линии связи между Сеулом и Пхеньяном, а также условились способствовать восстановлению доверия и укреплению двусторонних отношений. Если политическая ситуация на Корейском полуострове стабилизируется и отношения двух стран продолжат улучшаться, объединение корейских железных дорог может произойти в любое время, и возможна интеграция с континентальной железнодорожной сетью, поэтому подготовка инфраструктуры и разработка технологии являются обязательным условием развития Транскорейской железной дороги [1].

Таким образом, целью данного исследования является анализ состояния, проблем и тенденций развития Транскорейской железной дороги с перспективным выходом на транспортную сеть азиатско-тихоокеанского региона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ политических решений по вопросу воссоединения Транскорейской железной дороги и организации трансконтинентального железнодорожного сообщения

1990-е годы считаются началом интеграции Транскорейской и континентальной железных дорог. Различные дискуссии велись о соединении Транскорейской железной дороги в 1970-х и 80-х годах, но с 1990-х годов при участии России и международного сообщества началось обсуждение реализации проекта континентальной железной дороги путём соединения с Транскорейской железной дорогой.

Годы правления администрации Ким Дэ Чжуна и Хёна (2000–2008 гг.) связаны с прогрессом в решении вопроса объединения Транскорейской железной дороги и интеграции с континентальной железной дорогой. Благодаря активному сотрудничеству между правительствами Республики Корея и КНДР было достигнуто сотрудничество двух стран по различным транспортным областям, включая автомобильное, морское, воздушное и транскорейское железнодорожное сообщение.

Администрация Ким Дэ Чжуна (1998–2003 гг.) взаимодействовала с руководством КНДР по различным вопросам политики объединения и старалась не прерывать диалог. 15 июня 2000 г. президент Республики Корея Ким Дэ Чжун и председатель Государственного совета КНДР Ким Чен Ир представили совместную декларацию на первом межкорейском саммите, состоявшемся в Пхеньяне. Прямое упоминание о развитии транспортного сектора отсутствовало, но было достигнуто соглашение об экономическом сотрудничестве между двумя сторонами [4]. Это позволило продолжить дальнейшие переговоры.

Таблица 1

Основные этапы организации транскорейского и континентального железнодорожного сообщения в 1990-е годы

Год	Участвующие страны	Основное содержание
1991	Республика Корея и Россия	Подписан протокол о сотрудничестве в области международных мультимодальных морских и железнодорожных перевозок между Республикой Корея и Россией [2]
1992	Республика Корея и КНДР	Принятие соглашений и прилагаемых к ним договоренностей о примирении, неприкосновенности, обмене и сотрудничестве. Соединение железнодорожной линии «Кёнгги» и автодороги между Мунсаном и Кэсоном
1996	Конференция ЭСКАТО (Экономическая и социальная комиссия для стран Азии и Тихого океана)	Усилия направлены на восстановление железных дорог в Республике Корея и КНДР для создания северного маршрута трансазиатской железной дороги [3]

Таблица 2

Основные этапы организации транскорейского и континентального железнодорожного сообщения в 2000-2008-е годы [2]

Год	Участвующие страны	Основное содержание
2000	Республика Корея и КНДР	В рамках Межкорейского саммита и Совместной декларации Республика Корея и КНДР договорились активизировать обмена и сотрудничество в экономической сфере между двумя сторонами
		Результатом Первых и Вторых межкорейских встреч на уровне министров стало подписание Соглашения о железнодорожном и автомобильном соединении линии «Кёнгги»
2001	Республика Корея и Россия	Согласован проект «Железный шёлковый путь», который соединяет Европу и Азию через Корейский полуостров
2002	Республика Корея и КНДР	Формализация выполнения проекта по линии «Донхэ»
		Начало строительства железнодорожной линии «Донхэ»
2003	Республика Корея и Россия	Соглашение о совместных исследованиях между Республикой Корея, КНДР и Россией
2004	Республика Корея, КНДР и Россия	Проведено трехстороннее совещание железнодорожных экспертов Республики Корея, КНДР и России
2005	Республика Корея и КНДР	Завершены реставрационные работы однопутной железной дороги
2007		Испытательное движение поезда между Чеджином и Кымгансаном и организация грузового сообщения между Республикой Корея и КНДР на железнодорожной линии «Кёнгги»
		Совместная декларация о грузовых железнодорожных перевозках между Мунсаном и Бонгдонгом. Обсуждение вопросов реконструкции железной дороги Кэсон–Синийджу и скоростной автомагистрали Кэсон–Пхеньян для совместного использования

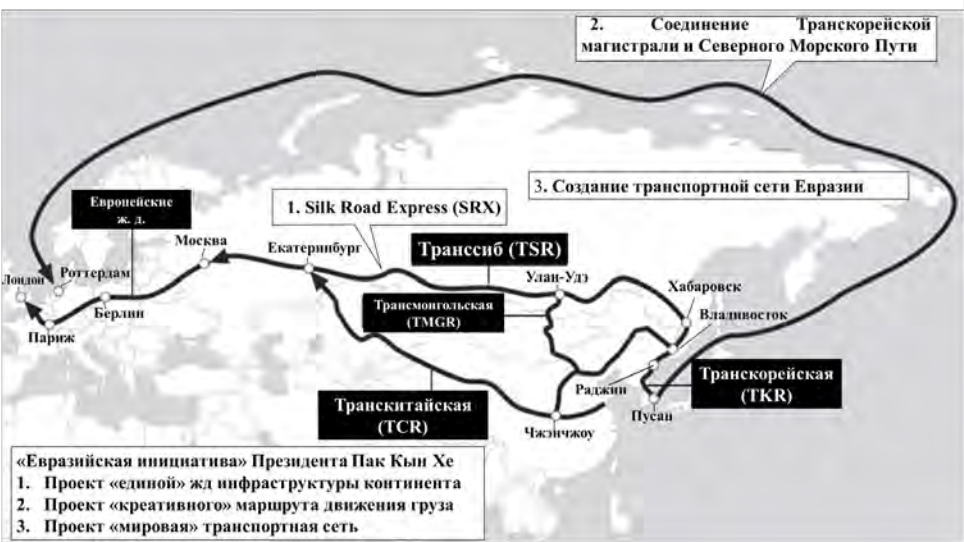


Рис. 1. Проект «Евразийская инициатива» [5].

В период правления администраций Ким Дэ Чжуна и Но Му Хёна было проведено 13 межкорейских встреч на высшем уровне и последующих заседаний рабочих групп представителей Республики Корея и КНДР, 10 переговоров в военном секторе, 11 встреч, посвящённых экономическому сотрудничеству, 5 рабочих встреч по развитию железнодорожных и автомобильных дорог, проводились 13 совещаний по организации

железнодорожного и автомобильного сообщений. 2008–2017 годы. Это период правления администраций Ли Мён Бака и Пак Кын Хе, который можно охарактеризовать периодом «застоя» в вопросе соединения транскорейских железных дорог, причинами явились политические разногласия и военные условия, поэтому обсуждение межкорейских отношений было приостановлено.



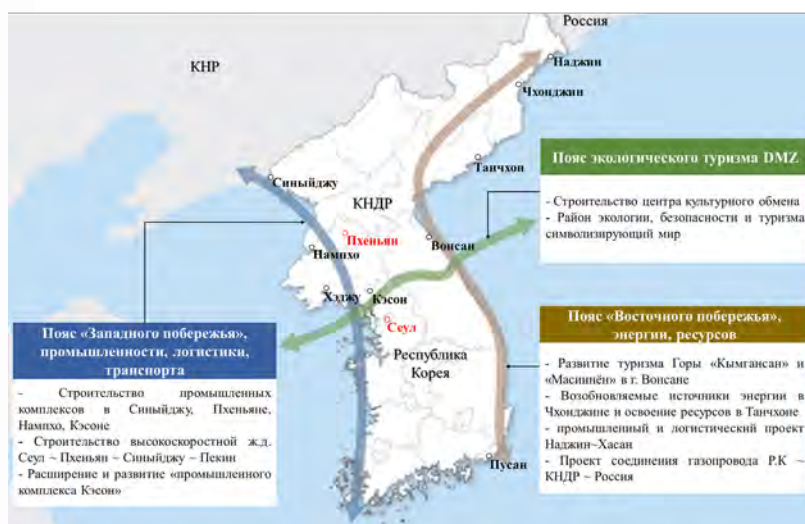


Рис. 2. Проект «Новая экономическая карта Корейского полуострова» [6].

В 2013 году в программном выступлении на Международной конференции «Евразия» новая администрация Пак Кын Хе официально предложила «Евразийскую инициативу», направленную на достижение мира на Корейском полуострове путём объединения Евразии, как единого континента. Было акцентировано внимание на необходимости создания энергетических сетей (рис. 1), газо- и нефтепроводов, путём реализации проекта «Экспресс Шелкового пути», который проходит через Пусан–КНДР–Россия–Китай–Центральная Азия–Европа.

2017 года – настоящее время. В 2017 году была сформирована администрация Мун Чжэ Ина, которая предложила проект «Новая экономическая карта Корейского полуострова» и «Новая северная политика», основываясь на сотрудничестве стран Корейского полуострова и северных регионов в области транспорта и логистики. «Новая северная политика» направлена на укрепление проектов сотрудничества, в которых учитываются промышленные и экономические возможности 14 стран Северо-Восточной Азии, включая Россию, Монголию, Китай (три северо-восточные провинции) и страны СНГ.

«Новая экономическая карта Корейского полуострова» (рис. 2) представляет собой экономическую интеграцию с северными регионами полуострова, путём формирования трёх поясов – на восточном побережье, западном побережье и демилитаризованной зоне [7]. «Новая экономическая инициатива Корейского полуострова» направлена на обес-

печение новых двигателей роста на Корейском полуострове и совместное экономическое развитие с северными регионами, посредством создания трёх основных экономических поясов. Наличие железнодорожного сообщения между Республикой Корея и КНДР позволяет рассматривать развитие евразийского сотрудничества, которое простирается за пределы Корейского полуострова в Россию и Европу.

На Восточном экономическом форуме, проходившем во Владивостоке в сентябре 2017 года, президент Мун Чжэ Ин представил стратегию «9 мостов», которая включает девять направлений (рис. 3) сотрудничества между Кореей и Россией [9].

В январе 2018 года состоялись межкорейские переговоры на высшем уровне, это восстановило настроение примирения на Корейском полуострове, и появилась возможность начала диалога между двумя странами.

По мере улучшения межкорейских отношений, осуществилась возможность присоединения Республики Корея к ОСЖД. Кроме того, южнокорейский президент Мун Чжэ Ин предложил создать «Восточно-Азиатское железнодорожное сообщество» – организацию сотрудничества между странами, включая США, с участием шести стран Северо-Восточной Азии (Республика Корея, КНДР, КНР, Россия, Монголия и Япония). «Восточно-Азиатское железнодорожное сообщество» стало бы международным советом, который реализует инвестиционные проекты по развитию инфраструктуры и экономическому



Рис. 3. Стратегия «9 мостов» [8].

сотрудничеству на железнодорожном транспорте Восточной Азии [7].

По итогам межкорейского саммита, состоявшегося в сентябре 2018 года, при поддержке США, были проведены совместные исследования Транскорейской железной дороги на участке КНДР, проведена церемония закладки фундамента линии «Кёнги» и линии «Донхэ». В течение одного дня был исследован участок Кэсон–Синийджу линии «Кёнги» (411,3 км) и десять дней проходило исследование участка Кымгансан–Думанган линии «Донхэ» (783,4 км).

В декабре 2007 года проводилось полевое исследование участка Кэсон–Синийджу линии «Кёнги», и за прошедшие десять лет произошли инфраструктурные изменения, что потребует дополнительных инвестиционных вложений на модернизацию линии «Кёнги». Участок Кымгансан–Думанган на линии «Донхэ» имеет серьёзное транспортно-логистическое значение, впервые после разделе-

ния по нему осуществляются железнодорожные перевозки.

Анализ состояния транспортной инфраструктуры

КНДР географически граничит на юге с Республикой Корея, на севере с Россией и Китаем, поэтому соединение Транскорейской железной дороги с континентальной железной дорогой (Транссибирская железная дорога, Транскитайская железная дорога и Маньчжурская железная дорога) зависит от состояния и пропускной способности транспортной инфраструктуры КНДР. В отличие от Республики Корея, где грузовые перевозки сосредоточены на автомобильном транспорте, в КНДР перевозки грузов осуществляются железнодорожным транспортом, а автомобильный транспорт является вспомогательным. На развитие транспортной системы КНДР повлияли, в том числе и природные условия с множеством горных участков [7].

Таблица 3

Основные этапы организации транскорейского и континентального железнодорожного сообщения с 2017 года по настоящее время

Год	Участвующие страны	Основное содержание
2017	Республика Корея	Инициатива «Новая северная политика» и «Новая экономическая карта Корейского полуострова» [9]
		Республика Корея объявляет о стратегии «9 мостов», направленную на реализацию совместных проектов с Россией [9]
2018	ОСЖД	Республика Корея – страна-участница ОСЖД
	Шесть стран Северо-Восточной Азии и США	Предложение об организации «Восточно-Азиатского железнодорожного сообщества»
	Республика Корея и КНДР	Три встречи на межкорейском саммите
		Совместное исследование железнодорожной и автомобильной инфраструктуры на северокорейском участке линий «Донхэ» и «Кёнги» Церемония закладки фундамента для железнодорожного и автомобильного соединения линий «Донхэ» и «Кёнги»





Рис. 4. Проекты межкорейского транспортного сотрудничества, согласованные в 2018 году [7].

Протяжённость автомобильных дорог КНДР составляла 26196 км [9]. Топография дорог из-за гористой местности затрудняет движение автомобилей со скоростью более 50 км/ч, за исключением некоторых скоростных шоссе. Дорожная инфраструктура КНДР является дополнительным инструментом организации железнодорожных перевозок, автомобильные перевозки, в основном осуществляются на короткие расстояния (в пределах 150–200 км) и сосредоточены на межрегиональных перевозках. Автомобильный транспорт осуществляет доставку грузов между железнодорожными станциями и регионами, где отсутствует железная дорога, также обеспечивает туристические и военные перевозки [9].

Общая протяжённость железных дорог КНДР составляет 5295 км, что примерно в 1,3 раза больше, чем в Республике Корея [9]. Большая часть железных дорог КНДР использует колею 1435 мм, на некоторых линиях в горной местности используется колея шириной 762 мм. Кроме того, на участке Туманган–Наджин, где осуществляется движение российских поездов, установлена колея шириной 1520 мм и 1435 мм [10]. В КНДР, в соответствии с рядом публикаций, в основном, однопутная железнодорожная система, пропускная способность инфраструктуры недостаточна. В некоторых районах КНДР используются деревянные шпалы, и в будущем они могут стать фактором, препятствующим

Таблица 4

Характеристика транспортной инфраструктуры Республики Корея и КНДР

Характеристика по виду транспорта		Республика Корея	КНДР
Железнодорожный транспорт	Общая протяжённость, км	4148,1	5295,0
	Доля электрифицированных линий, %	73,2	81,2
	Доля двухпутных участков от общей протяжённости, %	63,5	3,0
	Ширина колес, мм	1435 мм – 100,0%	762 мм – 9,8 % 1435 мм – 87,7 % 1520 мм – 2,5 %
	Напряжение сети	Переменный ток 25 кВ	Постоянный ток 3 кВ
	Связь	автоматическая	полуавтоматическая
	Средняя скорость движения, км/ч	70~100	15~50
Автодорожный транспорт	Общая протяжённость, км	111314,0	26196,0
	Протяжённость автострад, км	4767,0	658,0
	Доля дорожных покрытий (без автострад), %	93,2	Менее 10

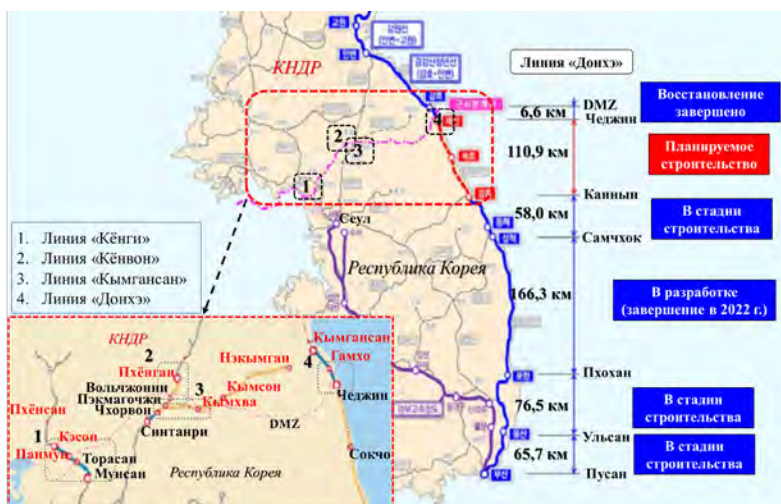


Рис. 5. Карта состояния железнодорожной инфраструктуры Республики Корея и КНДР в рамках создания Транскорейской железной дороги [12].

щим увеличению скорости движения поездов. Многие туннели были построены во время японского колониального периода (1910–1940-е годы) и оставались без технического обслуживания, что привело к сильной коррозии бетона [7]. Системы связи и сигнализации, в основном, полуавтоматические и требуют модернизации [11].

На рис. 5 представлены железные дороги Республики Корея и КНДР, которые образуют Транскорейскую железную дорогу.

С декабря 2007 года линия «Кёнгги», соединяющая станцию Мунсан в Южной Корее и станцию Панмун в Северной Корее, предназначалась для грузовых перевозок промышленного комплекса Кэсон, который был закрыт в ноябре 2008 года. В настоящее время на линии между Мунсаном и Дорасаном ведутся электромонтажные работы на участке длиной 9,7 км, и только некоторые участки открыты для движения. На западном побережье полуострова, линия «Кёнгги» соединена с Сеулом и столичной зоной, при этом существующая пропускная способность линии связана с линией «Кёнбу», которая уже не имеет резерва пропускной способности. Поэтому, ведутся правительственные переговоры о строительстве высокоскоростной железной дороги между Сеулом и Синийджу, чтобы удовлетворить спрос на пассажирские перевозки.

Восстановительные работы на линии «Кёнвон», между станциями Пэкмагочжи и Вольчжонни, в настоящее время приостановлены, строительные работы по восстановлению участка до станции Пхёнган остаются

планом в долгосрочной перспективе. Сегодня восстановление линии «Кымгансан» продолжается, но приоритет остается за проектом соединения железнодорожных линий «Кёнгги» и «Донхэ».

Линия «Донхэ» включает двухпутный электрифицированный участок «Пусан–Пхохан» и двухпутный электрифицированный участок «Самчек–Каннын», а также однопутный электрифицированный участок «Пхохан–Самчхок» и в стадии строительства находится однопутный участок «Каннын–Чеджин».

Железнодорожные линии «Пхеньги», «Хамбук» и «Манпхо» имеют выход на железные дороги Китая, линия «Пхённа» соединена с российскими железными дорогами.

В 2013 году была завершена модернизация железнодорожного участка Хасан–Наджин (54 км), соединяющего северокорейский порт Наджин и российскую пограничную железнодорожную станцию Хасан.

Китай заинтересован в развитии транспортной инфраструктуры в районе северо-восточной границы, это отражено в проектах «Развитие северо-востока КНР» и «Один пояс, один путь» [14]. В феврале 2014 года Китай сформировал международный консорциум, представляющий государственные предприятия. В рамках деятельности консорциума был подписан меморандум о взаимопонимании (MOU) при осуществлении высокоскоростных железнодорожных перевозок на направлении «Кэсон–Пхеньян–Синийджу» [15].



Рис. 6. Карта железных дорог КНДР [13].

ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РЕШЕНИЯ

1. Стабилизация межкорейских отношений. Необходимо установление долгосрочных отношений между двумя странами Корейского полуострова, что будет являться основой для планирования развития транспортной сети полуострова. В Республике Корея при смене администраций, меняется и политика по объединению железных дорог с последующей интеграцией с континентальными железными дорогами. В настоящее время нет возможности вести изыскания и подробный анализ состояния железнодорожной инфраструктуры, следовательно, экономическая оценка [16] организации транскорейской железнодорожной магистрали не полная и в будущем, отразится на увеличении сроков и стоимости объединения железных дорог Кореи.

2. Необходимость международного социального сотрудничества. Республика Корея нуждается в экономическом и транспортном сотрудничестве с соседними странами. В отличие от КНДР, которая имеет железнодорожное сообщение с Россией и Китаем, Корея не имеет опыта международных железнодорожных перевозок. С точки зрения Республики Корея, железнодорожное сообщение – это не только путь экономического развития, это мирные взаимоотношения двух стран и возможность объединения Корейского полуострова.

3. Модернизация и развитие транспортной инфраструктуры. Приоритетное развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта обосновано соединением Транскорейской железной дороги с азиатской транспортной сетью для организации континентальных

маршрутов. Актуальным вопросом является строительство второй линии железнодорожных путей для существующей однопутной дороги в КНДР. Двухпутная магистраль это важное конкурентное преимущество в логистике и пассажирских перевозках. Строительство вторых путей должно осуществляться поэтапно с учётом финансовой нагрузки, пропускной способности линии, а также существующих и прогнозируемых поездопотоков.

4. Объединение железных дорог Республики Корея и КНДР. В настоящее время из четырёх железнодорожных направлений Южной Кореи, линия «Кёнги», расположенная на Западном побережье полуострова, и линия Восточного моря, считаются приоритетными проектами. Линия «Кёнги» соединяет южнокорейский Сеул и Пхеньян (КНДР), при организации железнодорожного сообщения, спрос на грузовые и пассажирские перевозки будет высоким. Поэтому необходимо строительство пассажирской высокоскоростной железной дороги, грузовые перевозки будут осуществляться по железным дорогам общего пользования с соответствующими пунктами грузопереработки. Сеул является столицей Республики Корея, мегаполисом, который имеет разветвлённую сеть столичного метро, множество пригородных веток и высокоскоростных линий. В таких условиях организация грузового движения невозможна, в перспективе необходимо организовать грузовые терминалы в северной и южной части Сеула, которые будут функционировать, как пункты импортно-экспортных контейнеров

Таблица 5

Прогноз объемов контейнерных железнодорожных перевозок между Корейским полуостровом и Евразией (тыс. TEU, %) [15]

Направление	2020 г.	2030 г.	2040 г.	Процент увеличения	
				'20~'30	'30~'40
Корея → Евразия	10,871	54,722	198,271	17,5	13,7
Евразия → Корея	5,285	26,603	96,388	17,5	13,7
Всего	16,156	81,325	294,659	17,5	13,7

«Ui-wang ICD». Наличие контейнерных терминалов в разных частях мегаполиса позволит формировать контейнерные поезда и осуществлять фидерные перевозки, терминал в северной части Сеула будет являться оператором по организации грузовых железнодорожных перевозок в КНДР и Китай [17].

Линия «Донхэ» расположена вдоль Восточного побережья полуострова и соединяет южнокорейский порт Пусан с российской станцией Хасан. В настоящее время в Республике Корея реализуется проект по усилению железнодорожной инфраструктуры от станции Пусан до демилитаризованной зоны. Этот маршрут позволит организовать транспортировку контейнеров из морского порта Пусан через Транссибирскую магистраль с выходом на европейский рынок. Предстоящая задача – это замена на некоторых участках однопутной конструкции пути на двухпутную с учётом экономической целесообразности. Сегодня цена морского фрахта и время доставки определяют конкурентоспособность бизнеса, поэтому строительство двухпутной железнодорожной линии «Донхэ» – одно из основных векторов развития экономики страны.

5. Организация приграничного сообщения между странами. Конкурентоспособность железнодорожного транспорта в Азии зависит от скорости системы таможенного оформления. В Европейском союзе транспорт и грузы свободно пересекают границы, организовать подобную систему для перемещения грузов между Китаем, Россией, КНДР и Республикой Корея на данный момент не представляется возможным. При этом необходимо постепенно сокращать время таможенного оформления за счёт совершенствования системы и взаимодействия пограничных органов участвующих стран. В будущем будет востребована транспортировка контейнеров, при которой таможенный досмотр груза осуществляется в порту Пусан (РК), и это позволит следовать контейнеру транзитом через Наджин (КНДР) и Хасан (РФ).

ВЫВОДЫ

Транскорейская железная дорога (ТКР), как проект соединения железных дорог Республики Корея и КНДР, будет завершён путём интеграции с континентальной железной дорогой. Несмотря на усилия международного сообщества, железная дорога на Корейском полуострове находится лишь на уровне обсуждения данного проекта. В Республике Корея при смене правительства, меняется и политика по объединению железных дорог двух стран, поэтому необходимо обеспечить постоянное сотрудничество рабочих групп и утвердить долгосрочную программу развития Транскорейской железной дороги.

По предварительным прогнозам, к 2040 году спрос на грузовые перевозки с Корейского полуострова в Европу составит до 300 000 контейнеров год (табл. 5). Чтобы обрабатывать 200 000 контейнеров с экспортным грузом необходимо каждые сутки отправлять в Европу по 7–8 поездов, составом из 50 вагонов. Из-за диспропорции импортных и экспортных контейнеров возникает потребность в порожних контейнерах, предполагается, что возврат порожних контейнеров будет осуществляться морским транспортом с низкой ставкой фрахта [18].

Республика Корея не имеет опыта организации международных железнодорожных перевозок, поэтому требуется привлечение российских и китайских экспертов железнодорожного транспорта, организация обучения и обмена специалистов транспортных компаний Кореи, также необходимо сотрудничество и поддержка ООН и ОСЖД.

Проект объединения железных дорог на Корейском полуострове с последующей интеграцией в азиатскую транспортную сеть невозможен без обследования и модернизации железнодорожной инфраструктуры участвующих стран. Разработка технологии ускоренного таможенного пропуска транзитного контейнеропотока между Республикой Корея и соседними странами позволит переориентировать значительные объёмы перевозок с морского и автомо-





бильного транспорта на железнодорожный транспорт.

Дальнейшие исследования развития железнодорожной инфраструктуры и портовых мощностей Республики Корея с учётом увеличения контейнеропотока могут быть направлены на создание имитационной модели загрузки существующей транспортной системы и при различных вариантах развития транспортной инфраструктуры. Данные имитационного моделирования позволят разработать решения по этапности и эффективности реализации мероприятий, направленных на усиление пропускной и перерабатывающей способности транспортных узлов [19].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ли Т. Е., Балалаев А. С. Исследование существующих грузопотоков транспортного узла Пусан // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2020. – № 1. – С. 37–42. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43143181>. Доступ 16.12.2021.
2. Sung Weon Yong. Current Status of ROK-DPRK-Russia Railway Cooperation and Prospect for its Development – Focusing on the «Rajin–Khasan Project». *The Korean Association of Slavic-Eurasian Studies*, 2018, Vol. 23 (1), pp. 230–234. [Электронный ресурс]: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artid=ART001232431>. Доступ 16.12.2021.
3. Jin, Jang Won; Kwon, Tae Ho. The Strategies of Connecting Trans Korea Railway (TKR) to Trans Siberia Railway (TSR) in North East Asia. *The Journal of Asian studies*, 2015, Vol. 18 (2), pp. 121–122. [Электронный ресурс]: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artid=ART002001157>. Доступ 16.12.2021.
4. Kim, Dong Hyuck. North Korean Railway Policy and Inter-Korean Cooperation. Doctor's thesis, 2019, pp. 173–183. [Электронный ресурс]: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0015049306&dbt=DIKO>. Доступ 16.12.2021.
5. DongA.com-2013 [Электронный ресурс]: <https://www.donga.com/news/East/article/all/20131019/58316254/1>. Доступ 16.12.2021.
6. The Kang Won Domin Illbo-2018 [Электронный ресурс]: <https://www.kado.net/news/articleView.html?idxno=909755>. Доступ 16.12.2021.
7. Seo, Jong Won; Han, Eun Young; Choi, Seong Won; Yang, Ha Eun. Socioeconomic Effect Analysis on Inter-Korean Transportation Cooperation Projects. The Korea Transport Institute, 2019, Vol. 16, p. 12. [Электронный ресурс]: https://www.nkis.re.kr:4445/subject_view1.do?otpId=ОТР_0000000000003277&otpSeq=0&popup=p. Доступ 16.12.2021.
8. The Presidential Committee on Northern Economic Cooperation. [Электронный ресурс]: http://www.bukbang.go.kr/bukbang/vision_policy/policys/0004/. Доступ 16.12.2021.
9. Ли Т. Е., Балалаев А. С. Современное состояние и перспективы развития автомобильного транспорта в Республике Корея // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2018. – № 1. – С. 52–58. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35041457>. Доступ 16.12.2021.
10. Lee, T. Y., Balalaev, A. S. Modern status and prospects for the development of automobile transport in the Republic of Korea. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*, 2018, Iss. 1, pp. 52–58. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35041457>. Доступ 16.12.2021.
11. Song, Ji Eun. A Study on the Modernization Plan of North Korean Railway by Stages. Master's thesis, 2019, pp. 25–28. [Электронный ресурс]: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0015469936>. Доступ 16.12.2021.
12. Park, Seok Sung; Jo, Young Je; Jeong, Kyung Young; Lee, Hak Jun. A Study on the Implementation Plan of North Korea Road Infrastructure Project. *Technique-yooshin*, 2019, Vol. 25, pp. 11–12. [Электронный ресурс]: <http://www.yooshin.com/upload/01-%EB%B6%81%ED%95%9C%EB%8F%84%EB%A1%9C-10-25-12.pdf>. Доступ 16.12.2021.
13. Gayailbo-2020 [Электронный ресурс]: <http://www.gayailbo.com/news/articleView.html?idxno=6442>. Доступ 16.12.2021.
14. Seo, Jong Won; Han, Eun Young; Yang, Ha Eun; Park, Min Cheol. An Analysis on Logistics Conditions and Freight Demand of International Corridors in Eurasia (II). The Korea Transport Institute, 2017, Vol. 10, p. 42. [Электронный ресурс]: https://www.nkis.re.kr:4445/subject_view1.do?otpId=KOTI00053147&otpSeq=0&popup=P. Доступ 16.12.2021.
15. Wang, Sang Seok. A Study on the North Korea Transportation Infrastructure according to the Change of Sanctions against North Korea. Master's thesis, 2020, p. 10. [Электронный ресурс]: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0015529584>. Доступ 16.12.2021.
16. Мачерет Д. А. Неопределённость будущего как фундаментальная проблема долгосрочного развития транспорта // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – № 6 (85). – С. 6–19. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-06-19>. Доступ 16.12.2021.
17. Владимиров С. А. Направления развития мировой транспортной системы и логистики // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 3 (64). – С. 6–19. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1945>. Доступ 16.12.2021.
18. Фёдоров Е. А., Лёвин С. Б., Султанов Э. Ш. Контейнерный шёлковый путь: оптимизация транзитного коридора // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 2 (75). – С. 166–177. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1444>. Доступ 16.12.2021.
19. Король Р. Г., Балалаев А. С. Имитационное моделирование работы припортовой железнодорожной станции с вероятностно-статистическим подходом к изменению параметров поступающего вагонопотока // Транспорт Урала. – 2014. – № 3 (42). – С. 53–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22369722>. Доступ 16.12.2021. ●

Информация об авторах:

Ли Тэк Енг – аспирант кафедры технологии транспортных процессов и логистики Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск/Седжон, Россия/ Республика Корея, etuhoo21@nate.com.

Король Роман Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии транспортных процессов и логистики, директор Института управления, автоматизации и телекоммуникаций (ИУАТ) Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Россия, kingkhv27@mail.ru.

Статья поступил в редакцию 26.09.2021, актуализирована 22.12.2021, одобрена после рецензирования 28.01.2022, принята к публикации 10.02.2022.



ПАРОВОЗ ВОЗВРАЩАЕТСЯ?

94

Но на новом технологическом витке. Краткая история идеи пароаккумуляторного локомотива и её современные воплощения.



ЗАБЫТЫЕ ДОРОГИ

100

Публикуемый материал рассказывает о судьбе двух железных дорог. Они, наверное, не были уникальными и вряд ли обладали историческими памятниками, которые нуждаются в восстановлении, но кропотливое исследование этих едва заметных в масштабах страны объектов показывает, как тесно переплелась история государства, людей и железных дорог.

ПРЕСС-АРХИВ

108

Актуальные вопросы управления железными дорогами, как они виделись 112 лет назад. Окончание публикации доклада Н. П. Верховского.

КОЛЕСО ИСТОРИИ





Теплотехнические основы создания пароаккумуляторных локомотивов



Валентин БАЛАБИН



Алексей СЕРБУЛОВ

**Валентин Николаевич Балабин¹,
Алексей Юрьевич Сербулов²**

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия.

² ООО «Белспецдесмаш», Гомель, Беларусь.

✉ ¹ vbbn2347@gmail.com.

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены этапы создания и применения на промышленных предприятиях теплоаккумуляторных (пароаккумуляторных) локомотивов, цели их создания до сих пор актуальны – это разработка и внедрение экономичных и экологически чистых локомотивов для подъездных путей необщего пользования.

Выполнение маневровых работ рассматривается как самостоятельный род деятельности предприятий, не связанных с их основной деятельностью. Применяемые сегодня для этой цели локомотивы транспортных цехов предприятий расходуют дизельное топливо, что заметно повышает логистическую стоимость грузов и снижает конечную прибыль.

В статье рассмотрено одно из направлений использования тепловой энергии (пара), идущей на технологические цели, которую можно утилизировать для выполнения иной работы, что с энергоэкономической точки зрения будет выполнено бесплатно, так как стоимость получения энергии уже покрыта стоимостью выпускаемой продукции.

Специально для предприятий и подъездных путей к ним разработан пароаккумуляторный локомотив с силой тяги в 90 кН (9 т). Он не нуждается в топливе, а работает на тех-

нологическом паре, который поступает от стационарных котлов предприятий и аккумулируется в резервуаре высокого давления с теплоизоляцией.

Локомотив был спроектирован на базе модели танк-паровоза 9П типа 0-3-0, который использовался раньше. Котёл и топка были заменены котлом с паронакопителем (закрытый цилиндрический резервуар с высокой степенью термоизоляции). Расчётное время работы машины на одной зарядке – 6–8 ч. Максимальная расчётная масса состава на прямом участке пути при скорости 30 км/ч и силе тяге 83 кН·м составляет 3000 т.

Применение такого типа локомотива позволяет: экономить дизельное топливо в количестве 0,75–1,0 т/сут, снизить затраты на ремонт на 90 % по сравнению с тепловозом, уменьшить затраты на обслуживающий персонал, получить возможность использования на предприятиях, предъявляющих повышенные требования по взрыво- и пожаробезопасности..

Дан пример расчёта применения шести локомотивов на нефтеперерабатывающем заводе, что даст годовую экономию дизельного топлива 1444 т, при сроке окупаемости самого локомотива 3,2 года.

Ключевые слова: паровая энергетика, паровой аккумуляторный локомотив, промышленный транспорт, экономическое сравнение.

Для цитирования: Балабин В. Н., Сербулов А. Ю. Теплотехнические основы создания пароаккумуляторных локомотивов // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 94–99. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-10>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

На настоящий момент выполнение маневровых работ на железнодорожном промышленном транспорте рассматривается как самостоятельный род деятельности. Применяемые для этой цели локомотивы транспортных цехов предприятий расходуют дизельное топливо, что заметно повышает логистическую стоимость грузов и снижает конечную прибыль. Желательно устранить лишние непроизводительные расходы на проведение маневровых операций.

Предельные значения расхода дизельного топлива тепловозами в районе 198–220 г/кВт·ч снижаются крайне медленно и практически достигли своего эксплуатационного минимума. Таким образом, искать решение в рамках существующей системы бессмысленно, необходима другая система, в которой за счёт полной энергосвязи элементов между собой, происходит минимизация всех расходов. При этом желательно, чтобы система потребляла только один вид энергии – наивыгоднейший с экономической точки зрения.

ИСТОРИЯ

Основные принципы создания подобных систем были изложены профессором В. В. Дмитриевым ещё в 1927 году в работе «Современные достижения в области энергетического хозяйства в производствах с большим расходом тепла на единицу обрабатываемого продукта» [1].

В этой работе указано, что потребности производства в электрической и тепловой энергии дают возможность расположить их в особом, с точки зрения энергетики, порядке, так как нормы расхода этих видов энергии на единицу производимого продукта уже установились и могут приниматься за базу для расчёта.

Профессор Дмитриев вводит понятие «коэффициент энергетической пропорциональности (КЭП)», показывающий соотношение между видами энергий при производстве единицы продукта.

Для большинства производств (в том числе для металлургических, нефтехимических и многих других) КЭП более 10, что говорит о преимущественном использовании тепловой энергии, например, в виде пара [2]. Далее указано, что если этот пар, идущий на технологические цели, будет тем или иным образом утилизирован для выполнения иной работы,

то работа эта с энергоекономической точки зрения будет выполнена бесплатно, так как стоимость пара уже покрыта стоимостью выпускаемой продукции.

Применительно к промышленному железнодорожному транспорту можно сказать, что, если энергию пара направить на выполнение маневровой работы и убрать непроизводительные тепловозы с дизельными двигателями (современные подходы также принимают во внимание их «углеродный след»), то стоимость энергии будет стремиться к нулю.

Этот подход в начале XX века был осуществлён в Германии и дал результаты столь выдающиеся, что применяется до сих пор с неизменным успехом. Он связан, в первую очередь, с разработкой пароаккумуляторов Рутса для выравнивания графиков нагрузки паровых котлов при колеблющемся потреблении пара. Если в заполненную водой закрытую ёмкость вводить пар, то он будет конденсироваться, одновременно повышая температуру воды. Как только температура воды достигнет температуры насыщенного пара при заданном давлении, поступление пара прекратится. Если после этого понизить давление в ёмкости, то вода закипит и отдаст следующую порцию аккумулярованного пара. Количество отданного пара практически равно количеству поступившего. При этом отбираемый пар может быть использован для производства механической работы.

Если такой пароаккумулятор установить на железнодорожный экипаж с приводом от известной паровой машины, то получим пароаккумуляторный локомотив (Dampf-speicherlokomotive). Эта машина будет совершать работу за счёт энергии бесплатного пара. При этом затраты на маневровую работу будут практически ничтожны при высокой надёжности и долговечности локомотива (срок до 70 лет – по существующим данным немецких источников [2]). Эффективность таких локомотивов столь высока, что в Германии в своё время насчитывалось свыше 1600 единиц бестопочных локомотивов, в т.ч. и рассматриваемого типа.

Многолетней практикой в Германии выработан тип маневрового пароаккумуляторного локомотива¹ со следующими характеристиками:

¹ Паровой транспорт вчера и сегодня Иван Трохин, инженер. 2019 год. [Электронный ресурс]: <https://perevozki-stolitsa.ru/parovoj-transport-vchera-i-segodnya/>. Доступ 18.03.2022.



ПАРОАККУМУЛЯТОРНЫЙ ЛОКОМОТИВ



ПАЛ 9П

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В Германии пароскопические локомотивы строили следующие фирмы:

1. Borsig - 112 шт;
2. Maschinenfabrik Esslingen - 39 шт;
3. Henschel - 90 шт;
4. Sächsische Maschinenfabrik AG, vormals Richard Hartmann, Chemnitz - 11 шт;
5. Henschel - 230 шт;
6. Hohensohn - 490 шт;
7. Maffei - 59 шт;
8. Krauss - 18 шт;
9. Krauss-Maffei - 120 шт;
10. Krupp - 74 шт;
11. LKM - Lokomotivbau Karl Marx, Hahndorf - 53 шт;
12. Rm "Helmuth Schulz" Meiningen - 202 шт;
13. Orenstein & Koppel - 30 шт.

Сочетание (Borsig 112 шт + Maschinenfabrik Esslingen 39 шт + Henschel 90 шт + Sächsische Maschinenfabrik AG, vormals Richard Hartmann, Chemnitz 11 шт + Henschel 230 шт + Hohensohn 490 шт + Maffei 59 шт + Krauss 18 шт + Krauss-Maffei 120 шт + Krupp 74 шт + LKM - Lokomotivbau Karl Marx, Hahndorf 53 шт + Rm "Helmuth Schulz" Meiningen 202 шт + Orenstein & Koppel 30 шт) = 1592 шт.



Рис. 1. Данные из брошюры с описанием локомотива ПАЛ 9П [разработана авторами].

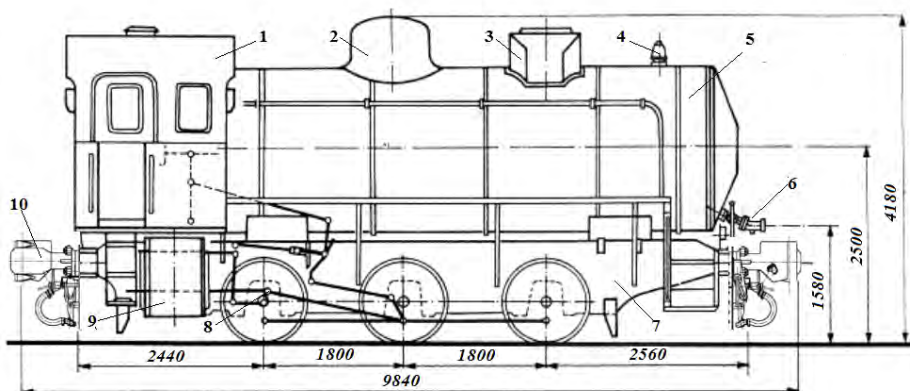


Рис. 2. Схема и габаритные размеры локомотива ПАЛ-9П:

1 – будка управления; 2 – сухопарник; 3 – песочница; 4 – предохранительный клапан; 5 – котёл-пароаккумулятор; 6 – экипировочный патрубков; 7 – рама локомотива; 8 – движущий механизм; 9 – паровой цилиндр; 10 – автосцепка [разработано авторами].

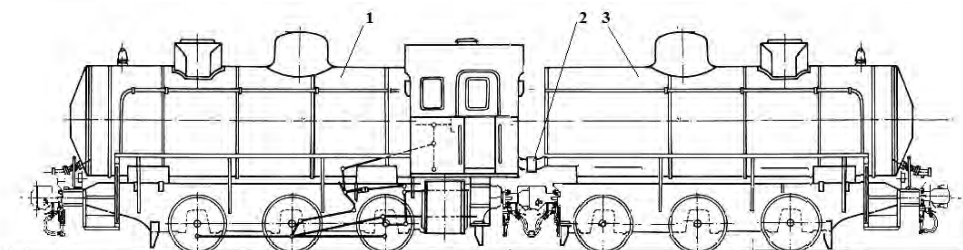


Рис. 3. Вариант тендерного локомотива ПАЛм-9П:

1 – ПАЛ-9П; 2 – соединительный паропровод; 3 – тендер [разработано авторами].

Технические характеристики локомотива (соответствуют типу 5 ГОСТ 22339-88* габарита 1-ВМ, 02-ВМ по ГОСТ 9238-83)

Колея, мм	1524
Объём котла, м³	21,0
Давление пара, МПа (кгс/см²)	2 (20)
Масса локомотива в рабочем состоянии, т	56,5
Сила тяги рабочая, кН	90
Сила тяги при трогании с места, кН	125
Сила тяги минимальная, кН	83
Максимальная скорость, км/ч	30
Максимальный масса состава на прямой при скорости 30 км/ч и силе тяге 83 кН, т	3000
Длина по осям автосцепок, мм	9820
Диаметр колёс, мм	1050
Минимальный радиус кривой, м	40

* ГОСТ 22339-88 Тепловозы маневровые и промышленные. Типы и основные параметры. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200011008>. Доступ 21.04.2022.

- осевая формула – 0–3–0;
- рабочая (сцепная) масса – 55 т;
- выполняемая работа на одной парозарядке – 6000 т•км;
- максимальная масса состава на прямом, горизонтальном пути – 3000 т.

Этот локомотив может использоваться на подъездных путях необщего пользования и является единым маневровым локомотивом, что упрощает его изготовление, обслуживание и эксплуатацию [3; 4].

Система, состоящая из парового котла, технологического потребителя пара и пароаккумуляторного локомотива (или нескольких), называется транспортно-энергетическим узлом и изменяет статьи затрат при выполнении ж.д. маневровых операций.

Кроме этого, появляется возможность точного учёта выполняемой маневровой работы. Пароаккумуляторный локомотив расходует 0,37 кг пара на 1 т•км [5], при этом расход пара при стоянке локомотива отсутствует. Зная количество израсходованного пара можно точно определить выполненную работу в т•км, а не в локомотиво-часах, которые не могут являться единицами работы (исторически учёт работы в локомотиво-часах восходит к маневровым паровозам, котёл которых, работая непрерывно, потреблял определённое количество (до 80 кг) топлива в час. Таким образом, в те годы достигался учёт потреблённого локомотивами топлива).

В 1954 году Муромский и Коломенский заводы спроектировали и построили бестопочный паровоз БП1-01 [5, с. 522–523].

Для уменьшения расхода пара из котла паровоз имел главные резервуары большего объёма, которые заряжались сжатым воздухом параллельно при заполнении котла-аккумулятора паром. На зарядку затрачивалось 30–40 мин.

Цикличность работы локомотива между заправками паром составляла 4–6 часов в зависимости от маневровой загрузки. Согласно опытам этот паровоз мог везти состав массой 325 т со скоростью около 15 км/ч на расстояние до 30 км [6].

Самым последним бестопочным паровозом был БП1-02, который летом 1955 года показал отличные результаты. Во время испытаний он с места брал составы в 1700 т, а сам мог двигаться при давлении в котле в 1 кгс/см².

ПАЛ 9П
Технические характеристики

Чтобы снизить расходы на маневровую работу на подъездных путях необщего пользования (металлургические, горно-обогатительные и деревообрабатывающие комбинаты, нефтеперерабатывающие заводы, заводы химической промышленности, тепловые электростанции и т.д.), был разработан пароаккумуляторный локомотив (ПАЛ) с силой тяги в 90 кН (9 т). Этот локомотив не нуждается ни в каком топливе, он использует исключительно технологический пар, который собирается со стационарных котлов предприятий и копится в резервуаре высокого давления с теплоизоляцией.





Рис. 4. Пароаккумуляторный локомотив. Фото с сайта компании DLM AG. [Электронный ресурс]: https://dlm-ag.ch/wp-content/uploads/2020/10/2020-10-07_Energy-Steam-and-Fireless-Technology-homepage.pdf.

ПАЛ-9П был создан на базе модели танк-паровоза 9П типа 0–3–0. Изменения не коснулись экипажной части и паровой машины. Котёл с топкой заменили котлом-паронакопителем в виде цилиндрического резервуара с высокой степенью термоизоляции. Схема и габаритные размеры локомотива ПАЛ-9П, разработанные авторами статьи, представлены на рис. 2.

Вариант тендерного локомотива ПАЛт-9П с удвоенным запасом рабочего пара показан на рис. 3.

Бестопочные локомотивы практически не требуют обслуживания и ремонта, при этом сам локомотив обслуживается одним машинистом.

Главным недостатком этого типа локомотивов можно назвать ограниченный радиус действия.

Вариант расчёта эффективности локомотива ПАЛ 9П на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ)

Традиционно НПЗ является крупным потребителем тепловой энергии, в частности пара высоких параметров. Отдельно пар расходуется на собственные энергетические нужды – в качестве привода для паровых насосов и компрессоров. Пар промышленных

параметров (давлением 0,8–3,5 МПа) поступает из внешних источников по магистральным паропроводам. Для обеспечения потребителей паром разного давления в центральном тепловом пункте размещены редукционная или редукционно-охладительная установки.

Основные характеристики НПЗ [7; 8]:

- объём переработки – 12 млн тонн нефти в год;

- технологических объектов – более 30;

- площадь предприятия – 286 га.

Годовой вес перемещаемого груза с учётом тары цистерн – $1,4 \times 12\,000\,000 = 16\,800\,000$ т.

Суточный вес перемещаемого груза – $16\,800\,000 / 365 = 46\,027,4$ т.

Средний путь перемещаемого по заводу груза – 3 км.

Суточная работа по перемещению груза – $3 \times 46\,027,4 = 138\,082,2$ т•км.

Энергозатраты на 1 т•км при использовании тепловозной тяги с КПД 13 % – $0,35$ кВтч/т•км.

Энергоёмкость 1 кг дизельного топлива при теплопроизводительности $10\,500$ кг – кал/кг составляет $10\,500 / 860 = 12,21$ кВт•ч.

Выполняемая работа по перемещению груза на 1 кг дизтоплива составляет $12,21 / 0,35 = 34,9$ т•км.

Общий расход топлива тепловозами в сутки с учётом работы дизеля на холостом ходу составит $138\,082,2 / 34,9 = 3956,5$ кг.

Необходимое число локомотивов ПАЛ-9П при четырёх парозарядках в сутки и выполняемой работе на одной парозарядке $6000 \text{ т} \cdot \text{км}$ или $24\,000 \text{ т} \cdot \text{км}$ в сутки (затраты пара – $0,37 \times 24\,000 = 8\,880$ кг = $8,88 \text{ т/сут}$) составит $138\,082,2 / 24\,000 = 5,75$, принято шесть локомотивов.

Общий расход технологического пара давлением $20 \text{ кгс/см}^2 - 6 \times 8,88 = 53,3 \text{ т/сут}$.

Годовая экономия дизтоплива – $365 \times 3,9565 = 1444,2$ т.

1 кг дизтоплива стоит $51,85 \times 1,25 = 64,81$ руб. (цены указаны за литр).

Годовая экономия при использовании ПАЛ-9П составит $1\,444\,200 \times 64,81 = 93\,600\,000$ руб. или 93,6 млн руб.

Ориентировочная стоимость локомотива на текущий момент – $50\,000\,000$ руб., срок окупаемости шести локомотивов – $6 \times 50\,000\,000 / 93\,602\,212,5 = 3,2$ года (3 года 3 мес.) при сроке эксплуатации 60–70 лет.

ИСТОРИЯ ПРОДОЛЖАЕТСЯ

Попытки создания современных пароаккумуляторных локомотивов предпринимаются и за рубежом (например, ^{2,3}). На рис. 4 показан пример такого локомотива³.

ВЫВОДЫ

В результате применения ПАЛ-9П возможно достижение следующих положительных результатов:

1. ПАЛ-9П экономит дизельное топливо в количестве $0,75\text{--}1,0 \text{ т/сут}$ на одну машину (данные приводятся в сравнении с тепловозами, работающими на дизельном топливе).

2. Снижение затрат на ремонты на 90 % по сравнению с тепловозом.

3. Снижение затрат на обслуживающий персонал (машина обслуживается одним машинистом без помощника).

4. Локомотив возможно использовать (без снижения ресурса) в запылённых и загрязнённых условиях.

5. Существует возможность использовать на предприятиях, требующих особых условия по взрыво- и пожаробезопасности.

6. Экологичность (выхлоп – только водяной пар).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитриев В. В., Гаккель Я. М., Матвеев Н. Т. и др. Проблемы энергетики в промышленности // Сборник статей по электротехнике, теплотехнике и гидротехнике. – М.-Л.: Государственное издательство, 1927. – 172 с.

2. Хютте Т. П. Справочник для инженеров, техников и студентов. – 15 изд., испр. и дополн. – Т. 3 / Пер. с 26-го нем. изд. под общ. ред. В. К. Запорожец, С. И. Курбатова, Н. Л. Мануйлова. – М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР. Главная редакция литературы по машиностроению и металлообработке, 1936.

3. Pokschewinski, K. Feuerlose Lokomotiven: Geschichte, Funktion und Einsatz der Dampfspeicherloks, Lokrundschaue-Verlag, 2000, 167 p. ISBN 13 978-3931647100.

4. Röhl, F. von. Enzyklopädie des Eisenbahnwesens. Band 5. Berlin, Wien, 1914, 516 p. [Электронный ресурс]: <https://archive.org/details/enzyklopdiedes05r1>. Доступ 24.03.2022.

5. Раков В. А. Бестопочные паровозы // Локомотивы отечественных железных дорог 1845–1955 гг. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: «Транспорт», 1995. – 564 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/rakov-va-lokomotivy-otechestvennyh-zheleznih-dorog-1845-1955-gg-_c99cd510ffc.html. Доступ 21.04.2022.

6. Гартман Э. Паровоз без топки // Журнал «Техника – молодёжи», 1940. – № 10. – С. 65.

7. Доброва А. В. Разработка системы пароснабжения нефтеперерабатывающего завода от автономного источника. – Иваново: ИГЭУ, 2021. – 55 с. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/product-pdf/razrabotka-sistemy-parosnabzheniya-neftepererabatyvayushchego-zavoda-ot-autonomnogo>. Доступ 21.04.2022.

8. Шагеев М. Ф., Ахметов Э. А. и др. Исследование и разработка рекомендаций по режиму работы системы пароснабжения при минимальных расходах пара на нефтехимических предприятиях // Экспозиция нефтьгаз. – 2009. – № 4 (4). – С. 42. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13091116>. Доступ 21.04.2022.

9. Письменный В. Л. Многорежимная парогазовая установка // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2006. – № 7–8. – С. 43–48. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12138682>. Доступ 24.03.2022. ●

² Сайт компании Dampflokwerk Meiningen (Meiningen Steam Locomotive Works). [Электронный ресурс]: <https://www.dampflokwerk.de/en/>. Доступ 24.03.2022.

³ Technology of fireless steam locomotives. Steam storage technology uses the ability of water to store large amounts of energy under pressure. Сайт компании DLM AG. [Электронный ресурс]: <https://dlm-ag.ch/en/fireless-technology/>. Доступ 24.03.2022.

Информация об авторах:

Балабин Валентин Николаевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, vbbn2347@gmail.com.

Сербулов Алексей Юрьевич – главный конструктор ООО «Белспецлесмаш», Гомель, Беларусь, asrb@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 13.02.2022, одобрена после рецензирования 21.04.2022, принята к публикации 28.04.2022.





НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.1.002:625.31:662.64

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-11>

На краю Мещёры. История лесных дорог. Некоторые факты об истории строительства железнодорожных линий Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво. Часть 1

**Алексей Игоревич Федянин**

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ lekha.fedyanin@yandex.ru.

Алексей ФЕДЯНИН

АННОТАЦИЯ

В статье с привлечением архивных и других ранее не публиковавшихся материалов рассматривается история проектирования и строительства железнодорожных линий Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво, относившихся к Московско-Рязанскому отделению Московской железной дороги. Целью написания статьи является выяснение обстоятельств проектирования, строительства и эксплуатации указанных линий, а также выявление причин, приведших к их упадку и закрытию в середине 2000-х годов. Для достижения поставленной цели были проанализированы известные публикации в печати и сети «Интернет». Кроме использования данных из указанных источников была выполнена работа по поиску письменных источников по исследуемому вопросу в архивных учреждениях г. Москвы. Некоторые документы публикуются впервые.

Ключевые слова: железнодорожная линия, Кривандино, Рязановка, Сазоново, Пилёво, торфопредприятие, Великая Отечественная война, транспортное строительство.

Результатом всей проведённой работы стало установление следующих ранее бывших неизвестными или подвергавшихся сомнению фактов: железнодорожная линия Кривандино–Рязановка построена в 1943–1944 годах, участок Сазоново–Рязановка построен позже остальной линии. Назначение линии Кривандино–Рязановка по проекту и в первые годы её существования – перевозка дров для отопления Москвы. Дата приёма линии Сазоново–Пилёво в полном объёме на обслуживание Куровской дистанции пути – 1 января 1978 года. От северной горловины станции Пилёво подъездной путь отходил к стройдвору торфопредприятия «Мещёрское». По данным Куровской дистанции пути, перегрузочная станция широкой колеи торфопредприятия «Мещёрское» называлась Торфяная.

Первая часть статьи. Продолжение планируется к публикации в следующем номере.

Благодарности: Автор выражает благодарность составителям книги «Мещерская магистраль» за интересное произведение, ставшее источником вдохновения для работы и лично Вадиму Миронову за рецензирование и предоставленные фотографии; автору неоднократно упоминавшихся источников [2–4] – «Сайта о железной дороге» С. Д. Болашенко за познавательный ресурс с массой фактов об исследованных линиях, некоторые из которых также послужили катализаторами для настоящей работы, и желает ему творческих сил; исследователю узкоколейных железных дорог С. В. Косыгину за живое описание узкоколейной железной дороги торфопредприятий «Рязановское» и «Радовичский Мох» (Косыгин С. В. Прощание с Рязановкой. [Электронный ресурс]: http://www.pereyezd.ru/readarticle.php?article_id=124. Доступ 28.03.2020.) и выражает надежду, что когда-нибудь он все же опубликует полную её историю, а настоящий материал будет в этом чем-то полезен; заведующему кафедрой «Электропоезда и локомотивы» РУТ (МИИТ) профессору О. Е. Пудовикову за помощь в составлении запроса к руководству Московской железной дороги о предоставлении необходимых документов, службе пути Московской железной дороги и лично начальнику службы Д. А. Коренькову, главному инженеру П. Ю. Богданову за проявленный интерес к теме исследования и предоставление доступа к архивным материалам дороги; ГБУ «ЦГА Москвы» за сохранение важнейших документов по истории рассмотренных линий; особенно хотелось бы отметить сотрудников читального зала Отдела хранения научно-технической документации, их высокий профессионализм, ревностное исполнение должностных обязанностей и создание комфортной атмосферы при работе с документами.

Для цитирования: Федянин А. И. На краю Мещёры. История лесных дорог. Некоторые факты об истории строительства железнодорожных линий Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво. Часть 1 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 100–107. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-11>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Публикации об истории создания мало-деятельных линий в печати практически не встречаются, что легко объяснить даже самим термином, обозначающим характер работы этих линий – малодеятельный, то есть небольшой.

На востоке Московской области от станции Кривандино магистрального хода Москва–Муром на юг отходит железнодорожная линия, которая пересекает Егорьевское шоссе и приходит к поселку городского типа Рязановский и станции Рязановка. Немного не доходя до конечного пункта, возле населённого пункта Сазоново, от линии отходит ещё одна – круто вправо, на юго-восток. Эта линия подходит к станции Сороковой Бор у поселка Радовицкий, от которой поворачивает к северу, огибая поселок, а затем снова на восток и заканчивается на станции Пилёво уже в Рязанской области. Описанную картину можно увидеть только на картах выпуска 2000-х годов и ранее, на современных же представлен только участок Кривандино–Рязановка.

Известен лишь один печатный источник, в котором упоминаются рассматриваемые линии [1]. Он посвящён узкоколейной железной дороге Рязань–Владимир, в нём содер-

жатся следующие сведения: «Узкоколейка свела эти две стороны истории края, с 1952 года загромыхали торфяные поезда по мостам над каналом Жилинского. Залежи торфа оказались настолько мощными, что кроме узкоколейных линий, достигавших длины около 200 км, сюда в 1974 году была проложена ветка от Кривандино для перевозки торфа на Шатурскую ГРЭС» [1, стр. 140]. Таким образом, назначение одной из линий – перевозка торфа, что можно предположить и про другую линию, проходящей неподалёку.

В сети Интернет имеется источник [2], в котором на странице «Железнодорожная линия Кривандино–Рязановка» [3] сообщается следующее: «Протяжённость железнодорожной линии Кривандино–Рязановка составляет 53 километра. Железнодорожная линия пролегает по территории Шатурского и Егорьевского районов Московской области. На станции Сазоново к линии Кривандино–Рязановка с 1976 года по 2008 год примыкала действующая железнодорожная линия Сазоново–Пилёво. По состоянию на конец 2009 года линия Сазоново–Пилёво законсервирована, её будущее неясно. По состоянию на 2019 год она полностью разобрана. Решение о строительстве этой железнодорожной линии

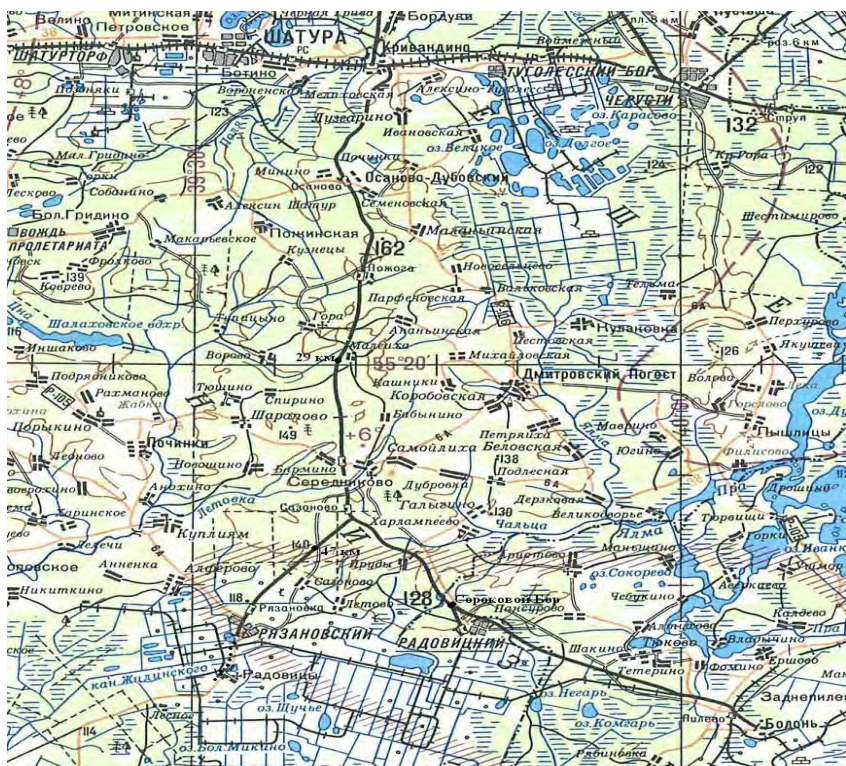


Рис. 1. Железнодорожные линии Кривандино–Рязановка и Сазоново–Пилёво на карте 1987 года [3].

было принято в 1943 году (постановление Государственного комитета обороны № 3599 от 17 июня 1943 года «О строительстве железнодорожной линии Кривандино–Радовицы») (РГАСПИ Ф. П-68, оп. 2, д. 7, л. 20). До Великой Отечественной войны строительство данной линии не значилось в ближайших планах, на что указывает, в частности, тот факт, что на топографической карте масштаба 1:100 000, изданной в 1941 году, отсутствует обозначение строящейся или проектируемой железной дороги, ведущей от станции Кривандино в южном направлении. О том, насколько важной была эта стройка, говорит следующий факт: для скорейшего осуществления строительства линии Кривандино–Рязановка было решено разобрать железнодорожную линию Вербилки–Большая Волга. На участке Кривандино–Сазоново железнодорожная линия была сдана в постоянную эксплуатацию в составе НКПС в 1944 году (согласно справочнику «Железнодорожные станции СССР»¹, изданному в 1981 году). Дата ввода в постоянную эксплуатацию участка Сазоново–Рязановка (Радовицы) с точностью не установлена (от 1948 года до 1951 года). Это не означает, что участок Сазоново–Рязановка был построен позже – дата ввода в постоянную эксплуатацию может значительно отличаться от даты открытия временного движения. В первые несколько лет работы железнодорожной линии Кривандино–Рязановка её протяжённость была примерно на пять километров больше – действовал участок от нынешней станции Рязановка до села Радовицы. Строительство посёлка у села Радовицы началось, однако затем было принято решение о его переносе на пять километров севернее. На этом месте был построен центральный посёлок, известный ныне под названием Рязановка (официальное название – Рязановский). Станция вблизи села Радовицы, скорее всего, носила название Рязановка – как и ныне существующая станция. Не позднее 1952 года было принято решение о переносе станции Рязановка на пять километров севернее. Участок от «старой» станции Рязановка (у села Радовицы) до «новой» станции (на нынешнем месте) после этого был разобран. В 1950-х либо 1960-х годах был построен ведомственный подъезд-

ной путь широкой колеи Сазоново–Радовицкий Мох. В 1976 году была открыта линия общего пользования Сазоново–Пилёво, частично проложенная на месте подъездного пути Сазоново–Радовицкий Мох. Основным грузом на железнодорожной линии Кривандино–Рязановка с момента её открытия и до 2009 года был торф. Массовая погрузка торфа велась на станциях Рязановка и Пилёво, где находились мощные, полностью механизированные торфоперегрузочные комплексы. Немеханизированная погрузка торфа осуществлялась также на станции Сороковой Бор. До начала 1970-х годов погрузка торфа велась на станции Осаново.

В том же источнике на странице «Железнодорожная линия Сазоново–Пилёво» [4] имеется следующая информация: «Протяжённость железнодорожной линии Сазоново–Пилёво составляет 33 километра. Железнодорожная линия пролегает по территории Шатурского района Московской области и Клепиковского района Рязанской области. К югу от станции Пилёво находится короткий подъездной путь до станции Мещёра, принадлежащей Мещёрскому торфопредприятию (протяжённость – около 1500 метров). По состоянию на 2006 год, железнодорожная линия относится к Московско–Рязанскому отделению Московской железной дороги. Железнодорожная линия на всём протяжении однопутная, нигде не электрифицирована. На линии есть одна промежуточная станция – Сороковой Бор. Начальный пункт линии – станция Сазоново, расположенная на линии Кривандино–Рязановка. История линии началась со строительства подъездного пути от станции Сазоново до посёлка Радовицкий Мох. Он был построен в 1950-х либо 1960-х годах. Линия Сазоново–Радовицкий Мох была ведомственной. Владелец линии не выяснен. Основное назначение линии – обслуживание деревообрабатывающего завода и других предприятий посёлка Радовицкий Мох. В 1970-х годах было принято решение о строительстве линии Сазоново–Пилёво с использованием части линии Сазоново–Радовицкий Мох. В том месте, от которого линия Сазоново–Пилёво использовала новую трассу (вместо использования линии Сазоново–Радовицкий Мох), была построена станция Сороковой Бор. Ранее построенный участок от Сазоново до Сорокового Бора был реконструирован. Радовицкий Мох превра-

¹ Архангельский А. С., Архангельский В. А. Железнодорожные станции СССР. – М.: Транспорт, 1981. – 380 с.

тился в конечный пункт небольшого ответвления. Железнодорожная линия была построена главным образом для вывоза торфа, добытого Мещёрским торфопредприятием. Мещёрское торфопредприятие находится в посёлке Болонь, вблизи станции Пилёво. Согласно справочнику «Железнодорожные станции СССР» (издан в 1981 году), дата ввода в эксплуатацию станций Сороковой Бор и Пилёво (широкой колеи) – 1976 год. Уникальность линии Сазоново–Пилёво состояла в том, что станция Пилёво фактически была «врезана» в существовавшую с 1899 года одноимённую станцию узкоколейной железной дороги общего пользования (Рязанско-Владимирской узкоколейной железной дороги)».

К первой цитате хотелось бы дать некоторые комментарии. Во-первых, в тексте Постановления ГКО говорится о том, что линия строится для снабжения Москвы дровами и организации добычи торфа, то есть утверждение автора источника [2] о том, что «Основным грузом на железнодорожной линии Кривандино–Рязановка с момента её открытия (выделено автором) и до 2009 года был торф» не совсем верно. Ниже будет дано тому подтверждение.

Во-вторых, в полном тексте постановления ГКО, доступном по ссылке в источнике [2], можно прочесть следующее: «В целях обеспечения дровами г. Москвы из Радовицкого лесного массива и лесов местного значения в районе Шатура–Радовицы и организации добычи торфа из торфяного массива «Радовицкий Мох» Государственный комитет обороны постановляет:

а) построить железнодорожную линию Кривандино–Радовицы протяжением 50 километров с необходимыми разъездами, станционными и погрузочными путями, водоснабжением, путевыми зданиями и телефонной связью, с расчётом пропуска 8 пар поездов в сутки;

б) трассу железнодорожной линии вести по направлению, обеспечивающему максимальное освоение всех лесов, расположенных между Шатурой и Радовицами. Строительство железной дороги начать в июне и открыть рабочее движение поездов в сентябре 1943 года;

в) вести строительство указанной железнодорожной линии по облегчённым техническим условиям, без утверждённого технического проекта и смет.

...3. Обязать Мособлисполком (т. Тарасова), Рязанский облисполком (т. Мамонова) и Мосгорисполком (т. Пронина) мобилизовать с 20 июня 1943 г. на время строительства железнодорожной ветки Кривандино–Радовицы по Московской области – 3000 рабочих и 500 возчиков с лошадьми, по Рязанской – 750 рабочих и 200 возчиков, в городе Москве – 1500 рабочих. Установить, что колхозники, мобилизованные на указанное строительство, с 15 августа 1943 г. освобождаются от работы на строительстве для проведения уборочных работ.

4. Обязать Комитет по Делах Высшей Школы при Совнаркоме СССР (т. Кафтанова) совместно с соответствующими наркоматами направить не позднее 15 июля 1943 г. на строительство железнодорожной линии Кривандино–Радовицы сроком на 2 месяца 5000 студентов, из них 2000 за счёт количества, предусмотренного Постановлением ГОКО (так в документе – *прим. автора*) от 24 марта 1943 г. № 3073 и 3000 дополнительно.

5. Установить, что за рабочими и служащими, мобилизованными на строительство железнодорожной ветки Кривандино–Радовицы и рабочих посёлков в соответствии с настоящим Постановлением, сохраняется по месту их постоянной работы заработная плата в следующих размерах: 80 % заработной платы – за работниками, имеющих на своём иждивении нетрудоспособных членов семьи и 40 % заработной платы за всеми остальными рабочими и служащими.

Сохранить за студентами, направляемыми на строительство железнодорожной линии Кривандино–Радовицы, на весь срок их работы на строительстве получаемые ими стипендии.

...7. Разрешить НКПС применять на строительстве железнодорожной линии Кривандино–Радовицы аккордно-премиальную (так в документе – *прим. автора*) систему оплаты труда в соответствии с Постановлением Государственного комитета обороны от 3 января 1942 г. № 1095с. <...>

...11. Обязать НКПС (т. Л. М. Кагановича) выделить для строительства железнодорожной линии Кривандино–Радовицы 40 километров рельсов со скреплениями и стрелочными переводами, для чего разрешить НКПС разобрать железнодорожную линию Вербилки–Большая Волга.

12. Обязать Наркомлес (т. Салтыкова) отгрузить в июне 1943 г. на строительство



железнодорожной линии Кривандино–Радовицы 10 километров рельсов со скреплениями за счёт разборки лесовозных путей и выделить 8 тракторов».

Как видно из этой цитаты, к строительству было привлечено значительное число гражданских лиц, работавших не бесплатно.

Из источника [4] очевидно, что история железнодорожной линии Сазоново–Пилёво началась со строительства подъездного пути до поселка Радовицкий Мох для обслуживания деревообрабатывающего завода и других предприятий. Однако из того же источника следует, что этот посёлок строился как рабочий для торфопредприятия, что представляется нелогичным. В связи с этим было необходимо найти другие сведения о рассматриваемых линиях.

Обращение в архив Московской железной дороги позволило установить факт передачи всех исторических материалов в ГБУ «Центральный государственный архив» города Москвы (ГБУ «ЦГА» Москвы). В ходе работы в данной организации удалось найти некоторые сведения по рассматриваемым линиям, которые представлены ниже.

Начало. Военные годы

Как уже отмечалось, железнодорожная линия Кривандино–Рязановка построена в соответствии с постановлением ГКО, которое, в числе прочего, предписывало вести строительство без технического проекта. Однако, такой проект всё-таки был составлен и сохранился до наших дней – «Технический проект ж.д. ветки Кривандино–Радовицы» [5]. Из него следует следующее:

В соответствии с пунктом «Назначение линии», железнодорожная линия предназначена для «...обеспечения дровами гор. Москвы из Радовицкого лесного массива и лесов местного значения в районе Шатур–Радовицы и организации добычи торфа из торфяного массива «Радовицкий Мох» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 5) (Здесь и далее орфография и пунктуация сохранены – прим. автора).

В пункте «Основные технические условия, принятые при проектировании ветви» читаем: «Железнодорожная ветвь Кривандино–Радовицы проектируется под один путь нормальной колеи по техническим условиям проектирования железных дорог облегчённого типа, с применением инструкции по про-

ектированию ж.д. в условиях военного времени. Длина ветви – 50 км. Руководящий уклон – 12 ‰ в обоих направлениях. Размещение отдельных пунктов произведено на заданную пропускную способность, с погрузкой дров, в первые годы эксплуатации ветви, на перегонах на всём протяжении линии. Верхнее строение пути: рельсы – старогодные разных типов; балласт – песчаный, толщиной под шпалой 0,15 м на станционных путях – 0,10 м; шпалы – непропитанные 1440 шт. на км на кривых радиуса 300 м – 1600 шт. Основные положения для проектирования ж.д. ветви Кривандино–Радовицы, утверждённые Главным инженером СТП т. Ефимовым и указания Союзтранспроекта по проектированию искусственных сооружений по ветви, приложены к настоящей записке в приложениях №№ 2 и 3» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 9).

Касательно направления строительства в проекте [5] говорится следующее:

«4. Выбор основного направления.

Радовицкий лесной массив является основным пунктом, куда подводится ж.д. ветвь Кривандино–Радовицы.

Одновременно с этим, попутно, в своей срединной части, проектируемая линия проложена по направлению, обеспечивающему максимальное освоение всех лесов, расположенных между Шатурой и Радовицким лесным массивом.

Проект освоения Радовицкого лесного массива, а также всех лесных массивов, расположенных между ним и Шатурой, составляется трестом «Мослеспром» Наркомлеса, с которым и произведено согласование направления линии «...» Эксплуатация Прудовской лесной дачи Радовицкого лесного массива обслуживаемой конечным участком трассы (42–50 км) ориентировочно исчисляется Мослеспромом в 2–3 года, после чего возникает необходимость сооружения нового «уса», направление которого Мослеспромом определено в сторону квартала № 102.

Это второе направление линии, нами обследовано в натуре с разбивкой трассы на местности, но строительством в настоящее время не осуществляется и относится на перспективу» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 9).

Из «Протокола совещания при главном инженере треста Мослеспрома НКЛеса РСФСР по вопросам выбора основного на-



Рис. 2. План трассы ж.д. ветки Кривандино–Радовицы (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л.8. Публикуется впервые).

правления проектируемой Мостранспроектom НКПС ж.д. ветки» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 72) следует, что объём имеющейся древесины в Радовицком лесном массиве составляет примерно 410 тыс. м³.

Для иллюстрации приведённых фрагментов ознакомимся со схемой проектируемой железнодорожной линии (рис. 2). Из него следует, что фактическая трасса рассматриваемой линии до станции Сазоново (Лесная) соответствует таковой в проекте. В соответствии с проектом, стройка продолжается в юго-восточном направлении до 50-го километра, а продолжение в юго-западном направлении в сторону деревни Радовицы, то есть туда, где позднее развернётся строительство торфопредприятия «Рязановское», «относится на перспективу». Следовательно, утверждение автора источника [3] «...Это не означает, что участок Сазоново–Рязановка был построен позже – дата ввода в постоянную эксплуатацию может значительно отличаться от даты открытия временного движения» можно считать опровергнутым в части не-

одновременности строительства участков Кривандино–Сазоново и Сазоново–Рязановка.

Также, можно утверждать, что, по меньшей мере, первые километры линии Сазоново–Пилёво были построены не в 50–60-х годах, как утверждается в [4], а раньше, в 1943 году.

Учитывая последующее развитие в районе Радовиц торфяной промышленности, встаёт вопрос: планировалось ли при проектировании линии Кривандино–Радовицы использовать её в дальнейшем для перевозок торфа?

Ответ содержится в Проекте [5]:

«5. Вопрос о дальнейшем направлении линии к Радовицкому торфяному массиву.

Проектируемая ж.д. ветвь Кривандино–Радовицы, кроме освоения Радовицкого лесного массива и лесов, расположенных в районе трассы, может и должна быть использована также для организации добычи торфа из Радовицкого торфяного массива «Радовицкий Мох», расположенного непосредственно



за Радовицким лесным массивом, южнее последнего.

Однако, этот вопрос к настоящему времени не разработан и Гипроторф своих соображений... сообщить отказался.

Ввиду изложенного выше, дальнейшая разработка вопроса о продолжении линии к Радовицкому торфяному массиву на этом прекращена.

«...»

Надлежит отметить, что при составлении генеральной схемы освоения Радовицкого лесного массива Рослеспроектом Наркомлеса в 1938–1939 гг. поднимался вопрос о сооружении Радовицкой узкоколейной ж.д. на кооперированных началах Наркомлеса с Главным Управлением торфяной промышленности, но, в конечном счёте, не получил какого-либо разрешения, ввиду отсутствия более или менее определённых наметок и соображений в Гипроторфе о месторасположении торфопредприятий, базирующихся на разработке торфяного массива «Радовицкий мох», а также ввиду уточнения направлений основных грузопотоков торфа и его фабрикатов...» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 10).

Приведём текст письма из института Гипроторф по поводу строительства торфопредприятий на торфомассиве «Радовицкий Мох»:

«Начальнику экспедиции Мостранспроекта тов. Кучину.

На Ваше письмо от 29/VII с.г. за № 49 сообщаем, что проект организации торфопредприятия на базе торфомассива «Радовицкий Мох» в настоящее время не составляется, а поэтому указать направление продолжения линии Кривандино–Лесная до конечной торфяной станции невозможно. Для составления соображений просим представить план трассы масштаба 1:100000.

2 августа 1943 года.

П/п Управляющий Гипроторфом – Варламов. Главный инженер Гипроторфа – Никольский» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 73).

Однако в проекте имеется и письмо следующего содержания:

«15.XI.39

Главторф сообщает, что по предварительному плану III пятилетки на базе Торфомассивов «Радовицкий Мох» и «Рязановка» предусматривается строительство з-да искусственного обезвоживания торфа с проект. мощн.

300 тт. в год и торфобрикетного з-да с проект. мощн. 300 тт. брикетов в год.

В 1940 г. намечено приступить к составлению проектных задач: и тех. проектов по указанным з-дам и сырьевой базе.

Направления основных грузопотоков с указанных торфомассивов окончательно ещё не установлены.

Поэтому Главторф не считает для себя возможным принять участие в совместной постройке Радовицкой у/кол.ж.д. до окончания тех. проектов и до уточнения направлений основных грузопотоков.

П/п и.о. начальника Главторфа – Самсонов» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 73. Обратная сторона).

Следовательно, утверждение автора источника [2] о том, что основным грузом на линии Кривандино–Рязановка с момента постройки был торф, можно считать обоснованно опровергнутым.

О технологии работы линии Кривандино–Радовицы Проект [5] сообщает следующее: «Обслуживание самой линии производится паровозами серии О», приписанными также к депо ст. Черусти.

На ветви предусматривается два маневровых района: один район от ст. Кривандино до ст. Пожого и второй район от ст. Пожого до ст. Лесная, включая продолжение ветви до 50 км. Каждый маневровый район имеет свой паровоз с составительской бригадой.

Поступление порожних вагонов для погрузки на ветви предусматривается со стороны Москвы цельносоставными поездами или отдельными группами со сборными поездами, приём этих поездов на ст. Кривандино предусматривается производить на дополнительно укладываемый путь № 4.

После отцепки порожних вагонов, их технического осмотра и оформления приёма и сдачи, подача под погрузку на ветвь производится веточным паровозом первого маневрового района.

Паровоз заходит в голову порожнего состава, отцепляют 38 условных двухосных вагонов, что соответствует двум гружёным составам, курсирующим по ветви /по 19 в/ и, паровозом вперёд, отправляет их на ст. Пожого. Здесь он производит отцепку всех вагонов, а сам возвращается на ст. Кривандино за следующими вагонами.

Очередной сцеп, в количестве также 38 условных двухосных вагонов, паровоз осаживает

вает на перегон до ст. Пожого, или до последней точки – погрузки этого района, откуда обратным рейсом производит расстановку вагонов по местам погрузки.

По расстановке вагонов, паровоз возвращается на ст. Кривандино и на запроектированном тупике № 13, ожидает окончания погрузки.

Тем временем паровоз второго района, таким же порядком, выводит порожняк со ст. Пожого на ст. Лесная, часть из них осаживается на ветви, а оставшуюся часть, обратным рейсом, расставляет по пунктам погрузки на перегоне Пожого–Лесная. Сам возвращается на ст. Пожого и ожидает конца погрузки.

По окончании погрузки оба паровоза, каждый на своём участке, путём последовательного осаживания и сцепки собирают по 19 вагонов и двумя рейсами выводят на станции: первый на ст. Кривандино, второй – на ст. Пожого.

После вывода двух гружёных составов на ст. Кривандино и освобождения перегона Кривандино–Пожого, первый паровоз уходит на ст. Пожого для экипировки, а второй паровоз отвозит один из своих двух готовых составов на ст. Кривандино, после чего возвращается на ст. Пожого. А первый паровоз, пройдя экипировку, возвращается на ст. Кривандино с оставшимся гружёным составом.

Оставшиеся на ст. Кривандино непогружённые четыре условных вагона ставятся первым паровозом под погрузку на перегон Кривандино–Пожого и по окончании погрузки выводятся на ст. Кривандино.

Этим заканчивается полный цикл суточных маневровых операций, продолжительностью, в общей сложности, около 20 часов.

Для обеспечения заданной пропускной способности восьми пар поездов в сутки, места погрузки с перегонов переносятся на отдельные пункты, где путевое развитие расширяется до пределов указанных на чертеже.

Приём гружёных составов с ветви на ст. Кривандино производится на новый путь № 5, где, с помощью параллельных съездов, производится последовательное накопление веточных составов весом по 570 т до полного поезда главной линии, весом 1800 т.

Как видно из соотношения весовых норм поездов, три веточных состава образуют один полновесный поезд главной линии.

На долю первого маневрового паровоза ложится также маневровая работа и на ст. Кривандино, которая состоит из:

- а) возможной сортировки порожних вагонов на крытые и платформы;
- б) формирование поезда назначением на Москву /подбор по весу/;
- в) выкидка отдельных вагонов /больных и местной погрузки-выгрузки.

Для этой цели на ст. Кривандино предусмотрена вытяжка и тупик для выкидки вагонов.

По готовности полного состава высылаются поездной паровоз со ст. Черусти, с которым и отправляется поезд на Москву.

Общая регулировка распределения порожняка для подачи к местам погрузки и уборка гружёных вагонов на ст. Кривандино, осуществляется диспетчером ветви, находящимся на ст. Пожого, посредством телефонной связи» (ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 17-18. Обратная сторона).

Продолжение в следующем номере

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Берзин А., Миронов В. Мещёрская магистраль. – Владимир: Посад, 2004. – 190 с.
2. Сайт о железной дороге. [Электронный ресурс]: <http://infojd.ru>. Доступ 28.03.2020.
3. Железнодорожная линия Кривандино–Рязановка. [Электронный ресурс]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13196.html>. Доступ 28.03.2020.
4. Железнодорожная линия Сазоново–Пилёво. [Электронный ресурс]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13483.html>. Доступ 28.03.2020.
5. Технический проект ж.д. ветки Кривандино–Рядовицы. ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 229–232.

СПИСОК АРХИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

- Российский государственный архив социально-политической истории (РГАСПИ) Ф. П-68 оп. 2 д. 7 л. 20.
Центральный государственный архив города Москвы» (ГБУ «ЦГА Москвы») Ф. Т. 51 оп. 62 д. 232 л. 5–81.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 157.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 179.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 245.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 269.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 4 д. 96 л. 19–22.
ГБУ «ЦГА Москвы» Ф. Т. 51 оп. 62 д. 269 л. 71. ●

Информация об авторе:

Федянин Алексей Игоревич – аспирант Российского университета транспорта, Москва, Россия, lekha.fedianin@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 08.02.2021, представлен исправленный текст 26.01.2022, одобрена после рецензирования 14.02.2022, принята публикации 05.03.2022.





О книге Н. П. Верховского «Железнодорожная неразбериха». Часть 3



Пресс-архив

Продолжение публикаций в двух предыдущих номерах.

Напомним, что в 1910 году опытный руководитель железных дорог Николай Петрович Верховский представлял в VIII Отделе Императорского Российского Технического Общества написанную им книгу «Железнодорожная неразбериха», посвящённую комплексному решению широкого круга насущных вопросов организации работы железных дорог.

В публикуемой в этом номере третьей части акцент сделан на работу советов при управляющих дорогами, роль службы движения в деятельности железных дорог, а также на борьбу с хищениями. Не обойдены были и, выражаясь современным языком, организационно-штатные вопросы. В конце доклада были подведены итоги выступления.

В тексте максимально сохранены пунктуация и лексика автора.

Этой публикацией текст доклада Н. П. Верховского исчерпывается. Однако в одном из следующих номеров планируется разместить выдержки из последовавшей за ним дискуссии, некоторые аспекты которой, хотя бы в части постановки вопросов, актуальны и поныне.

Ключевые слова: история, российские железные дороги, образование, управление, менеджмент, персонал.

Стенографический отчёт по докладу Н. П. Верховского и беседе в VIII Отделе И. Р. Технического Общества 2-го декабря 1910 года, под председательством А. Н. Горчакова.

Председатель. – Милостивые государи! Программа доклада Николая Петровича помещена в повестке. Как вы видите, она очень обширна, по крайней мере, по числу строчек, которые она занимает.

Для цитирования: О книге Н. П. Верховского «Железнодорожная неразбериха». Часть 3 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 108–118. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-12>.

Благодарность. Редакция выражает признательность сотрудникам библиотеки Российского университета транспорта за помощь в подготовке материала.

Полный текст архивной статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

Организация управления железнодорожным делом

Организация местных советов управления. — «Не-техник» сетует на Совет местных управлений дорог, в которых представители Государственного Контроля и Министерства Финансов парализуют энергию начальника дороги и лишают его надлежащей практической производительности.

«Поэтому, — говорит он, — ближайшей целью местной реформы железных дорог должно быть создание таких условий деятельности начальника дороги, при которой он действительно был бы свободен и самостоятелен в своих распоряжениях, только тогда можно с достаточным основанием предъявлять к нему самые широкие требования и делать ответственным за неудовлетворительное их выполнение».

С таким заключением я несогласен.

Мнение автора о советах. — Должен огорчиться, что, вообще, во мнении об утилитарности и необходимости советов, по крайней мере, в данное время, я совершенно расхожусь как с «Не-техником», так и со всеми высшими железнодорожными инженерами, а также и с комиссией Гос. Думы.

Не смущаясь исключительностью и изолированностью моего взгляда, идущая вразрез излюбленным мечтам начальников дорог, беру на себя неблагодарный труд — доказать нерациональность отмены учреждения советов.

Совет не может парализовать энергию начальника дороги, если только она у него имеется. Энергичный, деятельный, способный и авторитетный начальник дороги, обладающий духовною мощью, всегда сумеет доказать совету рациональность своих требований. Только лишённый нравственной силы, малоспособный и не авторитетный начальник, или если он и не обладает такими отрицательными качествами, а только слабохарактерный, — может потерять нравственное влияние на представителей посторонних ведомств и не сумеет импонировать им. Последние тем легче накладывают своё veto на требования начальника дороги, чем он податливее и чем несерьёзнее защищает свои предложения. Серьёзность протеста начальника дороги парализует взгляды представителей; они, для особых мнений, которыми обязаны мотивировать несогласия с начальниками дороги, не найдут серьёзных оснований для отказов и воздержатся от них.

Начальники дорог, как председатели советов, имеют такие обширные права, которые

предоставляют им, в случаях несогласия с советом, право приостанавливать исполнение постановления Совета и обжаловать его перед комитетом управления, а в экстренных случаях они имеют право расходовать суммы под личную свою ответственность. В таких случаях, конечно, требуется достаточный запас гражданского мужества и уверенности в своей правоте. Вопросы только решаются коллегиально, приводятся же они в исполнение единолично властью начальника дороги.

Компетенция Советов. — Со времени учреждения Советов, я служил с шестью начальниками дорог, из них двое действительно авторитетные лица всегда приводили Совет к соглашению, хотя нередко после долгих споров. «*C'est la force morale qui gagne les batailles*» — говорил Наполеон.

Совет ведаёт хозяйственными и экономическими вопросами, которые, за весьма редким исключением, не требуют спешности: к тому же их всегда можно снять с программы для дополнения и изменения и перенести на следующее заседание. Он официальный блюститель экономии и хозяйственности ведения дела.

Вопросами технического движения и административными распоряжениями ведаёт сам начальник дороги без участия Советов.

В смете 1909 года был приведён расход на эксплуатацию всех казённых дорог в сумме 434 миллионов, из коих на одни новые работы ассигнован 41 миллион. Как-то даже неловко одним лицам брать на себя единолично решение крупных денежных вопросов не только во избежание ошибок, но даже нареканий — в возможном пристрастии.

До учреждения Советов постоянно были слышны нарекания на разные неправильности при сдаче подрядов и даже были обвинения в недобросовестности. Всё это, с учреждением Советов прекратилось, так как для контрагентов всякого рода коллегиальное решение их дел представляет значительно большие гарантии беспристрастия и справедливости, чем единоличное — одним начальником дороги по докладу начальника службы. Деловая разносторонняя критика, которой подвергаются хозяйственные вопросы в Совете, ограждает их от риска скоропелых и субъективных решений.

Советы спасли начальников дорог от нареканий и подозрений в недобросовестности.

Во всех почти ведомствах финансовые, экономические и хозяйственные вопросы ре-



шаются в присутствиях, в составе многих чиновников и при участии представителя Государственного Контроля. Почему же для ведомства Путей Сообщения надо сделать исключение.

Совет без участия представителей ведомств – это одна фикция, не имеющая никакого значения, так как ни один начальник службы не посмеет возражать авторитетному начальнику дороги, если он пожелает решать дела по своему личному усмотрению и под давлением своей ферулы. Такой семейный Совет был бы смехотворным бутафорским учреждением.

Вопрос об упразднении Советов. – В прошлом году в Гос. Думе был поднят вопрос об упразднении Советов, и их отстояли только благодаря настойчивым доказательствам Министра финансов. Из их состава упразднили только одного члена от Министерства путей сообщения, так как Министр путей сообщения и его товарищ не сумели отстоять своё детище, хотя и старались.

К сожалению, Гос. Дума не вникла в сущность функции Советов, отождествив их с обыкновенными Советами, имеющими только совещательные функции. В её же залах раздавались резкие отзывы и порицание абсолютизма бюрократии, и рекомендовалась идея коллегиального ведения дела, между тем в этом вопросе она сама, по-видимому, бессознательно покровительствовала абсолютизму и сыграла в руку стремлению к самовластию начальников дорог.

Дума стремилась к упорядочению и сокращению расходов железных дорог и начала с того, что хотела упразднить коллегиальное учреждение, функция которого и состоит, главным образом в удержании железных дорог от непроизводительных расходов, в отстаивании широких интересов фиска, против притязания к проведению узких интересов ведомства путей сообщения.

Стремясь к охране казённого сундука, она хотела снять с него часовых.

Непременный член от Министерства путей сообщения. – Пока сократили одного неперменного члена от Министерства путей сообщения, что сделано неправильно, так как тем самым ослаблено ведомство путей сообщения и представительство его интересов в Совете управления. Функция неперменного члена в самом Совете была почти исключительно умиротворяющая, и ему, как нейтраль-

ному лицу, не принадлежащему к составу лиц, расходующих казённые суммы, представители верили больше, чем управлению, и, таким образом, начальнику дороги при помощи неперменного члена легче было вести дела и отстаивать интересы дороги. Наконец, Министр путей сообщения часто давал своим неперменным членам поручения по расследованиям разного рода, и многие неперменные члены представляли обстоятельные исследования положения различных организаций на дорогах и даже делали научные расследования экономического положения края тех дорог, в состав управления которых они входили. Свои 6000 они во многих случаях зарабатывали добросовестно.

По упразднению кредита на содержание неперменных членов и оставлению ими своих должностей, отсутствие их в Совете было часто очень заметно. Даже начальник Николаевской дороги просил оставить представителя Министерства путей сообщения для исполнения им своих обязанностей без содержания ввиду того, что неперменный член Совета Николаевской дороги обеспечен жалованьем по другой должности, он охотно согласился продолжать своё служение в Совете, что и было разрешено Министром и не противоречило решению Гос. Думы, так как ей уничтожены кредиты, но должности оставлены.

Уничтожение Советов. – Совет – учреждение молодое; функции его надо было развивать, изменять и дополнять, а не уничтожать самые основы его существования. Воодушевлённый идеей сокращения расходов, внушённой Гос. Думой, докладчик её не обладал ни знаниями, ни талантом, которые дали бы ему возможность найти действительно сколько-нибудь значительные статьи для сокращения, из-за которых стоило бы утруждать Гос. Думу и ломать копыя с путевым ведомством. Он ограничился выхватыванием из общей организации учреждений ведомств нескольких должностей, не выяснив их полезности.

Ещё сокращение расходов по оплате должностей, составлявших дополнительный заработок чиновников, живущих в Петербурге и получавших по совместительству двойные и тройные оклады, имело свой *raison d'être*, но сокращение неперменных членов от Министерства путей сообщения, то есть 120 тысяч в полумиллиардном бюджете, – это пустяк в финансовых успехах, как будто осязательный, но,

в сущности, приносящий значительно большие убытки, не подлежащие лёгкому учёту.

В самой Гос. Думе раздавались голоса о таких ничтожных сокращениях, которые своей незначительностью компрометируют серьёзность мероприятий, вносимых ей в жизнь (член Гос. Думы Некрасов).

Уничтожением самих Советов, или даже одних представителей ведомства путей сообщения, докладчик, как инженер путей сообщения, сыграл в руку своим сотоварищам по канту, тем самым сотоварищам, которых он же громил за их бесхозяйственность, бессистемность и злоупотребления.

Необъяснимый парадокс. – В этом вопросе замечается какой-то необъяснимый парадокс. Обвиняют местные управления железных дорог в бесхозяйственности и злоупотреблениях и как логический, якобы выход из такого положения, в Гос. Думе рекомендуется упразднение Советов, как учреждённых, будто бы, своей опекою над управлением, мешающих правильному ведению дел. По моему крайнему разумению такой вывод далёк от логики. Единственный логический вывод – это отыскание и установление некоторых дефектов в организации того и другого учреждения, то есть в органе распорядительном и органе опеки. Ведь указанные ненормальности в ведении дел в более резком проявлении существовали и до Советов, где же гарантия в том, что отмена такого учреждения и возвращение к старому режиму окажет благодетельное влияние на дело?

Одна из целей учреждения Советов. – Учреждение Совета, между прочим, имело целью сблизить между собой службы и отделы в лице начальников служб и отделов, взаимно ознакомлять их с деятельностью их коллег, чтобы все руководители дела были в курсе дел других служб, достигая таким образом общности и солидарности действий всего состава управления, под объединяющим и доминирующим влиянием начальника дороги, образуя как бы подобие кабинета в миниатюре, с премьером-начальником дороги во главе.

Проект новой организации ведомства. – По слухам, в проекте новой организации ведомства путей сообщения, Советы оставлены с участием главного контролёра и члена от Мин. финансов. Если они пройдут в Гос. Думе, с организацией представителей ведомств не в смысле бюрократических ширм, а в смысле фактических деятелей, то вопрос об их необходимости будет решён окончательно.

Если же представители Государственного контроля и Министерства финансов будут лишены права veto и будут пользоваться в Совете только совещательным голосом, это будут чисто маргинальные Советы, лишённые всякого коллегиального значения.

Навряд ли Государственный контролёр и Министр финансов согласятся на такую ничтожную роль своих представителей, роняющих престиж этих ведомств, не привыкших к бутафории.

Представители этих ведомств высоко держат своё знамя и привыкли быть всегда действительными представителями, с которыми надо считаться, а не маргиналами.

В настоящее время, начальник дороги и начальник службы и отделов должны серьёзной аргументацией и доводами получать согласие представителей ведомств на вносимые ими в Совет мероприятия, и чтобы их veto не затормозило бы дело. При отмене veto их совещательные голоса потеряют всякий смысл и значение, они будут гласом вопиющего в пустыне – и даже хуже, их будут слушать, но конкретно показывать, насколько их игнорируют, как бы мстя за прежнюю силу. Положение будет смешное и обидное и уже во всяком случае незавидное для тех, которым придётся быть такими представителями.

Участие в Советах председателей порайонных комитетов. – Проектом предполагается введение в Советы управления председателей порайонных комитетов, мероприятие почти фиктивное, так как фактически они не в состоянии исполнить возлагаемую на них обязанность. В Москве три, в Петербурге два местных управления казённых дорог, следовательно, председателю порайонного комитета придётся терять минимум 2–3 дня в неделю, посвящая их занятиям Совета, чего, конечно, он без ущерба для комитетского дела выполнить не может.

Восточный комитет, имеющий свою резиденцию в Самаре, отстоит от управлений дорог, входящих в его район, слишком далеко, – Ашхабад на 3358 вёрст, Томск на 2559 вёрст, Пермь на 1639 вёрст. Следовательно, на один проезд в эти три управления необходимо употребить целый месяц. Очевидно, председатель может посетить Советы этих управлений не более одного раза в год, а такое посещение, для принятия участия в делах, никакого делового значения иметь не может.



Участие представителей. — Приглашение начальником дорог, как предполагает проект, к участию в заседаниях Совета представителей различных общественных учреждений, с правом совещательного голоса, по моему мнению, не может оказать решительно ни малейшего влияния на успешность хода дел управления. Очевидно, начальник дороги будет приглашать в Советы своих хороших знакомых, которые будут воспевать ему панегирики и ничего существенного в хозяйство дороги не внесут. Лица, которые могли бы указать на дефекты в управлении дорогой, приглашены не будут. Вообще введение в Советы участия председателей порайонных комитетов, и посторонних лиц, по произвольному приглашению начальников дорог, по моему мнению, плохая компенсация — отнятия права veto от представителей ведомств и изъятия из Советов непременных членов от Министерства путей сообщения.

История вопроса. — Чтобы выяснить себе действительное положение дела, не мешает бросить ретроспективный взгляд и немного заглянуть в историю железнодорожного дела, которую припомню здесь в кратком изложении.

Инспекция. — В доброе старое время, когда дороги были ещё частные и существовала инспекция, которая тоже мешала управляющим дорогами (?), дело шло порядочно; почему? — сказать трудно. Но, по всей вероятности, само дело было значительно проще, и во главе дорог стояли люди, выдвинувшиеся по своим организаторским способностям.

Инспекцию отменили, предоставив управляющему инспекторские функции над распорядителем, или над самим собою, развязали ему руки; но пошло ли от этого лучше дело?

Угольный комитет. — Уже в восьмидесятых годах затруднения в перевозке каменного угля, с которым не могли справиться самостоятельные управляющие дорог, вынудило Министра путей сообщения ходатайствовать о назначении особого инженера с Высочайшими полномочиями для урегулирования перевозки угля в каменноугольном районе. Этим инженером (В. М. Верховским) была упорядочена перевозка угля и организован Харьковский комитет, ставший впоследствии прототипом нынешних порайонных комитетов.

Обезличение подвижного состава. — Между прочим, этим же инженером, в силу данных ему полномочий, введено обезличение

вагонного подвижного состава всех русских ширококолейных дорог, и дороги избавлены, наконец, от перегрузки грузов на всех передаточных пунктах, представлявшей крайнее затруднение в скорости перевозки грузов и массу неудобств, которые давно уже были созданы всеми дорогами. Но правления разных дорог и управляющие не могли между собою столкнуться и не решались на такую общепользную меру, необходимость которой признавалась всеми. Нужна была единоличная властная рука, чтобы разом разрубить этот Гордеев узел, туго затянутый отжившими и вредными традициями.

Такая постановка животрепещущих вопросов не доказывает самостоятельности управляющих дорогами и умения их добиваться солидарности между собою в решении важных основных вопросов и указывает на необходимость не оставлять их без авторитетных сотрудников (нянек).

Общий устав. — Этой комиссией выработан Общий устав, введённый в действие в 1885 году, положивший основание для регламентирования железнодорожного дела и установивший правовые отношения железных дорог к их клиентам, т.е. пассажирам и грузохозам. Клиентам дорог предоставлено право законным образом через посредство суда искать свои убытки в случае нарушения дорогами правил перевозки и сроков доставки грузов, установленных Общим уставом, ставшим законом.

Распределительные бюро. — Уже в 1894 году образование постоянных закупориваний станции и загромождение вагонами даже целых дорог вызвало необходимость учреждения распределительных бюро, которые были не по вкусу начальникам дорог и управляющим. Некоторые из них не желали даже исполнять наряды, даваемые заведующими распределительными бюро, о направлении вагонов к порученным станциям.

Но если бы дороги сами могли столкнуться между собою о плановности движения гружёных вагонов, то не пришлось бы изобретать особые бюро. Очевидно, существовавшие дефекты в перевозках, которые самостоятельные начальники и управляющие дорогами не были в силах устранить солидарностью своих действий и распоряжений, — вызвали организацию, вторгавшуюся в их компетенцию.

Инструкция поверенных. — Около конца восьмидесятых годов Министром путей сооб-

щения была утверждена инструкция для поверенных по судебным делам казённых железных дорог, выработанная управлением железных дорог, которая ставила юрисконсультов местных управлений почти в независимое от начальников дорог положение. Очевидно, это сделано было только потому, что начальники дорог, в силу развитого у них самодурства, проявляли тенденции не признавать законоположение и не считаться с мнением и заключением специалистов юристов.

Такое мероприятие не могло не нанести ущерба престижу начальника дорог, но оно было вызвано, с одной стороны, нетактичным проявлением самодурства инженеров, считающих себя универсально образованными и компетентными в решении даже судебных дел, а с другой, — для поднятия авторитета юрисконсультства в глазах начальников дорог.

Тем временем дефициты, беспорядки шли кренделю.

Государственный контроль, советы и общие присутствия. — Наконец учредили государственный контроль, сначала последующий, а потом и предварительный. Понадобились Советы, общие присутствия и наконец, в последней стадии, — порайонные комитеты.

Порайонные комитеты. — Последнее учреждение более всякого Совета связало начальников дорог, а также и управляющих, что называется, по рукам и ногам, и, что всего важнее, связало не в хозяйственных функциях, а в чисто распорядительных.

Ввиду новизны этого крайне полезного учреждения, особой симпатии к нему самого Министра и Управления железных дорог, справедливо возлагающих на него большие надежды, пока ещё не рискуют жаловаться на стеснение ими самостоятельности начальников дорог; но что оно действительно парализовало самостоятельность их, так это не требует доказательств по своей очевидности. К тому же комитеты требуют от дорог массы работы, а Советы только копии докладов, которые печатаются на машинке в нескольких экземплярах и не дают лишнего труда.

Хозяйство частных дорог. — В общей и специальной прессе постоянно раздаются голоса, утверждающие о лучшем ведении хозяйства на частных дорогах по сравнению с казёнными. Если это действительно так, то не потому ли, что управляющий частной дорогой имеет несравненно менее самостоятельности, чем нач. дороги. Все заказы, покупки

и договоры с контрагентами совершаются правлением, которое тоже коллегиальное учреждение из трёх-четырёх директоров.

Правление, имея в своём ведении одну дорогу, устанавливает постоянное и непосредственное общение с управлением и находится в курсе всех дел дороги, и управляющий обо всем советуется с правлением и испрашивает его разрешения. Назначение всех высших и даже средних агентов зависит всецело от воли правления, и без его согласия управляющий дорогой не может уволить никого из агентов, назначенных правлением.

Начальник дороги — это уполномоченный управления железных дорог, а управляющий только приказчик своего правления.

Управление казённых дорог, имея в своём ведении 40 000 вёрст дорог, вовсе не может иметь общение с линиями и почти не в курсе всего, совершающегося на линиях. Роль Правления на частных дорогах, некоторым образом, входит в функции Советов и не переменного члена от Министерства путей сообщения на казённых дорогах.

Во всяком случае, если считать Советы непрошенными соглядатаями за деятельностью казённых дорог, то в частных дорогах соглядатаев гораздо больше.

Если бездарность некоторых начальников дорог лишает их возможности бороться с членами Совета, то упразднение последних можно принять за покровительство бездарности. Такое постановление Гос. Думы грешит против естественной историко-экономической эволюции — поглощения слабых безжизненных элементов — сильными жизнеспособными. В нём проглядывает только торжество абсолютизма.

Непрактично действительную жизнь втискивать в рамки доктринёрских постановлений; она в них не уляжется. Я глубоко убеждён, что через несколько лет непрактичность упразднения Советов прежней организации выльется рельефно наружу и придётся, *volens-nolens*, — двигаться вспять.

Только одно мероприятие может спасти ведомство от такого ретроспективного движения — это серьёзная подготовка начальников дорог к их трудной деятельности и строгий деловой, вне всякого влияния связей и рекомендаций выбор достойных инженеров и деятелей, выдающихся своими талантами, честностью, способностями и заслугами перед ведомством и железнодорожным делом: «*Da ist der Hund begraben*».



Ревизии железных дорог. – Работая на железных дорогах на высших должностях 38 лет (с 1871-го года), мне пришлось служить с 5-ю управляющими и 6-ю начальниками дорог и, к сожалению, я вынужден был прийти к заключению, не особенно лестному для большинства из них.

Отношение к делу управляющих и начальников дорог. – В прежнее старое время управляющие дорогами вели дело, или, по крайней мере, старались вести его вполне правильно; отношения их к служащим отличались беспристрастием и даже отеческим участием; во всём видно было как бы сознание серьёзности своих обязанностей, могущей быть ответственности за свои действия, хотя в то время жилось и служилось гораздо проще и свободнее, но зато все относились как-то добросовестнее к труду и работали не за страх, а за совесть (доброе старое время!!!).

Резолюции. – В последние годы замечается такое отношение к делу и служащим, которое как бы исключает всякую возможность подлежать ответственности. Стоит только просмотреть резолюции, налагаемые некоторыми начальниками дорог на бумагах, рапортах и докладах, чтобы убедиться в том, что масса их налагается в предположении, что они никогда не увидят свет и не попадутся на глаза лицам, вышестоящим или ревизующим их деятельность. Предположение совершенно верное, так как никогда и никто из лиц, высылаемых из управления дорог и Министерства, не заглядывает во внутреннюю переписку. Это как будто домашнее дело, в котором, как говорят, душа нараспашку, и здесь-то её хорошие и дурные стороны всего виднее.

Служебная переписка. – Между тем наибольшее количество своего служебного времени все старшие лица управления и, конечно, сами начальники дорог посвящают переписке, и она может служить характерным критерием воззрения и деятельности начальника дороги и каждого старшего служащего; заглянуть в неё не только не мешает, но и следует. До тех пор, пока внутренняя переписка начальника дороги с начальниками служб и последних между собой и внутреннее делопроизводство не будут подлежать контролю или просмотру, до тех пор порядок на дорогах не будет.

У меня в портфеле имеется немало образцов разных резолюций по весьма серьёзным вопросам и делам, входящим в область не только порядка на дорогах, но и безопасности движения, и годных более для юмористических журналов,

чем для серьёзного дела. Когда-нибудь и они увидят свет и удивят его своею абсурдностью. Такая переписка при ревизии конкретно покажет неподготовленность многих старших служащих и начальников дорог к несению возложенных на них серьёзных задач, а с другой стороны – выдвинет людей способных, которые почему-либо остаются в тени.

Постоянные министерские ревизии. – Чтобы поднять завесу таких тайников, необходима организация, нечто вроде сенаторских ревизий, производимых периодически на всех казённых дорогах, без всякого конкретного повода.

Занимающие высокие посты члены Совета министров могли бы назначаться для производства таких ревизий.

Способ ревизования. – 20 казённых дорог могли быть обревизованы в четыре года раз, до пяти дорог в год. Начать ревизию, конечно, необходимо с тех дорог, за которыми числится много дефектов.

В комиссии членов совета должны войти специалисты всех служб, чтобы система «втирания очков» не имела места и чтобы ревизия была произведена членами лично, со знанием дела и полным беспристрастием.

Председателем и членами ревизионной комиссии должны назначаться лица с безупречным прошлым, дабы ни общество, ни служащие не могли заподозрить их в односторонности и пристрастии к лицам, входящим в сферу ревизии. При этом ревизия должна быть вполне деловая – без всякой тенденции к полицейскому сыску.

Эти же ревизии могли бы разбирать жалобы служащих и частных лиц на управление дороги.

Такое учреждение оказало бы благотворное влияние на примирение общества и печати с железными дорогами и на ход железнодорожного дела, и одновременно дало бы в руки Министра могучий ключ к исследованию железнодорожной Terra incognita, со всем его этнографическим бытом и его особенностями.

Доминирующее положение службы движения. – Служба движения – единственная служба, вырабатывающая железнодорожные ценности, и от правильной постановки организации её деятельности зависит вся доходность дороги.

Основные функции её – удовлетворение потребностей населения в перевозке пассажиров и грузов, при непременно условии наименьших расходов и наибольшей утилизации предоставленного в её распоряжении подвижного состава.

Задача трудная, и исполнение её всецело зависит от следующих условий:

1) удачного подбора личного состава, от верхов до низов включительно;

2) средств, предоставленных службе, в отношении приёмной, пропускной и провозной способности дороги;

3) дружного содействия всех остальных служб, особенно технических, в устройстве постоянных и временных оборудований, необходимых для выполнения и облегчения работы службы.

Начальники движения. — Долгое время посты начальников службы движения занимали исключительно практики, выделившиеся своей распорядительностью и умением руководить делом и успешно пользоваться подвижным составом.

Таким образом, служба движения, вследствие недостаточности авторитета своих принципов и значительной авторитетности начальников пути, которыми всегда были инженеры путей сообщения, а впоследствии и начальников тяги, во главе которой становились по большей части инженеры механики, — отодвинута на третий план и утратила своё настоящее место.

Перемена взгляда на службу движения. — В последнее время вновь возрождается взгляд на доминирующее положение службы движения в среде других служб, и ей начинают отводить должное место. Этому главным образом способствует сознание, что от достаточности и от удобства оборудования, необходимых для правильного выполнения функций движения, и от распорядительности её агентов зависит успешность дела и доходность дорог. Дефицитность дорог вынудила всех обратить серьёзное внимание на правильность эксплуатации, на уничтожение непроизводительных расходов и главным образом на производительность пробегов подвижного состава, его оборота и утилизации. Ущерб, нанесённый государственной экономии, вынудил взяться за арифметику и научиться считать, распространяя этот подсчёт на все отрасли, доступные учёту.

Поднятию престижа службы движения много помогли Советы управления, в которых представители службы движения являлись равными в числе трёх главных служб и «стали сметь своё суждение иметь», и притом совершенно открыто и официально. Им предоставлено даже право подачи особых мнений.

Авторитетное положение отвоёвывается начальниками движения при личном их желании и энергии: но этого мало, надо этот вопрос регламентировать и de jure поставить их в положе-

ние доминирующее. Само дело и его интересы напрашиваются на это; надо идти по течению современных требований интересов земледелия, промышленности и торговли, которые в данном деле солидарны с интересами дорог.

Возьмём даже домашнее дело управления: у начальника дорог все службы и отделы имеют доклады один, много два раза в неделю; один только начальник движения имеет ежедневный обязательный доклад, а в горячее время, так совещания его с начальником дороги бывают ещё чаще и продолжительнее. Значит вся суть дела в распоряжениях по движению, и ими всего более должен интересоваться начальник дороги. Наконец, масса общих распоряжений в интересах службы движения должны делаться самим начальником или управляющим дорогою, а все они заготавливаются только начальником движения и его канторой.

Девять десятых всех запросов Министерства и Управления дорог, которыми в горячее время большого движения по дороге бомбардируется начальник дороги, всецело вытекают из области деятельности службы движения и ответы даются тем же начальником движения, по соглашению с начальником дороги, или по его указанию.

Командировки главного инспектора, старших и младших инспекторов на линии имеют главным образом своим объектом вопросы, касающиеся перевозки пассажиров и грузов. Наконец, новая обширная организация из Центрального и Порайонных комитетов исключительно создана для обширного дела регулирования перевозки грузов всей Империи. Она имеет дело почти исключительно с функциями службы движения.

Всё это показывает, насколько важна сама по себе деятельность этой службы, насколько деятельность всех остальных служб находится в исключительной зависимости от неё, и насколько они обязаны стараться, всеми своими средствами, содействовать успешному выполнению службою движения своих обязательств, которые заключаются ею с клиентами дороги, как от юридического лица, и обязательны для исполнения.

Хищения. — Теперь рассмотрим вопрос об одной из главных современных язв — о массовом хищении.

Хищения — стихия, тысячеголовая гидра, охватившая цепкими щупальцами всё железнодорожное дело. Это яд, который всосался в плоть и кровь железнодорожной братии. Мы,



интеллигенты, к стыду нашему, лишены даже возможности свалить всё на меньшего брата. Последние крупные хищнические проделки показывают, что в числе руководителей и организаторов находятся и бывшие старшие служащие. Стоустая молва называет даже и лиц, находящихся на службе и притом на довольно высоких должностях.

Нигде в мире так не распространено воровство, как у нас. Особенно ярко оно проявляется в двух сферах: в интендантстве и на железных дорогах.

В первом непосредственно страдает казна и косвенно – население. Во втором – наоборот.

Убытки, наносимые казне хищениями, слишком велики, чтобы смотреть на них сквозь пальцы, и необходимо выработать серьёзные меры для борьбы с ними.

Увольнение от службы и предание суду, при обширности нашей сети дорог, становится мероприятием только местным, почему его нужно распространить на всю сеть, заведя особую чёрную книгу, в которую вносить имена уволенных с отметками об их подвигах и оповещать о них все управления, во избежание приёма их на службу на дороги, отдалённые от прежней арены их действий. Таким субъектам не должно быть возврата на железную дорогу. Они также должны терять право на казённые пенсии, если они их выслужили, и на казённые приплаты к своим пенсионным взносам.

Мне кажется, что все мероприятия, намеченные мною по отношению поднятия нравственного уровня и благосостояния служащих, должны оказать содействие искоренению стремления к хищениям в среде самих служащих; тогда хищения должны значительно уменьшиться, и борьба с ними станет легче.

Грузовые артели «Союза Варяг». – Есть одно средство и средство крайне радикальное, но для исполнения его необходимо много труда, настойчивости и выдержки при непосредственном участии Управления железных дорог и даже Министерства путей сообщения, да, пожалуй, и некоторых других министерств.

Моему сослуживцу по Закавказским дорогам, г-ну Семянишину-Ардатьеву пришла в голову светлая мысль образовать общую артель грузчиков как на железных дорогах, так и на пароходах, под фирмой «Союза Варяг». Эта артель должна состоять из всех лиц, прикосновенных к приёму, хранению, транспортировке, нагрузке, перегрузке, выгрузке и выдаче грузов всех родов и скоростей.

Таким образом, груз с момента его поступления на железную дорогу или пароход должен находиться в ведении и под охраной ответственной артели, которая, согласно договору, заключённому с Управлением железных дорог, или даже с Министерством путей сообщения, полностью отвечает за целостность и сохранность его.

Такая общая громадная артель, раскинутая на всю Россию, и взявшая в свои крепкие руки всё товарное дело путей сообщения, – будет единственной разумной и действительной мерой к устранению всех хищений и злоупотреблений по перевозке грузов. Артели мелкие бесцельны: они сами воруют друг у друга.

Артель, состоящая из разнородных элементов и поставленная на коммерческие начала, имеющая в основе денежную выгоду, сумеет следить за своими членами, чтоб они не только не расхищали грузы, но и охраняли их от посторонних, непричастных к артели лиц. Никто лучше своего же брата артельщика не усмотрит за целостью груза и за каждым членом в отдельности. Друг у друга воровать невыгодно; лучше довольствоваться честным ведением дела и получать причитающееся вознаграждение за труд, да ещё дивиденды из общего дохода предприятия.

Ознакомившись с проектом «Союза Варяг» и найдя его вполне целесообразным и единственным мероприятием, которое могло бы спасти не только дороги, но и всё население от массового хищения, я подал о нём записку Министру путей сообщения и написал статью «Грузовые артели», которая была напечатана в № 3 журнала «Пути Сообщения»¹. Редакция этого журнала предложила обмен мнений по этому вопросу, но вот прошло уже более полугода, а до сих пор никто ещё не откликнулся.

Инертность железнодорожной интеллигенции. – Неужели русская железнодорожная интеллигенция настолько инертна, что не интересуется таким серьёзным и животрепещущим вопросом, который, представляя собою громадное чёрное пятно, лежащее на всём железнодорожном мире, налагает на железнодорожное начальство и всё железнодорожное общество нравственную обязанность не только активно бороться с этим злом, но и изыскивать всевозможные способы борьбы с ним.

¹ См. также «Железнодорожное Дело». – 1902. – С. 157.

Раз такой способ указан, необходимо разобрать его детально со всех сторон, подробно разработать и решить, можно ли его привести в исполнение, или нет. Но оставлять его без внимания, обходить молчанием и не предлагать свои, может быть, более практичные и разумные приёмы, просто по моему глубокому убеждению непростительно. Частное учреждение, как журнал «Пути Сообщения», предлагает свои безвозмездные услуги в качестве посредника в разработке такого животрепещущего вопроса, и на его старание – молчание. Если оно есть знак согласия, то тем более надо заявить об этом.

Логический вывод из такого равнодушного отношения к общей злобе дня, угнетающей всех граждан обширного отечества нашего и приносящей неисчислимые убытки, – весьма нелестен. Могут подумать, что современный хищнический *status quo* представляется заманчивым, выгоды для железнодорожного мира, почему им и не принимаются никакие меры к его обузданию.

Неужели те вонючие помои (*pardon* за выражение), которыми обливают постоянно железнодорожников, не представляют ещё достаточного стимула для возбуждения в них искреннего желания работать в интересах упорядочения дела, не откладывая такую работу *ad calendas graecas*.

Это вопрос государственной важности; мне кажется, на него должна обратить внимание Гос. Дума и оказать своё могучее содействие к его проведению.

Хотя в программу доклада включено ещё много вопросов, которые затронуты мною в моей книге, но за недостатком времени я ограничусь только перечислением их, как насущных и необходимых.

Реорганизация службы сборов, отчётности по счетоводству, увеличение юридических отделов и изменение деятельности коммерческих отделов.

Мероприятия по общим вопросам

Ослабление антагонизма между службами; урегулирование бесплатного проезда и пользование служебными и протекционными вагонами; борьба с безбилетным проездом, уменьшение переписки, борьба с засилием инородцев, реформа сдачи в аренду станционных буфетов.

Технические оборудования железных дорог

Постепенная систематическая перекладка станционных путей сообразно функциям станции.

Постепенная планомерная перестройка пакгаузов и платформ нагрузки и выгрузки грузов и изменение их типов.

Организация крупного и мелкого ремонта подвижного состава на более рациональных для служб тяги и движения основаниях.

Постепенное планомерное распределение разнотипных паровозов по дорогам и уничтожение типов паровозов и вагонов, не соответствующих современной технике.

Постройка в необходимом количестве парка специальных вагонов-рефрижераторов для перевозки на дальние расстояния скоропортящихся грузов.

Внутренняя организация хозяйства служб

Выработка и узаконение планомерной системы смены шпал и рельсов, и коэффициентов стоимости ремонта верхнего полотна железных дорог, и числа рабочих на версту участка.

Выработка специальных правил учёта брезентов, щитов, скотских решёток, во избежание потерь их по дорогам, а равно и правил их содержания и ремонта.

Выработка специальных правил для ремонта инвентаря служб движения.

Выработка специальных правил пломбирования вагонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оканчивая доклад, я не могу не сделать общего заключения.

Обширность и серьёзность железнодорожного дела ни на минуту не позволяет мне смотреть на мою работу, как на исчерпавшую все особенности и нужды его. Я указал только на то, что замечено мною и что, по моему личному воззрению, нуждается в реорганизации и упорядочении. Не сомневаюсь, что, может быть, есть ещё многое, что ускользнуло из моей памяти и на что укажут другие.

Но, во всяком случае то, о чём я писал и на что указывал, само по себе показывает, какую ещё колоссальную работу надо совершить, чтобы упорядочить железнодорожное дело во всём его объёме.

Ведь, собственно говоря, надо сознаться, что нет решительно ни одной отрасли желез-



нодорожного дела про которую можно было бы сказать по совести, положив руку на сердце, что она вполне организована и не требует коренных изменений и существенных дополнений.

Жизнь идёт вперёд, особенно железнодорожная, как техническая, в наш век усовершенствоваться и изобретать движения с большой быстротой, и в ней постоянно необходимы дополнения и изменения. Но в современной постановке железнодорожного дела нужны не изменения и дополнения, а выработка коренных основ, точных правил и положений, без которых правильно продолжаться это дело не может.

Есть несколько дорог, более или менее устроенных, с массой прекрасных и вполне организованных учреждений, есть масса частичных полезных и правильно обставленных устройств на всех дорогах, но чтобы во всей организации была заметна какая-либо общность, какая-либо руководящая идея цельности и солидарности, — этого незаметно.

На железных дорогах дело ведётся по русской поговорке: «Всяк молодец на свой образец». Внутренние распорядки по каждой дороге свои, редко кто из начальников служб, побывав на других дорогах и посмотрев на их порядки, старается привить их к своей дороге, несмотря на то, что признаёт за ними преимущества.

Оно и понятно, если большинство стремится занять пост начальника службы или отдела не из влечения к делу, любви и преданности к нему, а только из-за выгодного положения в материальном отношении и почёта среди служащих и общества, и не стремится к введению возможных улучшений, упорядочивающих дело и совершенствующих его. А известно, что всякая остановка в развитии дела ведёт к его регрессу.

Наша инертность и привела к регрессу, проникнувшему во все отрасли железнодорожного дела. Надо расшевелить эту инертность, и если у начальства нет желания прогрессивно работать, с любовью относясь к делу, то такое начальство не следует подпускать к делу даже на пушечный выстрел. Я начал свою беседу, высказав своё *credo*, что главное дело в главе, и, заканчивая его, подтверждаю тот же взгляд.

Мы видим, что высшие власти стремятся к этому, энергично работают; надо им помочь. Без совместной деятельности, дружной помо-

щи, работа власти будет если не бессильна, то на лучший конец менее продуктивна, так как инертное отношение к такой работе равносильно активному тормозу, если не бойкоту.

Благие пожелания нынешнего Министра усиленно работать для приведения в порядок железнодорожного дела заставляют, в свою очередь, пожелать, чтобы Министерство его не было кратковременным.

Не лишнее упомянуть, что частые смены министров невыгодно отражались на ходе всего железнодорожного дела. Не успеет ведомство привыкнуть и приспособиться к взглядам и требованиям одного министра, как с назначением другого являются новые взгляды и новые требования, чаще всего совершенно противоположные, так что приноровиться к ним сразу довольно трудно.

Кроме того, пропадает много времени и труда совершенно непродуктивно, в перекраивании старых порядков, для того только чтобы с новыми веяниями начать новую сизифову работу.

В течение ста лет, с 1811 по 1909 год перебивало 19 министров путей сообщения; из них управляли Министерством продолжительное время только четверо: Посет 14 лет, граф Клейнмихель 12, Герцог Виртембергский и князь Хилков по 10 лет. Остальные от одного года до 8 лет. Пять министров занимали свой пост по одному году и менее года.

Даже профессиональный гений в такое короткое время не мог бы сделать что-либо серьёзное для ведомства.

Нынешний Министр уже двадцатый в течение столетнего существования ведомства; пожелаем ему успеха в деле и продолжительное управление министерством.

Всё сказанное мною, показывает, какая колоссальная масса труда предстоит ведомству путей сообщения, чтобы, так или иначе, привести к благополучному решению наболевшие вопросы и выполнить организацию, реорганизацию и улучшение всего железнодорожного хозяйства.

Современные железнодорожные деятели, по моему разумению должны взять на себя труд и честь такой работы. С ними Бог!

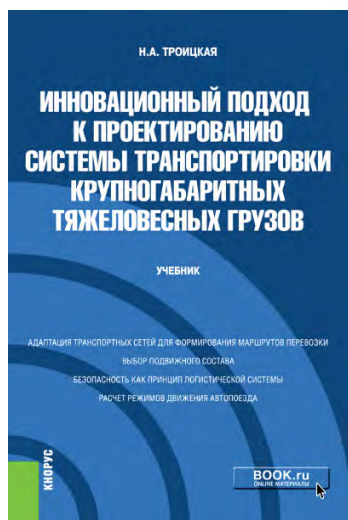
— *Dixi et animam salvavi!!*

Конец части 3

Н. П. Верховский

(Железнодорожное дело. —

1911. — № 21–22. — С. 50д–60д) ●



РЕЦЕНЗИЯ

120

Учебник для специалистов автотранспортной отрасли посвящён изучению перевозки крупногабаритных тяжёловесных грузов.



КНИЖНАЯ ЛОЦИЯ

АВТОРЕФЕРАТЫ

122

- Конструктивно-технологические решения вантовых мостов с железобетонной балкой жесткости для Мьянмы.
- Силы взаимодействия в контакте «колесо–рельс» при изменении трибологического состояния поверхности рельсов.
- Нестационарное контактное взаимодействие упругих оболочек и сплошных тел.

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

126

Недавно вышедшие книги и учебники о транспорте.





Учебник о транспортировке крупногабаритных тяжеловесных грузов



Валентин СИЛЬЯНОВ

Валентин Васильевич Сильянов

Международная ассоциация автомобильного и дорожного образования,
Москва, Россия.

✉ vvs@madi.ru.

Троицкая Н. А. Инновационный подход к проектированию системы транспортировки крупногабаритных тяжеловесных грузов: Учебник. – М.: КНОРУС. – 2022. – 234 с. ISBN 978-5-406-09189-0.

Проблемы транспортировки крупногабаритных тяжеловесных грузов относятся к числу сложнейших в транспортной сфере. Это обусловлено широким диапазоном массо-габаритных параметров перевозимых грузов. В связи с этим издание учебника «Инновационный подход к проектированию системы транспортировки крупногабаритных тяжеловесных грузов», разработанного профессором кафедры автомобильных перевозок МАДИ, доктором технических наук Наталией Троицкой при участии доцента МАДИ, канд. техн. наук М. В. Шилимова является актуальным.

Ключевые слова: логистика, организация транспортировки, крупно-габаритные тяжеловесные грузы, МАДИ, профессиональная деятельность водителей, нормативно-правовые документы для обеспечения безопасной транспортировки.

В основу учебника положено обобщение многолетнего отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, проектирования и организации транспортировки крупногабаритных тяжеловесных грузов (КТГ). Отражены результаты участия работников кафедры «Автомобильные перевозки МАДИ» в проектировании и реализации процессов транспортировки КТГ.

Рассмотрены подходы к анализу и классификации КТГ, методы построения и трансформации транспортных сетей, формирование материального и информационного потоков, принципы выбора транспортных средств и возможности перегрузочного процесса.

В учебнике уделено большое внимание профессиональной деятельности водителей, осуществляющих перевозку КТГ на общей транспортной сети дорог страны. Рассмотрены также возникающие риски и методы их устранения.

Содержание труда охватывает все наиболее важные аспекты проектирования системы транспортировки грузов с позиций логистики и превентивных мер на возможных местах риска.

Рассмотрены основные направления создания системы транспортировки КТГ с учётом их специфики и особенностей.

Рассмотрены логистические принципы формирования системы транспортировки КТГ. Выявлены специфические особенности таких грузов с учётом ограничений их параметров по видам транспорта.

Приведён перечень нормативно-правовых документов для обеспечения безопасной транспортировки.

Выявлены принципы адаптации транспортных сетей под конкретные параметры этих специфических грузов.

Разработана методика формирования маршрутов в городских условиях, а также по

Для цитирования: Сильянов В. В. Учебник о транспортировке крупногабаритных тяжеловесных грузов // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 2 (99). С. 120–121. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-13>.

*Полный текст редакционной статьи на английском языке, публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article editorial in English is published in the second part of the issue.*

трассам междугородных автомагистралей, включая международное сообщение.

Особое внимание уделено выбору специализированного подвижного состава для отдельных видов грузов. Проанализированы мировые инновационные тенденции для создания принципиально новых конструктивных решений по созданию эффективных, надёжных и безопасных транспортных средств под определённые группы КТГ.

Также в книге отражены вопросы безопасности транспортировки таких грузов на общей транспортной сети на основе логистического подхода.

Авторы обратили особое внимание на необходимость разработки превентивных мер по снижению степени рисков в процессе проектирования и транспортировке.

Нельзя забывать о важной роли весового и габаритного контроля транспортного средства с грузом на всём протяжении маршрута перевозки.

Рассмотрены различные подходы к организации перегрузочных работ на основе анализа наиболее распространённых методов перегрузки и приведены принципиально новые эффективные механизмы для погрузочно-разгрузочных работ, применяемые в отечественной и зарубежной практике.

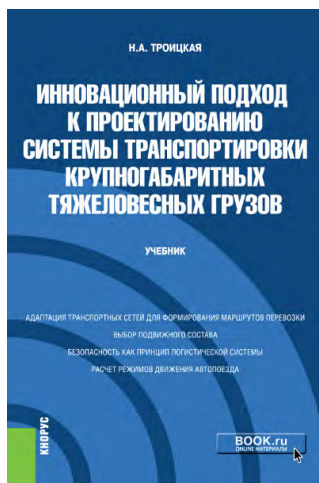
Представляет особый интерес предложенная в работе система оценки профессиональных качеств водителей специализированных транспортных средств тяжёловозов.

Впервые сформулированы принципы отбора водителей путём анкетирования.

Перечислены основные возможные санкции за нарушение маршрута и режима перевозок КТГ, за отсутствие разрешения на конкретный маршрут или за превышение геометрических и весовых параметров автопоезда с грузом, указанных в разрешении, на водителя, на должностное лицо, ответственное за перевозку, и на юридическое лицо.

Представлена методика установления рациональных режимов движения автопоезда с КТГ в общем транспортном потоке с выявлением мест отстоя для пропуска «пачки» автомобилей при низких скоростях движения тяжёловоза.

Особое внимание при транспортировке КТГ по мнению авторов должно быть уделе-



но безопасности движения как основного принципа построения транспортной системы на общей сети дорог города и в междугородном сообщении.

В учебнике даны рекомендации по совершенствованию процесса проектирования и практической реализации транспортировки КТГ.

Особое внимание уделено следующим проблемам:

- создание технически, экономически и экологически безопасного эффективного маршрута;
- обоснование выбора специализированного подвижного состава;
- модернизация процесса организации перегрузочных работ при мультимодальных системах транспортировки грузов;
- расширение области внедрения логистических подходов с использованием автоматизированных программных комплексов;
- создание новых нормативных документов, регламентирующих различные аспекты перевозочного процесса транспортировки КТГ.

Учебник «Инновационный подход к проектированию системы транспортировки крупногабаритных тяжёловесных грузов» соответствует всем современным требованиям, предъявляемым к учебной литературе. Книга рекомендована Экспертным советом УМО в системе ВО и СПО в качестве учебника для направления бакалавриата и магистратуры «Системный анализ и управление».

Информация об авторе:

Сильянов Валентин Васильевич – профессор, доктор технических наук, президент Международной ассоциации автомобильного и дорожного образования (МААДО), Москва, Россия, vvs@madi.ru.



*Текст на английском языке, публикуется
во второй части данного выпуска.*

*The text in English is published
in the second part of the issue.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-14>

Маунг Маунг Вин Аунг. Рациональные конструктивно-технологические решения вантовых мостов с железобетонной балкой жёсткости для условий Мьянмы / Автореф. дис... канд. техн. наук. – М.: МАДИ, 2021. – 25 с.

В последние годы в Мьянме значительный интерес уделяется вопросу применения вантовых мостов, в том числе с балкой жёсткости из железобетона, так как данный тип вантовых мостов по своим конструктивно-технологическим и экономическим показателям является наиболее рациональным решением для автодорожных мостов средних и больших пролётов.

В настоящее время в Мьянме отсутствуют конструктивно-технологические решения вантовых мостов с железобетонными балками жёсткости. Обоснование основных соотношений и генеральных размеров вантовых мостов, с учётом конструктивно-технологических факторов, а также исследование напряжённо-деформированного состояния их несущих элементов, позволило бы в полной мере учитывать все специфические особенности работы данных сооружений для условий Мьянмы.

Целью диссертационной работы является разработка рациональных конструктивно-технологических решений вантовых мостов с железобетонной балкой жёсткости применительно к условиям Мьянмы на основе широкого исследования напряжённо-деформированного состояния несущих элементов с учётом всех особенностей работы мостового сооружения.

В диссертационной работе поставлены и решены задачи, с использованием методов конечно-элементного анализа и компьютер-

ного моделирования с помощью программного комплекса Midas/Civil, по разработке рациональных конструктивно-технологических решений вантовых мостов с железобетонными балками жёсткости применительно к условиям Мьянмы. Предварительно проведён анализ наиболее широко применяемых конструктивно-технологических решений вантовых мостов в Юго-Восточной Азии и определены диапазоны геометрических параметров построенных и эксплуатируемых мостов. Также проанализированы наиболее применяемые технологии сооружения вантовых мостов в этом регионе.

В работе исследовано напряжённо-деформированное состояние вантовых мостов с железобетонной балкой жёсткости в упругой стадии от действия постоянных нагрузок и временной нагрузки, а также температурного и ветрового воздействия. Выполнен динамический анализ вантового моста с определением периода собственных колебаний, а также оценка живучести вантового моста при обрыве нескольких вант. В процессе исследования разработана конечно-элементная расчётная модель вантового моста для его детального анализа и определены наиболее рациональные геометрические параметры вантовых мостов и схем расположения вант на них для условий Мьянмы. С использованием российских, американских и европейских моделей выполнено исследование влияния длительных процессов в бетоне (усадки и ползучести) на поведение вантовых мостов при различных уровнях влажности окружающей среды. А также проведено сравнение различных технологий сооружения вантовых мостов и с использованием стадийного компьютерного анализа определена наиболее эффективная технология сооружения вантовых мостов в условиях Мьянмы.

Проведённые исследования позволили сформулировать следующие выводы:

- применение расчётных моделей на основе методов конечных элементов является эффективным средством проведения научного и инженерного анализа сооружений различных систем, с целью выбора наиболее рациональных для определённых условий строительства и эксплуатации. Сравнительный анализ результатов расчёта вантовых мостов с железобетонной балкой жёсткости с применением различных программных комплексов показывает, что расчёты с исполь-

зованием программного комплекса Midas/Civil дают достаточно надёжные результаты;

- проведённый обширный анализ существующих исследований и результаты компьютерного моделирования, позволили установить для условий Мьянмы наиболее рациональные соотношения основных параметров пролётных строений, железобетонной балки жёсткости, пилонов, которые приведены в работе (соотношение между пролётами $L_j:L_{cp}:L_2 = (0,45-0,5):1:(0,45-0,5)$, длина основных панелей 16–20 м, высота балки жёсткости $(1/15-1/18)L_{cp}$, длина крайних панелей $\{1/4-1/2\}$ от длины основных панелей, высота пилонов $(1/5-1/7)L_{cp}$);

- для условий Мьянмы можно рекомендовать вантовые мосты с железобетонной балкой жёсткости пролётом от 100 до 500 м, как наиболее устойчивые к аэродинамическим и другим воздействиям. Также в результате анализа возникающих усилий и с учётом эстетического фактора установлено, что «веер» является наиболее рациональной схемой расположения вант. Кроме того, для вантовых мостов с одной плоскостью вант целесообразно принимать железобетонную балку жёсткости коробчатого сечения, а с двумя плоскостями вант – коробчатого и плитно-ребристого сечений. Проведённый сравнительный анализ пилонов различной формы позволяет рекомендовать для каждой из них наиболее рациональную область применения;

- проведённый анализ результатов компьютерного моделирования нагружения мостового сооружения по российским и американским нормам показал, что результаты расчёта довольно близки друг к другу, но в большинстве случаев, наибольшие значения получаются от российской временной нагрузки A14;

- при расчёте по российским (СП 35.13330.2011), европейским (CEB-FIP 1990) и американским (ACI) нормам при влажности 70 %, 80 % и 90 % значительно изменяются усилия в балке жёсткости и пилоне вантового моста. С увеличением влажности окружающей среды потеря усилий в вантах незначительно уменьшается. Для условий Мьянмы при проектировании рекомендуется принимать величину влажности не более 70 %;

- проведённый анализ результатов численного моделирования подтвердил, что для условий Мьянмы наиболее рациональным является технология строительства вантовых

мостов с железобетонными балками жёсткости и вантами по схеме «веер», с применением метода навесного уравновешенного монтажа. Причём, использование программного комплекса Midas/Civil позволяет моделировать напряжённо-деформированное состояние вантовых мостов в процессе их сооружения с учётом нелинейности на всех стадиях строительства.

05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей.

Работа выполнена и защищена в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

Парахненко И. Л. Исследование сил взаимодействия в контакте «колесо–рельс» при изменении трибологического состояния поверхности рельсов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2021. – 25 с.

Протяжённость кривых участков на сети железных дорог России составляет 33 % от общей длины, из них 13 % приходится на радиусы от 400 до 700 м. Фрикционное сопротивление, возникающее при прохождении экипажем кривых, особенно малого радиуса, вызывает рост энергопотребления, нарушение стабильности геометрии пути, интенсивный износ колёс и рельсов. Эти проблемы тесно связаны с продольными и боковыми силами, возникающими в контакте «колесо–рельс». На силовое взаимодействие влияет множество факторов, однако стоит выделить основные – динамические и триботехнические. Динамические зависят от конструкции, технического состояния пути и подвижного состава и условий их взаимодействия. Триботехнические факторы можно разделить на трибологические – величина коэффициента трения на контактирующих поверхностях и технические – состояние профилей пары «колесо–рельс». Изменение трибологического состояния поверхностей рельсовых нитей, то есть снижение коэффициента трения в зоне контакта колеса и рельса (лубрикация), является одним из основных мероприятий, в рамках комплексной программы по ресурсосбережению «План развития ОАО «РЖД» до 2030 года», направленным на уменьшение износа пары.



Применение ресурсосберегающих технологий особенно актуально при повышении осевых нагрузок и скоростей движения, ресурса элементов верхнего строения до 2,5 млрд тонн пропущенного груза, постоянном росте цен на энергоносители, элементы железнодорожного пути и колёсные пары. Снижение сопротивления движению поездов в кривых, увеличение стабильности железнодорожного пути, ресурса рельсов и колёс, а, следовательно, и экономия напрямую зависят от величины и постоянства коэффициента трения в контакте путь – подвижной состав.

Определение трибологического состояния поверхностей катания и боковой поверхности головки рельсов, обеспечивающее наилучшее взаимодействие колёс подвижного состава и рельсовой колеи, снижающее силовое воздействие и тем самым обеспечивающее устойчивость железнодорожного пути и снижение интенсивности бокового износа рельсов в кривых участках, актуально для всей сети железных дорог.

Разработка новых подходов к стратегии лубрикации зоны контакта «колесо–рельс» – востребованное направление последних лет. Представляемая работа является развитием научных исследований согласно «Стратегической программы обеспечения устойчивого взаимодействия в системе «колесо–рельс» ОАО «Российские железные дороги».

Цель диссертационной работы – определение влияния трибологического состояния поверхностей катания рельсовых нитей на силы взаимодействия в контакте «колесо–рельс» с различными параметрами движения (скорость, нагрузка на ось, режим ведения поезда) и очертаниями профилей колёсной пары и рельсов.

Выполнены экспериментальные измерения коэффициентов трения на боковой поверхности наружного рельса при различном трибологическом состоянии рельсовой колеи, произведён замер на поверхностях катания обеих нитей. Получены значения коэффициентов трения при сухом состоянии рельсовых нитей – 0,4 и с нанесённым смазочным материалом – 0,25.

Оценено влияние режима ведения грузового поезда на силы контактного взаимодействия. Установлено, что действие силы тяги влияет на изменение продольных сил в среднем на 6 %. Разница значений боковых сил составляет в среднем не более 7 %.

Выявлено существенное влияние трибологического состояния поверхности катания рельсовых нитей на продольные и боковые силы, возникающие в контакте «колесо–рельс» при движении грузового состава с нагрузкой 23,5 и 27 т/ось по кривым участкам железнодорожного пути.

Определены функциональные зависимости сил взаимодействия между колесом и рельсом в зависимости от трибологического состояния поверхностей рельсов, скорости движения грузового состава и радиуса кривых при новом и среднесетевом профиле трибопары. Полученные при теоретическом исследовании результаты подтверждены сравнением с экспериментальными данными. Сходимость результатов в пределах 15 % говорит об адекватности используемого математического аппарата.

Продольные силы, возникающие при движении грузового состава по кривым участкам железнодорожного пути, при нанесении «третьего тела» на поверхность катания обеих рельсовых нитей снижаются в 1,49 раза (на 5,7 кН) при скорости $V = 40$ км/ч и в 2,21 раза (на 5,6 кН) при $V = 80$ км/ч в кривой $R = 380$ м. В пологих кривых сила снижается до 1,5 раз (до 4,9 кН). Износ профилей трибопары ведёт к увеличению продольных сил при всех рассматриваемых радиусах до 3,3 раз. Применение лубрикации на поверхности внутренней нити снижает силы в среднем на 11 % (3 кН), на наружном рельсе до 17 % (5 кН).

Боковое воздействие колёсной пары на путь, при неизношенном состоянии трибопары меньше в 1,37 (4,5 кН)–1,47 (8,55 кН) раза при уменьшении коэффициента трения на поверхности внутреннего рельса в кривых малого радиуса. Применение лубрикации поверхности катания рельсовых нитей для снижения боковых сил в кривых $R > 700$ м нецелесообразно. Изменение профилей контактирующих поверхностей снижает боковое воздействие.

Установлено влияние коэффициента трения на продольные и поперечные колебания экипажа. Применение лубрикации на поверхности катания внутренней рельсовой нити увеличивает длину продольной волны до 30 %, поперечной до 22 %, что способствует повышению стабильности железнодорожного пути, уменьшению волнообразного и бокового износа рельсовой колеи.

Разработана методика выбора вариантов лубрикации поверхностей рельсов в зависимости от параметров кривых. Определены величины возвышения наружной рельсовой нити, обеспечивающие минимальное силовое взаимодействие.

Для обоснования возможности снижения коэффициента трения на поверхностях катания рельсов проведён расчёт основных критериев безопасности и бесперебойности движения – устойчивости колеса на рельсе и длины тормозного пути. Смазывание поверхности внутренней нити снижает возможность «вползания» до 1,87 раз в кривых малого радиуса. В пологих кривых при вариантах нанесения смазки, устойчивость колеса на рельсе увеличивается в 1,81 раза. Лубрикация увеличивает длину тормозного пути на подъёмах в среднем на 23 % (180 м).

Рассчитан экономический эффект от снижения коэффициента трения. Снижение топливно-энергетических затрат на тягу поездов составит от до 27,95 руб. на 1 км криволинейного участка в зависимости от скорости движения при лубрикации обеих нитей и 10,55 руб. при смазывании внутренней нити. Экономия на замену рельсов по достижению предельного износа – 99420 руб./км в год при смазывании внутреннего рельса и 88490 руб./км в год при уменьшении коэффициента трения на обеих рельсовых нитях.

Предложен вариант трибологического состояния рельсовых нитей, снижающий продольные и боковые силы – лубрикация поверхности катания внутренней рельсовой нити. Рекомендуется применение данного способа на затяжных подъёмах в кривых радиусом до 1200 м при тяжёлом движении и на прямых участках железнодорожного пути, из-за наличия отступления в плане профиля, для снижения вероятности возникновения колебаний состава.

Рассмотрены способы нанесения материала на поверхность катания рельса оборудованием, применяемым на передвижных средствах лубрикации, и разработанными смазочными материалами, обеспечивающих коэффициент трения 0,2–0,25. Применение данного способа рекомендуется после предварительной качественной шлифовки рельсов, для устранения дефектов поверхности рельсовых нитей, способствующих накоплению смазочного материала.

05.22.06 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог.

Работа выполнена в Уральском государственном университете путей сообщения,

защищена в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I.

Федотенков Г. В. Нестационарное контактное взаимодействие упругих оболочек и сплошных тел / Автореф. дис... докт. физ.-мат. наук. – М.: МАИ, 2021. – 38 с.

Быстрые темпы развития современных видов транспорта, аэрокосмической, судостроительной, автомобильной и авиационной отраслей промышленности диктуют всё более высокие требования к точности расчётов напряжённо-деформированного состояния конструкции при различного рода нестационарных воздействиях в условиях контактного взаимодействия. Эта область в настоящее время относится к числу наименее исследованных. Решение подобного рода задач осложняется необходимостью учёта начальных условий, смешанным и нелинейным характером граничных условий, а также, в ряде случаев, неизвестностью заранее области контакта, которая зависит от времени. Повышенный интерес к этим вопросам объясняется с одной стороны достаточно широким крутом их практического приложения, а с другой – открытостью многих вопросов в теории контактных задач.

Целями работы являются разработка математических постановок нестационарных контактных задач для тонких оболочек и упругих тел, построение методов и подходов к решению, создание и реализация эффективных численно-аналитических алгоритмов решения новых нестационарных контактных задач, получение и анализ решений этих задач в плоской, осесимметричной и пространственной постановках.

Дана математическая постановка нестационарных контактных задач для тонких цилиндрических и сферических оболочек с заполнителем и без него и упругого полупространства при учёте подвижности границ и многосвязности области контакта.

Развит и обобщён метод решения таких контактных задач, основанный на использовании функций влияния, включающий итеративный процесс для определения области контакта. Доказана эффективность применяемого подхода к решению за счёт существенного снижения размерности исследуемых задач.



Построены и исследованы нестационарные двумерные и пространственные функции влияния для цилиндрических и сферических оболочек с заполнителем и без него.

Построено решение нестационарных двумерных контактных задач с подвижными границами для цилиндрических или сферических оболочек и упругого полупространства. Предложено и реализовано два подхода, справедливые на сверхзвуковом и произвольном этапе контактного взаимодействия. Проведено сравнение и показано совпадение результатов, полученных и использованием этих подходов.

Получены решения нестационарных контактных задач для двух цилиндрических или сферических оболочек с учётом упругого

заполнителя. Проведён анализ влияния наличия заполнителя на процесс контактного взаимодействия.

Для произвольного временного интервала разработан и реализован алгоритм решения пространственной нестационарной контактной задачи с подвижными границами для цилиндрической оболочки и абсолютно твёрдого ударника, ограниченного гладкой выпуклой поверхностью. Получены и проанализированы результаты расчётов.

01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Работа выполнена и защищена в Московском авиационном институте (Национальный исследовательский университет). ●

НОВЫЕ КНИГИ О ТРАНСПОРТЕ

Список на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.

The list of titles in English is published in the second part of the issue.

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-15>

Англо-русский словарь терминов в области радиосвязи и телекоммуникации: (около 3000 терминов) / Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи; составитель С. А. Москаленко. – Ростов-на-Дону: РНИИРС, 2022. – 76 с. ISBN 978-5-6047139-0-7.

Бадецкий А. П., Коровяковский Е. К., Медведь О. А. [и др.]. Управление грузовой и коммерческой работой: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2022. – 65 с. ISBN 978-5-7641-1796-6.

Вегера Ж. Г., Слепцов В. В. Основы теории автоматического управления: Монография. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022. – 95 с. ISBN 978-5-7339-1610-1.

Гиллер А. А., Омельченко Е. Я., Лымарь А. Б. [и др.]. Датчики и исполнительные устройства Arduino для мехатроники и робототехники: Учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. тех. ун-та, 2022. – 182 с. ISBN 978-5-9967-2433-8.

Земенков Ю. Д., Исламов Р. Р., Курбанов Я. М. [и др.]. Эксплуатация объектов трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов: Учеб. пособие. – Т. 1. – Тюмень: ТИУ, 2022. – 312 с. ISBN 978-5-9961-2958-4.

Карманов А. В., Орлова К. П. Основы проектирования систем промышленной безопасности (в составе АСУ ТП нефтегазовой отрасли): Учеб. пособие. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2022 (электронное издание).

Кореньков В. В., Ульянов С. В., Шевченко А. А., Шевченко А. В. Интеллектуальная когнитивная робототехника: Учебно-методическое пособие. – Ч. 1: Технологии квантовых когнитивных вычислений. – М.: Курс, 2022. – 555 с. ISBN 978-5-907352-51-3.

Кривко Е. В. Основы учёта нефти и газа при транспортировке в системе магистральных трубопроводов:

Учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2022. – 142 с. ISBN 978-5-7389-3469-8.

Лисин В. А., Чебоксаров А. Н. Современные технологии ремонта автомобилей: Учеб. пособие. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2022 (электронное издание).

Медведев В. М., Миронов П. Н., Симонов В. Л., Гаврилов А. В. Интегрированная среда разработки программного обеспечения для бортовых ЦВМ. Основы программирования и исследование модели объекта: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2022. – 75 с. ISBN 978-5-4316-0932-9.

Мороз С. М. Методология исследований в технической эксплуатации автомобилей: Учебник для вузов. – МАДИ. – М.: Юрайт, 2022. – 185 с. ISBN 978-5-534-14089-7.

Палицын А. В., Коротков А. Н., Иванов И. И. [и др.]. Энергетические установки с поршневым ДВС / Под общ. ред. д.т.н., проф. А. В. Лиханова. – Вологда-Молочное: Вологодская ГМХА. – Ч. 2: Теория и практика. – 2022. – 283 с. ISBN 978-5-98076-359-6.

Пиковский Ю. И., Исмаилов Н. М., Дорохова М. Ф. Основы нефтегазовой геоэкологии: Учеб. пособие / Под науч. ред. д.г.н., проф. А. Н. Геннадиева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Инфра-М, 2022. – 412 с. ISBN 978-5-16-017124-1.

Ривз М., Фуллер Д. Машина воображения: искусство генерировать идеи и строить будущее вашей компании / Пер. с англ. А. Аксёновой [и др.]. – М.: Просвещение, 2022. – 207 с. ISBN 978-5-09-089348-0.

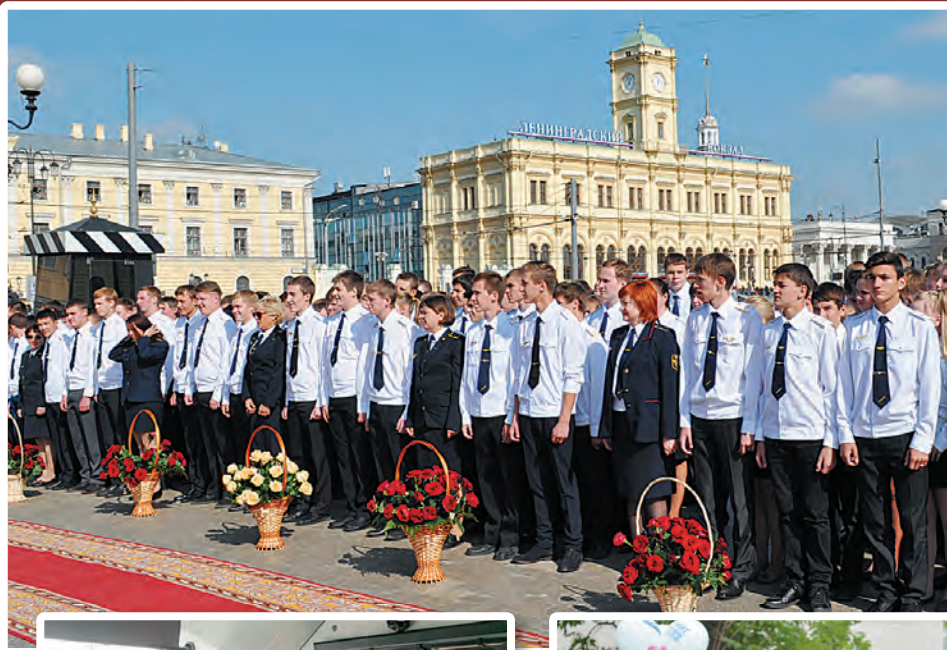
Сметанин В. Г. Конструкция и проектирование автотранспортных средств: Учебник. – Ч. 1: Особенности конструкций автотранспортной техники. – М.: Курс, 2022. – 295 с. ISBN 978-5-907352-44-5.

Тер-Мкртчян Г. Г. Менеджмент топливных испарений в автомобилях с бензиновыми двигателями: Учеб. пособие. – М.: ФГУП «НАМИ», 2022. – 190 с. ISBN 978-5-6045988-9-4.

Федорович В. О., Кубрак Н. А., Федорович Т. В. Организация и управление приватным парком грузовых вагонов. Экономический подход: Монография / Под общ. ред. В. О. Федоровича. – М.: Инфра-М, 2022. – 172 с. ISBN 978-5-16-017546-1(print).

Чернова В. В. Эксплуатация дорожных машин, автомобилей и тракторов. – М.: Академия, 2022. – 223 с. ISBN 978-5-0054-0325-4.

Составила Н. ОЛЕЙНИК ●



150 лет МКТ: продолжая традиции

Московский колледж транспорта в составе Российского университета транспорта успешно развивает исторические традиции, главная из которых – оставаться на передовом рубеже железнодорожных технологий и образования.

В колледже обучается более 3,5 тысяч студентов. Шесть очных и одно заочное отделение МКТ реализуют подготовку по 12 специальностям.

Открываются новые специальности: в 2021 г. открыт набор на специальность «Информационные системы и программирование».

МКТ – победитель значимых конкурсов и чемпионатов, инициатор ряда про-

ектов на федеральном уровне, организатор международных и национальных конференций.

Как один из учредителей некоммерческой организации «Ассоциация колледжей и техникумов транспорта», колледж принимает участие в разработке стратегии развития системы среднего профессионального образования для потребностей транспортной отрасли.

В 2019–2021 гг. в образовательный процесс, ориентированный на международные и национальные стандарты, были успешно внедрены инструменты электронного обучения и дистанционных образовательных технологий по очной и заочной формам.



Одной из структур колледжа является Многофункциональный центр прикладных квалификаций (МЦПК), который реализует полный спектр образовательных программ профессионального обучения высококвалифицированных рабочих (служащих) и дополнительных профессиональных программ по обучению специалистов и руководителей среднего звена для ОАО «РЖД» и компаний, связанных с организацией и обеспечением транспортных процессов. К концу 2021 г. в МЦПК прошли обучение около 92 тысяч человек.

С 2017 г. на базе колледжа ежегодно проводятся вузовские чемпионаты РУТ (МИИТ) по стандартам WorldSkills, которые собирают на одной площадке профессионалов из различных регионов РФ. Так, с 11 по 15 апреля 2022 года прошёл VI Открытый вузовский чемпионат по стандартам WorldSkills.

Учебный процесс колледжа организован на современной лабораторной базе, сформированной, в том числе, в рамках программы взаимодействия ОАО «РЖД» с университетскими комплексами железнодорожного транспорта.



150 years of MCT: Continuing Traditions

The Moscow College of Transport as part of the Russian University of Transport successfully develops historical traditions, the main of which is to remain at the forefront of railway technologies, training, and education.

The college has more than 3,5 thousand students enrolled. Six full-time and one correspondence education departments of the MCT provide training in 12 specialties.

New specialties are being opened, e.g., since 2021 students can enroll in the specialty in information systems and programming.

MCT is the winner of significant competitions and championships, the initiator of a number of projects at the federal level. It organises international and national conferences.

Being cofounder of the non-profit organisation «Association of Colleges and



Technical Schools of Transport», the college takes part in the development of a strategy for the development of the system of secondary vocational education for the needs of the transport industry.

In 2019–2021, e-learning tools and distance educational technologies for full-time and part-time education were successfully introduced into the educational process focused on international and national standards.

College's Multifunctional Center for Applied Qualifications (MCAQ) implements a full range of educational programs for vocational training of highly qualified workers (employees) and additional professional programs for training specialists and middle management for Russian

Railways and companies involved in organisation and support of transport processes. By the end of 2021, about 92,000 people had been trained at the MCAQ.

Since 2017, the college has annually held University championships according to WorldSkills standards, which bring together professionals from different regions of the Russian Federation at a single site. Thus, from April 11 to April 15, 2022, the 6th Open University Championship according to WorldSkills standards was held.

The educational process of the college is organised with the help of advanced laboratory facilities, developed, among other things, as part of the program of interaction between JSC Russian Railways and universities of railway transport. ●



PRINCIPLES OF MANAGEMENT 128

Designing principles of organisational sustainability management based on their actual qualitative features with the help of dichotomies followed by development of binary matrices allowing their digitalisation. Search for compatibility of the management principles with sustainable development goals. Universality of the fundamental approach and its adaptability to tasks of transport organisations.



SPATIAL MOBILITY 140

Broad, dense, and carefully argued retrospective analysis supported by historical and modern data invokes understanding of dialectical character and non-linearity of evolution of mobility. The assessment of its further developments under current conditions allows to introduce a new concept that of spatial-digital mobility and to formulate requirements for transport systems to comply with its implementation.

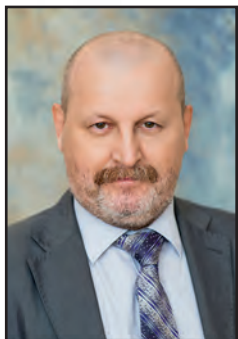


THEORY





Organisational Sustainability Management Principles



Alexey P. Tyapukhin

Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia.

✉ aptyapuhin@mail.ru.

Alexey P. TYAPUKHIN

ABSTRACT

The objective of the article is to substantiate and implement an approach to designing the principles of sustainability management of organisations and their associations, which ensures digitalisation of these principles and their structuring regarding levels of management, as well as between adjacent links in the logistics chain.

The research used methods of classification, analysis and synthesis, induction and deduction as research methods, and binary matrices formed based on classification features and their dichotomies, which make it possible to increase the objectivity of the results obtained, as a tool.

The article substantiates the possibility of designing organisation management principles based on their actual qualitative features of principles and dichotomies with further formation of binary matrices that allow for digitalisation of management principles and their structuring regarding levels of organisation management, as well as between adjacent links of the logistics chain; develops an ordered set of principles for

organisational sustainability management with justification for their quantity and quality; proves the compliance of the developed management principles with the goals and objectives developed by the United Nations in 2015.

The implementation of the obtained results will reduce the lost profit of organisations and their associations, the time and costs for preparation and implementation of management decisions, will respond in a timely manner to the unique requirements of end consumers, and will also ensure that the parameters and characteristics of the internal environment of organisations and their associations correspond to the nature, duration, and volatility of environmental factors.

The suggested approaches and solutions, being sufficiently universal, can refer to full extent, to transport and logistics organisations and associations, as well as to all participants in supply chain, and are particularly relevant with the account for accelerated adoption of digital technology in transport and logistics activities.

Keywords: transport, supply chain, principle, management, organisation, digitalization, structuring, management level.

For citation: Tyapukhin, A. P. Organisational Sustainability Management Principles. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 128–139. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-1>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Rapid changes in political, economic, technological conditions of external environment, accelerated adoption of new vehicles, autonomous and intelligent systems, processes of on-going digitalisation significantly influence activities of the organisations of the transport system of the Russian Federation, predetermine the need to improve their management systems and, first of all, management tools.

Principles of management [1] are ranked among the main tools of management of organisations. Regarding scientific principles, they are understood as «general scientific laws which explain how something happens or works»¹. The importance of management principles for achieving the goals of an organisation was emphasised by many researchers. Depending on the factors of the external environment, as well as on the threats and opportunities that have been formed in the markets at one time or another, several basic versions of these principles, focused either on improving the enterprise management system [1], or on increasing labour productivity [2], or on improving the quality of products and/or services [3], or on introducing a systematic approach to management [4], have been developed and implemented. At the same time, the principles of management are not constant over time, both in quantity and content.

The problem of timely detection of inefficiency of the organisational management principles and the need to update, radically change or design them, is relevant for the following reasons: a wide range of parameters and characteristics of the factors of the external and internal environment of the organisation, the uniqueness of the links between them; their continuous transformation and volatility; a significant proportion of subjectivity in approaches used to determine quantity and quality of management principles; fuzzy patterns of transformation of one version of management principles into another; lack of methods for designing these principles with subsequent adjustment of approaches, methods and functions that ensure the effective impact of the subject on the managed object.

The above reasons largely predetermine the results of managing an organisation in modern

conditions, which are characterised by a focus on sustainability and sustainable development of human society [5]. At the same time, many experts point out the problems associated with management of organisation's sustainable development, for example [6]. This fact, among other things, is due to the non-efficient structuring and coordination of the basic principles of management of supply chains, and, consequently, of their links (organisations).

The process of developing (designing) the principles of managing the sustainable development of an organisation is facilitated to a certain extent, since today the foundations for managing sustainability and sustainable development, including its goals and objectives, have been created [7]. Without questioning the relevance and methodological recommendations for management of sustainability and sustainable development, it is necessary to make adjustments to this sector of management in such areas as: creation of prerequisites for detailed development and subsequent adaptation of these recommendations to the content and structure of new or adjusted principles for managing organisations; substantiation of the approach to determining their quantity and quality, as well as interrelations for the purpose of their further digitalisation; structuring regarding levels of organisation management and harmonisation with the principles of management of counterparty organisations.

LITERATURE REVIEW

The literature review has revealed several important aspects of designing the principles of organisation management that follow.

- Experts attach great importance to the principles of organisation management, extending their influence to almost all the sections of management, for example, in [8; 9].

- The principles of management are used in the main fields of management, such as strategic management [10], marketing [11], innovation management [12], supply chain management [13], etc.

- The principles of management are primarily aimed at a person or a group of people whose forms of behaviour are extremely diverse and are largely related to changes in the organisation's strategy, technologies used, organisational management structures, etc. Therefore, management principles should correspond to these changes [14].

¹ Definition of «principle». Collins Online English Dictionary. [Electronic resource]: <https://www.collinsdictionary.com/us/dictionary/english/principle/>. Last accessed 30.03.2022.



- The application of one or another version of management principles is determined, among other things, by the level of organisational culture [15], as well as an organisation's ability to adapt itself to negative external influences [16], including its focus on sustainability and sustainable development [17].

- It is necessary to distinguish between the production (divisions of the organisation and their relationships) and organisational structures of the organisation's management (positions, their interrelationships, as well as a scheme for distribution of responsibilities, rights and obligations), each of which is characterised only by their inherent, although interrelated, variants of principles.

- It is expedient to design the principles of organisation sustainability management on the basis of seventeen goals and objectives developed by the United Nations [7], while providing the possibility of digitalisation of these principles for development and application of computerised support for management activities, on the one hand, and providing for creation of prerequisites for data structuring principles for different levels of management of the organisation according to the scheme «general director → functional directors → heads of departments → ...», tracking not only vertical, but also horizontal links between them.

- Design of management principles should contain a theoretical substantiation of quantity and quality of these principles, since for the vast majority the management principles developed earlier do not provide answers to the problems above, reducing thus the results of their implementation in practice due to the impossibility of unambiguous structuring and coordination, including with counterparty organisations, although this aspect of management is provided for, i.e., in management of relationships with suppliers and consumers in supply chains [18].

METHODOLOGY

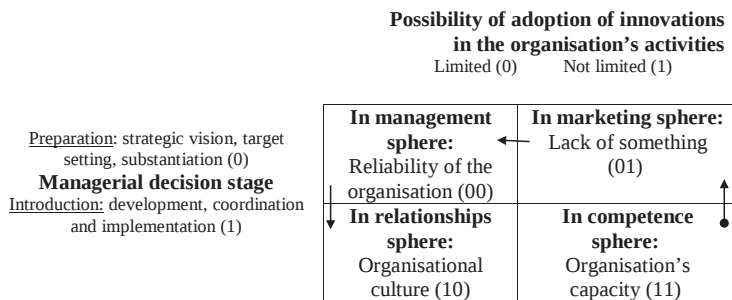
Achieving the objective described in the article requires the use of qualitative methods for studying objects that are complex in structure and content [19]. If quantitative research methods are distinguished by a clearly defined scale and various tools for measuring these objects, then qualitative methods clearly do not allow solving this problem. Nevertheless, theory and practice allowed to partially substantiate its solution. For this it is necessary to:

- Develop an individual, finite series of qualitative features of the object of the study, which in the considered case is a set of management principles as a component of the organisation's management system. The number and sequence of application of these features is established based on two basic methods related to the object of study: analysis of sources and a sociological survey of experts.

- Highlight the so-called actual qualitative features of the given object. At this stage, it is also necessary to select dichotomies that describe the variants of each actual qualitative feature, which are denoted by the codes «0» and «1», respectively. Dichotomies allow getting 2^x variants of the object under study, where the number «2» reflects the number of dichotomies, and x is the number of used qualitative features of this object. It is easy to see that each of the variants obtained in this case can be designated by a binary code, which greatly facilitates digitalisation of these objects. In fact, this means that in the management system of an organisation, a set of management principles will be designated by a basic binary code or a first-level code, blocks or groups of these principles – by a second-level code, and, finally, each principle individually – by a third-level code in accordance with their hierarchy and relationships.

- To shape, based on the faceted method, main variants of the object of study using the above relevant qualitative features and their dichotomies. As a result, binary matrices are formed and studied, which are widely known among specialists in the field of strategic management, marketing, and other fields (see, for example [20]).

- Qualitative features, in turn, can be used not only in parallel, forming 2^x variants of the object of study, but also sequentially. Let us suppose that the CEO is responsible for the management principles which are of interest to the organisation. The implementation of these principles involves the building of a team of functional directors, each of which will be responsible for a part of the management principles, being in interconnection with other functional directors responsible for other management principles. It is obvious that these relationships are supported based on the corresponding qualitative features. Let's assume that there are two such signs. This means that the CEO responsible for a particular set of principles interacts with four functional directors who are linked to each other. In the



Pic. 1. Classification of main blocks of organisation's management principles [developed by the author].

simplest case, each functional director is responsible for a quarter of the management principles. Obviously, each functional director is also able to build his own team of department heads or a lower level of management. Application by him of at least two quality features of the second level leads to building of a team of four department heads subordinate to him, each of which is responsible for one sixteenth of the management principles, and so on. Thus, the designed management principles, and not only them, are almost ideally decomposed regarding the levels of organisation management and, as noted earlier, are easily digitised.

RESULTS

Substantiation of Quantity and Quality of the Principles of Organisation Sustainability Management

Management as a type of human activity is primarily associated with justification, formalisation, development, coordination, adoption, structuring, implementation, and monitoring of management decisions. The processes listed above create the prerequisites for determining the first qualitative sign of the principles of managing an organisation: the «stage of managerial decision». The sequence of processes accompanying the stages of a managerial decision makes it possible to choose the dichotomies of this feature, which involve the preparation (code «0») and implementation (code «1») of a managerial decision.

In a dynamically changing external environment of an organisation, management decisions cannot be fully standardised and, therefore, require the use of innovations, on the one hand, and, on the other hand, provide for some constraints when acting in this or that manner on the object of management (human resources). If in an area of the organisation's activity the possibility of introducing innovations

is desirable, but limited, then in another area it is necessary, since it ensures the competitiveness of this organisation. This aspect of making and implementing management decisions involves differentiation of the second qualitative feature of the organisation's management principles: «the possibility of introducing innovations into various areas of the organisation's activities». This feature provides for dichotomies: «opportunity is limited» (code «0») and «opportunity is not limited» (code «1»). The faceted method of qualitative research makes it possible to form a binary matrix consisting of four ($2^2 = 4$) blocks or groups of organisation management principles (Pic. 1).

Note that the number of blocks of management principles can be more than four. The use of the third qualitative feature and its dichotomies will make it possible to single out eight ($2^3 = 8$) such blocks, which does not contradict the norm of the organisation's manageability when performers execute only their own functions. The classification of the main blocks of organisation management principles (Pic. 1) is the basis for determining each management principle separately, that is, each of four blocks can be divided into at least four management principles.

The data in Pic. 1 make it possible to establish the sequence of using blocks of organisation management principles in practice: the created potential (strategic aspect of the organisation), code «11», should allow the organisation to eliminate the insufficiency of something in the market most effectively (marketing aspect), code «01», while ensuring the reliability of the organisation (management aspect), code «00», based on organisational culture (socio-cultural aspect), code «11».

Let's consider the content of Pic. 1 in more detail.

1. The combination of the dichotomies «preparation» (code «0») of the qualitative



Trends of changes in the organisation's capacity following the negative impact thereon		
	Restored (0)	Not restored (1)
Stable (0) (not subject to adjustment) Stability of the strategic goals of the organisation Unstable (1) (subject to adjustment)	Stability (Mode: return) (0000)	Flexibility (Mode: adaptation) (0001)
	Viability (Mode: survival) (0010)	Survivability (Mode: counteraction) (0011)

Pic. 2. Classification of types of the organisation's reliability [21].

feature «management decision stage» and «limited» (code «0») of the qualitative feature «the possibility of introducing innovations in various areas of the organisation» (Pic. 2) suggests the allocation of such block of principles as «organisation reliability management» (code «00»), which will be further structured into components, in our case, management principles, which, according to the design results, contrary to the opinion of H. Fayol [1], will make not fourteen, but sixteen ($2^4 = 16$) principles.

Since these principles are developed within the framework of the strategic vision of the organisation, that is, for the long term, it is almost impossible to guarantee the reliable operation of the organisation. Depending on the factors of the external and internal environment of the organisation, it is necessary to develop basic options for behaviour in a particular management situation, depending on the effectiveness or degree of achievement of its strategic goals. Thus, we can conclude that the first qualitative sign of the organisation's reliability is the sign of «stability of the organisation's strategic goals», which, as you might guess, has the dichotomy of «stable goals» (code «0») and «unstable goals» (code «1»), or targets to be adjusted. Factors of the external and internal environment can significantly affect the capacity of the organisation, which, as a result of the impact of these factors, can either be restored (code «0») or even increase, or not be restored (code «1»), or even decrease. These dichotomies correspond to the second qualitative sign of reliability of the organisation, i.e., its ability to achieve its goals depending on the factors of the external or internal environment (Pic. 1), such as «trends in the organisation's capacity as a result of a negative impact on it». The joint use of the features and dichotomies presented above allowed the author [21] to propose four options

for reliability of the organisation: «stability» (the «return» mode of functioning of the organisation, code «0000»), «flexibility» (the «adaptation» mode of operation of the organisation, code «0001»), «viability» (organisation «survival» mode, code «0010») and «survivability» (organisation «counteraction» mode, code «0011») (Pic. 2). Let us note that the first two digits of the four-digit code «00» mean «reliability of the organisation» (Pic. 1).

The reliability options justified above (Pic. 2) lay the foundation for designing the principles of managing an organisation at the level of department heads within the responsibilities of one of the functional directors of the organisation, reporting, in his turn, to the general director.

2. The combination of the «preparation» dichotomies (code «0») of the qualitative feature «management decision stage» and «not limited» (code «1») of the qualitative feature «the possibility of introducing innovations in various areas of the organisation» (Pic. 1) involves the allocation of such a block of organisation marketing principles as «managing the insufficiency of something in the market» (code «01»), which will also be further structured into components.

One of the factors that determine the reliability of an organisation is the behaviour of the consumer, who, for example, depending on solvency, can sharply reduce the quantity and quality of purchased products and/or services, or vice versa, increase their quantity and quality, while feeling the lack of something in its various forms. Under these conditions, the organisation, as a rule, seeks to diversify the range of products and/or services, up to the allocation of relevant departments in the production and organisational structures. The task of identifying the main options for insufficiency of something with the consumer of products and/or services, depending

Consumer properties of products and/or services		
Properties (parameters) of consumer's demand	Stable (0)	Typical (0) Unique (1)
	Unstable (1)	Necessity (0100)
		Habit (0101)
		Need (0110)
		Value (0111)

Pic. 3. Classification of lack of something as for consumer of products and/or services [22].

on its behaviour in the market, was solved by A. P. Tyapukhin and E. A. Tarasenko [22] (Pic. 3) based on the following qualitative features and their dichotomies: «consumer properties of products and/or services»: «typical» (code «0») and «unique» (code «1»); «properties (parameters and characteristics) of consumer demand for products and/or services»: «stable» (code «0») and «unstable» (code «1»).

As follows from Pic. 3, value (code «0111») differs from need (code «0110») by the unique consumer properties of products and/or services, and from habit (code «0101») by instability of properties (parameters and characteristics) of demand for products and/or services [22]. Let us note that the first two digits of the four-digit code «01» mean «lack of something as perceived by the consumer of products and/or services» (Pic. 1). The insufficiency options justified above (Pic. 3) lay the foundation for designing organisation management principles at the level of department heads of the second functional director of the organisation or marketing director, reporting respectively to the general director.

3. The combination of the «introduction» dichotomies (code «1») of the qualitative feature «management decision stage» and «limited» (code «0») of the qualitative feature «the possibility of introducing innovations in various areas of the organisation» (Pic. 1) suggests the allocation of such a block of principles as «organisational culture management» (code «10»).

Since this article focuses on sustainability and sustainable development, organisational culture should be evaluated from the position of at least three of its basic aspects: economic, social, and environmental aspects. The author takes the liberty of asserting that the above aspects can be substantiated in a slightly different way than before, namely with the help of such

qualitative signs of the organisation’s management principles and dichotomies as «the type of resources attracted and processed by the organisation»: «natural (material) resources» (code «0») and «human (information) resources» (code «1»); «priorities of organisational culture»: «consolidation and maintenance of the achieved results» (code «0») and «creation of prerequisites for long-term development» (code «1») (Pic. 4).

As follows from the content of Pic. 4, in addition to the economic, social, and environmental aspects of organisational culture, one can single out its intellectual aspect, which concerns, first, creating value for the end consumer of products and/or services (Pic. 3), as well as ensuring survivability of the organisation (Pic. 2). Note that the first two digits of the four-digit code «10» mean «organisational culture» (Pic. 1). The variants of organisational culture justified above (Pic. 4) lay the foundation for designing the principles of managing the organisation at the level of department heads of the third functional director of the organisation, reporting respectively to the general director.

4. The combination of the «introduction» dichotomies (code «1») of the qualitative feature «management decision stage» and «not limited» (code «1») of the qualitative feature «the possibility of introducing innovations in various areas of the organisation» (Pic. 1) suggests the allocation of such a block of organisation management principles as «organisation capacity management» (code «11»), which in the future will also be structured into components.

If we take as a basis almost any organisation focused on making a profit and other activities, we can distinguish in its production structure divisions that perform various functions and solve only their inherent tasks. This refers as well to transport and logistics organisations. This aspect of the study involves structuring of



	Type of the organisation's resources	
	Natural (material) (0)	Human (information) (1)
Consolidation and maintenance of the achieved results (0)	Economic aspect (1000)	Social aspect(1001)
Priorities of organisational culture		
Creation of prerequisites for long-term development (1)	Environmental aspect (1010)	Intellectual aspect (1011)

Pic. 4. Classification of aspects of organisational culture [developed by the author].

	Type of the organisation's resources	
	Natural (material) resources (0)	Human (information) resources (1)
Creation and growth (0)	Technological (1100)	Innovative (1101)
Stage of formation and development of the organisation's capacity		
Implementation and dissemination (1)	Logistics (1110)	Marketing (1111)

Pic. 5. Classification of the organisation's potential [developed by the author].

management principles according to the type of capacity implemented by the departments of the organisation. At the same time, it should be borne in mind that weakening of the capacity of a single unit has an impact on the results of the whole organisation. That is why sustainable capacity development management, controlled by the CEO and functional directors of the organisation, is necessary.

To determine the functional types of the organisation's capacity, it is advisable to use the following qualitative features: «type of resources attracted and processed by the organisation»: «natural (material resources)» (code «0») and «human (information) resources» (code «1»); «the stage of formation and development of the organisation's capacity»: «creation and growth» (code «0») and «implementation and dissemination» (code «1»). The joint use of these features and dichotomies makes it possible to distinguish four types of organisation capacity: technological (code «00»), innovative (code «01»), logistics (code «10») and marketing (code «11») capacity (Pic. 5).

As follows from the content of Pic. 5, the innovative potential (code «1101») is associated with the intellectual aspect (code «1011») of organisational culture (Pic. 4), and the marketing potential (code «1111») determines the effectiveness of the principles of managing the insufficiency of something in the market (Pic. 3). It is to note that the first two digits of the four-digit code «11» mean «the capacity of the

organisation» (Pic. 1). The variants of the organisation's capacity justified above (Pic. 5) lay the foundation for designing the principles of organisation management at the level of department heads of the fourth (if necessary) functional director of the organisation, reporting respectively to the general director.

Thus, it can be concluded that the CEO is responsible for all principles of managing sustainability of the organisation; functional directors ensure the effectiveness of blocks of management principles (Pic. 1); heads of departments supervise the basic principles of managing sustainability of the organisation, formed based on Pics. 2–5, the content of which allows moving from the components of the blocks to specific management principles. The solution to this problem is reflected in Table 1.

Information in Table 1 is based on the logic of achieving the characteristics of the components of management blocks (Pic. 2) by defining in detail of the content of not only local, but also global managerial impacts on the organisation in accordance with the competencies of the heads of departments, functional directors, and the general director of the organisation. To form a holistic impression on the application of principles of managing sustainability of the organisation presented in Table 1, it is advisable to refer to the content of Pic. 6.

This picture shows not only the content of the designed principles, but also shows the relationship of the powers of the heads of

Table 1

Substantiation of the content of the principles of managing sustainability of the organisation based on the content of Pics. 2–6 [developed by the author]

Code	Component	Principle of sustainability management
1	2	3
<i>Block of principles «Reliability of the organisation»*</i>		
0000	Sustainability	Monitoring and crisis management
0001	Flexibility	Diversification and development of competitive advantages
0010	Viability	Business restructuring and distressed asset management
0011	Survivability	Global partnerships and strategic management
<i>Block of principles «Insufficiency of something in the market»</i>		
0100	Necessity	Satisfaction of basic human needs
0101	Habit	Creating a favourable environment for consumption of products and/or services
0110	Need	Ensuring human well-being
0111	Value	Focus on sensations, impressions and experience of the consumer
<i>Block of principles «Organisational culture»</i>		
1000	Economic aspect	Cost and time management in value chains
1001	Social aspect	Social partnership and conflict management
1010	Environmental aspect	Preservation of the environment and environmental management
1011	Intellectual aspect	Training, encouraging initiative and creativity
<i>Block of principles «The capacity of the organisation»</i>		
1100	Technological potential	Aggregate production planning with a variable rhythm and a changing number of employees
1101	Innovative potential	Creation of novelties, development of new technologies and materials, development of new markets
1110	Logistics potential	Elimination of cross-functional barriers, single-piece flow management
1111	Marketing potential	Ensuring availability of products, services, and after-sales service

*Blocks of organisation management principles are presented in Pic. 1.

departments and functional directors, ensuring stability of the organisation based on those principles. Let's take as an example the principle with the code «1100» («Aggregate production planning with a variable rhythm and a changing number of employees»). In Pic. 6 it can be seen that this principle is implemented in conjunction with the principle with the code «1110» («Elimination of interfunctional barriers, management of the flow of single products»), since the general guideline for these principles is a qualitative sign and a dichotomy: «type of organisation's resources: natural (material) resources».

At the same time, the principle with the code «1100» must be carried out in conjunction with the principle with the code «1101» («Creation of new products, development of new technologies and materials, development of new markets»), since both principles presuppose such a stage of formation and development of the organisation's potential as «creation and extension» or dichotomy. The same can be said about the principles with codes «1101», «1110» and «1111» of the block «Management of the capacity of the organisation», for which the functional director is responsible, reporting to the general director.



Stability of strategic goals of the organisation

Relationships between the functional directors of an organisation can be presented in a similar way. To establish them, it is necessary to refer to the contents of Pic. 1. This picture shows that the functional director responsible for the block of management principles with the

code «11» («Management of the organisation's capacity») interacts with the functional director responsible for the block with the code «01» («Management of the insufficiency of something»), focusing on a qualitative sign and dichotomy «the possibility of introducing

Table 2

Comparison of Sustainable Development Goals (United Nations) and organisational management principles [developed by the author]

Code	Sustainable Development Goals(United Nations)	Organisational Management principles
1	2	3
0000	To make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable	Monitoring and anti-crisis management of the organisation
0001	—	Diversification and development of competitive advantages of the organisation
0010	—	Business restructuring and management of organisation's distressed assets
0011	To strengthen the means of implementation and revitalize the Global Partnership for Sustainable Development ...	Global partnership and strategic management of the organisation
0100	To end hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture	Satisfaction of basic human needs by the organisation
0101	To ensure the transition to sustainable consumption and production patterns	Creation of a favourable environment for consumption of products and / or services
0110	To ensure healthy lifestyles and promoting well-being for all at all ages	Ensuring Human Welfare
0111	—	Focus on sensations, impressions and experience of the consumer
1000	To promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all. To ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all	Cost and time management in value chains
1001	To reduce inequalities within and among countries. To promote peaceful communities, provide access to justice for all and build effective, accountable, and inclusive institutions at all levels.To achieve gender equality and empower all women and girls	Social partnership and conflict management
1010	To take urgent action to combat climate change and its impacts.To conserve and sustainably use the oceans, seas and sources for sustainable development.To protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss	Environmental conservation and environmental management
1011	Quality education and lifelong learning opportunities for all	Training, encouraging of the initiative and creativity of the organisation's personnel
1100	To ensure the transition to rational patterns of consumption and production. To build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation	Aggregate planning of production with a variable rhythm and a changing number of employees
1101	To build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and innovation	Creation of novelties, development of new technologies and materials, development of new markets
1110	—	Elimination of cross-functional barriers, single-piece flow management
1111	To build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and innovation	Ensuring the availability of products, services, and after-sales service



innovations in various areas of the organisation's activities: unlimited». The same can be said about his interaction with the functional director responsible for the unit with the code «10» («Organisational culture management»), which have in common a qualitative feature and a dichotomy: «the stage of management decision: implementation or development, coordination and implementation».

Based on this, it can be stated that the designed principles of sustainability management are adapted to a typical hierarchically linked organisation management system, in which not only the elements are justified, as in the prototypes of previously created management principles, but also the relationship between them are also well grounded. In other words, the proposed methodology for designing management principles should ensure the achievement of a synergistic effect from the interaction of officials and their subordinates within the framework of their competencies and powers. This methodology involves the exclusion of a subjective approach to substantiating conclusions and recommendations in cases where it is impossible to measure and evaluate the quantitative parameters of the research object and it is necessary to operate with the qualitative characteristics of this object and the dichotomies, including when structuring the object, if this is part of the research objectives.

Analysis of the content of Table 2 shows that all seventeen goals and objectives developed by the United Nations [7] are considered when substantiating the content of the proposed principles for managing sustainable development of an organisation. At the same time, four principles, although not directly related to these goals and objectives, but in general do not contradict them, considering the preferences of the organisation in a competitive market.

Summing up the results of the study, one can note the characteristic features of the principles of organisation sustainability management proposed by the author, such as: selectivity depending on the factors of the external and internal environment of the organisation; compatibility in their implementation by departments of the organisation; hierarchy; interconnectedness; universality; readiness for digitalisation, as well as for structuring and harmonisation across management levels and between links in the supply chain. In case that some of the used relevant qualitative features

turn out to be unclaimed, new relevant qualitative features and their dichotomies can be identified, thus offering a possibility to design a new version of management principles that will be understandable and accessible for implementation by decision makers and those responsible for performing them, which, in author's opinion, will significantly mitigate the problem of ensuring the sustainability and sustainable development of the organisation at all its levels.

CONCLUSIONS

Management principles constitute an important component of the organisation's management system and one of the tools of implementation of its strategy. Dynamic changes in the factors of the external and internal environment of the organisation, in particular, the restraints associated with countering the COVID-19 pandemic, constantly provoke their adjustment, replacement or design. At the same time, a managerial situation is possible when an organisation is forced to use management principles that, it would seem, have ceased to be relevant. One of the most important factors predetermining the design of new principles of organisation management is orientation of the world community towards sustainability and sustainable development, which provides for meeting the needs of the current generation without compromising the needs of future generations. Many aspects of development and implementation of a new vision of the world order are still incomprehensible, not developed, and therefore are debatable. Within the framework of the topic of this article, a discussion on the following aspects of improving management systems of organisations and their associations with centralised and decentralised forms of management could be very fruitful:

- Expansion and addition of approaches to designing of the principles of organisation management, depending on the strategy of its development.
- Clarification of methods for coordinating and structuring the principles of management of organisations and their associations regarding levels of management, by its functions, by typical requirements of end users of products and/or services; by types of strategies; by the main sections of management and its types, etc.
- Development of principles for managing value chains and networks, supplies and requirements, as well as a methodology for

designing principles for managing their links, from the primary link to the end consumer of products and/or services.

- Development of recommendations for assessing the efficiency and effectiveness of organisational management systems, as well as management principles for the purpose of their timely updating, replacement, or optimisation.

- Creation of prerequisites for solving two seemingly mutually exclusive tasks: creating value for end consumers and introducing the theory and methodology of sustainable marketing, etc.

Also important but rather practical is the issue of adaptation of the suggested general model of management principles to the features of activity of organisations and associations of different sectors of the economy and industries, including transport.

REFERENCES

1. Fayol, H. General and Industrial Management. Paris, Institute of Electrical and Electronics Engineering, 1916, 142 p.
2. Taylor, F. W. The principles of Scientific Management. Harper and Brothers Publishers, New York, London, 1919, 155 p.
3. Deming, W. E. Out of the crisis. Massachusetts Institute for Technology Press: Cambridge, MA, 1982, 507 p. ISBN 9780262541152.
4. Drucker, P. The practice of management. New York, Harper & Row, 1954, 416 p.
5. WCED. World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford University Press, New York, USA, 1987, 383 p. [Electronic resource]: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. Last accessed 30.03.2022.
6. Linton, J. D., Klassen, R., Jayaraman, V. Sustainable supply chains: an introduction. *Journal of Operation Management*, 2007, Vol. 25, No. 6, pp. 1075–1082. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.012>.
7. United Nations. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development, 2015. [Electronic resource]: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. Last accessed 30.03.2022.
8. Albers, H. H. Principles of Management: A Modern Approach. 3rd ed. New York, London, Sydney, Toronto: John Wiley, & Sons, Inc., 1969, 702 p. ISBN 0471019178, 9780471019176.
9. Murugan, M. S. Management Principles and Practices. New York, New Age International, 2007, 520 p. ISBN 8122415067, 9788122415063.

10. Witcher, B. J., Chau, V. S. *Strategic Management: Principles and Practice*. Andover, Cengage Learning, 2010, 352 p. ISBN 1844809935, 9781844809936.
11. Kotler, P., Armstrong, G. Principles of marketing. 14th ed., Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, 2011. [Electronic resource]: <https://nit-edu.org/wp-content/uploads/2021/09/Principles-of-Marketing-Kotler-Armstrong.pdf>. Last accessed 30.03.2022.
12. de Casanove, A., Morel, L. Innovation management principles from ISO 50500 series. United Kingdom, *Aston: International Association for Management of Technology IAMOT*, 2018, 16 p. [Electronic resource]: https://www.wu.ac.at/fileadmin/wu/d/cc/npocompetence/14_Coach_Indeed_Content/COACH-Website/10_InnovationCrisis_AddRead_IAMOT2018_paper_97.pdf. Last accessed 30.03.2022.
13. Wisner, J. D., Tan, K. C., Leong, G. K. Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. *Mason, OH: Cengage Learning*, 2012, 572 p. [Electronic resource]: <http://dspace.vnbrims.org:13000/jspui/bitstream/123456789/4491/1/Supply%20Chain%20Management.pdf>. Last accessed 30.03.2022.
14. Godwin, A., Handsome, O. E., Ayomide, W. A., Enobong, A. E., Johnson, F. O. Application of the Henri Fayol Principles of Management in Startup Organisations. *Journal of Business and Management*, 2017, Vol. 19, Iss. 10, pp. 78–85. [Electronic resource]: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol19-issue10/Version-4/K1910047885.pdf>. Last accessed 30.03.2022.
15. Schein, E. H. The Role of the Founder in the Creation of Organisational Culture. Massachusetts Institute of Technology. Sloan School of Management, 1983, 34 p. DOI: 10.1111/j.1741-6248.1995.00221.x.
16. Touma, J. Theories X and Y in Combination for Effective Change during Economic Crisis. *Journal of Human Resource and Sustainability Studies*, 2021, Vol. 9, pp. 20–29. [Electronic resource]: https://www.scirp.org/pdf/jhrss_2021022014443100.pdf. Last accessed 30.03.2022.
17. Daily, B. F. Su-chun, Huang. Achieving Sustainability through Attention to Human Resource Factors in Environmental Management. *International Journal of Operations & Production Management*, 2001, Vol. 21 (12), pp. 1539–1552. [Electronic resource]: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443570110410892/full/html>. [restricted access].
18. Cooper, M. C., Lambert, D. M., Pagh, J. D. Supply Chain Management: More than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 1997, Vol. 8 (1), pp. 1–14. [Electronic resource]: <https://drdouglasslambert.com/wp-content/uploads/2020/05/Cooper-Lambert-and-Pagh-SCM-IJLM-1997.pdf>. Last accessed 30.03.2022.
19. Bailey, K. D. Typologies and taxonomies: An introduction to classification techniques. Sage Publications, Inc., London, 1994, 90 p. ISBN 0803952597, 9780803952591.
20. Ansoff, H. I. Strategies for Diversification. *Harvard Business Review*, 1957, Vol. 35, pp. 113–124. [Electronic resource]: https://www.casrilanka.com/casl/images/stories/2017/2017_pdfs/sab_portal/course_material/strategies_for_diversification.pdf. Last accessed 30.03.2022. ●

Information about the author:

Tyapukhin, Alexey P., D.Sc. (Economics), Professor, Director of Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia, ptyapuhin@mail.ru.

Article received 01.04.2022, approved 28.04.2022, accepted 11.05.2022.





Roundabout Way Towards High Mobility. Dialectics of Mobility in the History of Mankind



Dmitry A. Macheret

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia.

✉ macheretda@rambler.ru.

Dmitry A. MACHERET

ABSTRACT

The objective of the study described in the article is a long-term analysis of the quantitative and qualitative parameters of spatial mobility of the population and forecasting its future prospects based on the use of the dialectical method, methods of historical and statistical analysis, which is necessary to understand the required directions and rates of development of transport systems appealed to provide opportunities to meet the needs in spatial movements in the present and creating conditions for increased mobility in the future.

Based on statistical data, the study underlines the already high but still tending to grow level of spatial mobility of the population in modern society. It is concluded that mobility has turned to be an urgent need in modern society, and the need to move has become one of the most important human needs. The revealed changes in spatial mobility in the historical retrospective highlights the non-

linear nature of mobility, which can be considered within the framework of the dialectical triad «thesis – antithesis – synthesis».

The paper identifies the prospects for the growth of spatial mobility of the population in the context of digitalisation. Also, a new concept is introduced that of «spatial-digital mobility», defining must-to-have characteristics of transport systems to provide for the required level of spatial-digital mobility. In addition, the study argues for the significant role of construction of high-speed surface infrastructure for implementation of the growing potential of spatial mobility of the population and analyses the relevant parameters of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. It is concluded that the deepening of socio-economic modernisation will be accompanied by a further increase in spatial mobility of the population, which requires the accelerated development of innovative transport.

Keywords: spatial mobility of the population, socio-economic development, transport, passenger turnover, modernisation, urbanisation, travel distance.

For citation: Macheret, D. A. Roundabout Way Towards High Mobility. Dialectics of Mobility in the History of Mankind. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 140–150. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-2>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

In modern conditions, spatial mobility of the population has reached a very high level both in the world and in our country and continues to increase, being both an important factor in socio-economic development, and a serious challenge for transport systems.

Transport developments should, on the one hand, satisfy the high demand for travelling, both quantitatively and qualitatively, and, on the other hand, stimulate the growth of spatial mobility. Hence, relevance of a long-term analysis of changes in the level and nature of spatial mobility of the population in the context of socio-economic development and revealing of its further prospects. Carrying out such an analysis is the *objective* of this article. The study engaged the dialectical method, methods of historical and statistical analysis.

RESULTS

High and Increasing Mobility is an Integral Feature of Modern Society

Modern society is a society of high spatial mobility. An increasing number of people are moving more frequently, over longer distances and at higher speeds.

The Table 1 shows the representative data on the growth of mobility of the population of the Russian Federation since the beginning of this century. Passenger turnover of public transport and the corresponding indicator of population mobility [1, p. 226] before the start of the coronavirus pandemic increased by more than 30 % (the impact of the pandemic on passenger traffic will be discussed below)^{1, 2}.

In 2019, each inhabitant of the country, on average, travelled more than 4300 kilometres with public transport alone, excluding personal cars (the number of which amounted to 46,3 million units²; an increase of almost by 2,5 times compared to 2000), trips by taxi, the number of which grew at a faster pace [2, p. 44], carsharing cars and various micromobility devices that are gaining popularity.

As evidenced by a number of studies [3–5], ultra-long-term comparisons covering secular

periods are most indicative in the analysis of transport activity. Comparison of the level of spatial mobility achieved at the beginning of 21st century with the level that existed at the beginning of 20th century, in the pre-war year 1913 (about 200 passenger•km/person per year), shows a more than twenty-fold increase over this period. This is a very impressive increase in mobility, which ensured its entry to a qualitatively new level.

As stated above, mobility should be assessed not only by intensity of movements, but also by their speed and range.

The increase in speed is fixed for specific modes of transport. For example, the speed of passenger trains over the period under review increased by 13,1 % in long-distance traffic and by 14,4 % in suburban traffic. In road transport, the desire to increase speed is manifested in improvement of the speed characteristics of cars, but their implementation is hindered, especially in megacities and agglomerations, due to infrastructural constraints [6]. In general, incomplete use of speed capabilities of vehicles, i.e., low speed efficiency [7] is a systemic problem of transport.

The growth in the speed of travelling is most clearly reflected in the change in the structure of passenger turnover by modes of transport (Table 2). If on the eve of 20th century, the fastest transport, which is air transportation, provided only 11 % of passenger turnover, three times less than each of the then leaders (railway and road), then in 2019 it performed significantly better in terms of passenger turnover than railways and road transport together. This cardinal structural shift is a very clear characteristic of the desire of a modern man to accelerate movement. It is no coincidence that the use of high-speed and traffic-free air transport is considered as one of possible solutions to the problem of accelerating travel in megacities [8].

With an increase in speed of movement, accessibility of more distant territories during the trip increases proportionally (as studies by G. A. Golts [9, pp. 82–121; 10, pp. 263–296] showed), temporal availability of territories plays a key role for the territorial distribution of the population and its communication capabilities, and therefore should be considered in development of transport systems. The criterion of temporal availability was used in development of a promising topology of a high-speed ground innovative transport network in [11] and in

¹ Transport in Russia: Stat. collection. Moscow, Goskomstat Rossii publ., 2003, 182 p. [Electronic resource]: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/TRANSP.ZIP>. Last accessed 03.03.2022.

² Transport in Russia. 2020: Stat. collection. Moscow, Rosstat publ., 2020, 108 p. [Electronic resource]: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/UbzlvBZj/Transport_2020.pdf. Last accessed 03.03.2022.



**Growth of mobility of the population of the Russian Federation
in 2000-2019 using public transport^{1,2}**

No.	Indicators	2000	2019	Growth rate, %
	Passenger turnover of public transport, bln passenger•km, including:	485,9	635,2	130,7
1.	Railway	167,1	133,6	80,0
2.	Bus	164,4	122,5	74,5
3.	Tram	25,1	3,8	15,1
4.	Trolleybus	28,1	4,2	14,9
5.	Metro	46,9	47,4	101,1
6.	Sea	0,04	0,05	125,0
7.	Inland water	0,9	0,6	66,7
8.	Air	53,4	323,0	604,9
	Mobility of population, passenger•km/person, including by modes of transport:	3314,5	4328,2	130,6
1.	Railway	1139,8	910,3	79,9
2.	Bus	1121,4	834,7	74,4
3.	Tram	171,2	25,9	15,1
4.	Trolleybus	191,7	28,6	14,9
5.	Metro	319,9	323,0	101,0
6.	Sea	0,28	0,35	125,0
7.	Inland water	6,1	4,1	67,0
8.	Air	364,3	2200,9	604,1

determining the long-term tasks for development of a Single backbone transport network in accordance with the new Transport strategy of the Russian Federation³.

Accordingly, an increase in transportation speeds contributes to the growth of another important indicator of spatial mobility which is travel distance.

The average travel distance during the period under review has increased for most modes of transport, and most significantly for buses and inland water transport (Table 3). But the overall increase in average travel distance is much higher than for any mode of transport. This phenomenon, which can be attributed to the category of statistical paradoxes, is associated with the above-mentioned structural shift: an increase in the share of trips made using air transport, which, while providing the highest speed, allows to cover the longest travel distance.

Thus, in the long-term period preceding the pandemic, key indicators that can be used to characterise spatial mobility increased significantly in the country.

From this point of view, Russia was in line with global trends towards the growth of mobility. Data for a group of 15 foreign countries, shown by Rosstat [Federal Statistic Service] in the context of the main modes of passenger transport (excluding water transport and urban electric transport), indicate a dynamic growth in passenger turnover in the pre-pandemic period (Table 4). The important difference of those indicators for selected countries from Russian indicators is the high dynamics of passenger turnover in railway transport, which significantly exceeds the growth in passenger turnover on air lines. This is primarily due to the more than 2,3 times increase in passenger turnover on the railways of China, which is the world leader both in the total volume of passenger railway traffic and in the scale of development of high-speed railway lines. In other words, the dynamics of railway passenger turnover is significantly accelerating due to development of high-speed railroads, which allows them to successfully compete with aviation in providing acceptable travel time over long distances [12, pp. 52–53]. This indicates the importance of building high-speed railway lines (HSR) in Russia to ensure additional growth in mobility of the country's inhabitants. The socio-economic efficiency of high-speed rail construction has been substantiated by Russian scientists for many years [13; 14], and it is important that development

³ Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with the forecast for the period until 2035 // Appr. by the order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 № 3363-r, 285 p., pp. 88–89. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/727294161?marker=65C0IR>. Last accessed 03.03.2022.

Table 2

Changes in the structure of passenger turnover by modes of public transport in the Russian Federation

No.	Transport modes	Share in passenger turnover, %		Change, percentage points
		2000	2019	
1.	Railway	34,4	21,0	-13,4
2.	Bus	33,8	19,3	-14,5
3.	Tram	5,2	0,6	-4,6
4.	Trolleybus	5,8	0,7	-5,1
5.	Metro	9,7	7,5	-2,2
6.	Sea	0,0	0,0	0
7.	Inland water	0,2	0,1	-0,1
8.	Air	11,0	50,9	+39,9
Total		100,0	100,0	–

Source: [Author’s calculations].

of high-speed rail communication is provided for in the Transport strategy of the Russian Federation³.

An important indicator of the growth of global mobility in the modern era is the steadily high growth rate of world passenger turnover at the end of 20th–beginning of 21th century. During the period 1996–2015, their growth amounted to over 4 % on average per year [15, p. 160], while the world population increased by about 1 % on average per year [16, p. 300]. That is, the average annual increase in transport mobility was about 3 %.

Sustainability of the Need to Move

The coronavirus pandemic has had an extremely negative impact on spatial mobility around the world. In our country, in the second quarter of 2020, which witnessed the peak of anti-epidemic mobility restrictions, the passenger turnover of the transport system as a whole decreased by almost five times compared to the corresponding period of the previous year, and

by the previous quarter, instead of an ordinary seasonal increase [17, p. 6] there was a more than threefold decline (Table 5).

During this period, it was believed that the decline in mobility that occurred will be long-term, as people, due to fear of becoming infected, even after restrictions are cancelled, will prefer to refuse long-distance travel, and many short-range trips, including those related to work, will be replaced by digital communications. However, this position did not have time to take root in scientific discourse, since it was refuted by life. In the third quarter of 2020, when mobility restrictions were significantly eased, passenger turnover more than tripled compared to the second quarter, instead of the usual seasonal growth by only about 25 %. Apparently, the main reason that mobility remained significantly below the pre-pandemic level was the persistence of a significant part of the restrictions, primarily on cross-border movements. There is every reason to expect (and this is recorded in the Transport strategy³) that after the final cancellation of

Table 3

Change in the average travel distance of passengers using public transport in the Russian Federation

No.	Modes of transport	Average travel distance, km		Growth rate, %
		2000	2019	
1.	Railway	117,8	111,2	94,4
2.	Bus	7,5	11,5	153,3
3.	Tram	3,4	3,1	91,2
4.	Trolleybus	3,2	3,7	115,6
5.	Metro	11,2	13,7	122,3
6.	Sea	40,0	8,3	20,8
7.	Inland water	34,6	54,5	157,5
8.	Air	2321,7	2465,6	106,2
Total		11,1	35,6	320,7

Source: [Author’s calculations].



Table 4

Long-term growth in passenger turnover in a group of foreign countries*

No.	Modes of transport	Passenger turnover, bln passenger•km		Growth rate, %
		2005	2018	
1.	Railway	938, 7	1796, 9	191, 4
2.	Road	11140, 3	12573, 1	112, 9
3.	Air	1922, 9	3352, 2 ¹	174, 3
Total		14001, 9	17722, 2	126, 6

* Indicators of the following countries were compared: Azerbaijan, Armenia, Belarus, Great Britain, Germany, Kazakhstan, Kyrgyzstan, China, Poland, Moldova, USA, Tajikistan, Uzbekistan, Ukraine, France.

restrictions, there will be a rapid recovery of passenger turnover to the level preceding the pandemic, and then their growth will continue³.

The rapid recovery of passenger traffic wherever restrictions have been cancelled indicates that mobility has become an urgent need in modern society, and the need to move has become one of the most important human needs. And this is no coincidence. Spatial mobility is an integral element of modernisation of any society and is closely related to social mobility [16, pp. 243–244]. It significantly affects the spread of innovations and economic growth, increasing the value of human capital and the welfare of society [18]. That is why freedom of movement, which is a necessary condition for high and geographically differentiated spatial mobility [2, pp. 45–46] is so important for people.

Spatial mobility has played an important role in formation and development of human society [19, pp. 41–44] and economics [18]. However, its growth was by no means linear. It seems necessary to focus attention on the non-linear nature of the change in mobility in the history of

mankind for a deeper understanding of its relationship with socio-economic development.

Mobility during the Early Stages of Social Development

The period of formation of human society was a period of almost continuous movement of small groups of gatherers and hunters [16, p. 39]. But the speed of their movement was low – up to 25–30 km per day [20, p. 27], and the trips were mainly carried out cyclically over a certain territory. And very slowly, as a rule, under the influence of external factors, there was a migration to other territories, which can be called «diffusion». Its average speed, depending on the historical period and direction of movement, was estimated from 300–400 meters to two kilometres per year [21, p. 356; 26].

The subsequent transition to the settled lifestyle and then to a productive economy, apparently, was associated with development by mankind of all territories available for life [18, p. 54] and was a mechanism for adaptation to climate change under specific natural conditions [23; 24].

Table 5

Dynamics of passenger turnover of public transport* in the Russian Federation in the pre-pandemic period and after the start of the pandemic (2019–2020)

Year	Period	Passenger turnover, bln passenger•km	in % to	
			the corresponding period of the last year	the previous period
2019	I quarter	116, 7	107, 8	93, 6
1.	II quarter	143, 0	108, 4	122, 5
2.	III quarter	178, 2	106, 7	124, 7
3.	IV quarter	132, 6	106, 4	74, 4
4.	Year as a whole	570, 5	107, 3	–
2020	I quarter	111, 2	95, 3	83, 9
5.	II quarter	30, 3	21, 2	27, 3
6.	III quarter	99, 1	55, 6	327, 1
7.	IV quarter	71, 8	54, 2	72, 5
8.	Year as a whole	312, 5	54, 8	–

Source: Socio-economic situation in Russia in January–December 2020. Moscow, Rosstat publ., 2020, 376 p. [Electronic resource]: https://nangs.org/analytics/download/6536_eebada54288ef7abbe5d55eafa67d0f7. Last accessed 03.03.2022.

* Without taking into account urban transport.

Grain specialisation and narrowing of resources among settled farmers required an expansion of exchange to obtain other resources from other, often remote, regions [24; 25, pp. 231–232] (in modern conditions, delivery of goods has also become an alternative to personal trips for them, which was especially evident when mobility was limited during the pandemic).

Long-distance transportation of material goods along water and caravan routes turned into a specialised activity. People engaged in this activity moved many hundreds of kilometres [25, pp. 232–233]. Thus, with a general decrease in daily mass mobility of people as a result of the transition to settled life and then to a productive economy, mobility of material goods and those who were engaged in their movement increased, which is an example of the dialectic of mobility. Moreover, as the economy developed, both the volume of material goods moved and the range of their movement increased.

In essence, the transition to settled life did not mean a renounce to mobility, nor a decrease in mobility, but a change in its nature: a transition from mass mobility to specialised mobility, accompanied by an increase in the range of travelling. This is an important conclusion, indicating that already in antiquity, development required a *qualitative* increase in mobility.

Spatially highly mobile societies of pastoral nomads became a «pair» of settled agricultural societies. A symbiosis arose between settled and nomadic societies, based on the complementarity of those types of economic activity in which these societies specialised, and the development of exchange between them [24; 25].

After the transition «from an appropriating to a producing economy», the «role and scale of migration» increased sharply [16, p. 227], the nature of which has changed qualitatively compared to the primitive period. It was no longer a slow diffusion of small groups of people; «whole peoples representing a socially and culturally integrated whole» migrated [16, p. 228], which led to significant demographic, socio-economic and cultural changes.

Thus, at the earliest stages of the history of human society, spatial mobility played a key role as an integral element of economic activity and the very existence of human societies. Then, as the economy and society changed qualitatively, the nature of mobility also changed qualitatively (moreover, the mobility of material goods played an increasingly important role [18]), while

mobility continued to play a key role in socioeconomic development.

Increased Mobility and Socio-Economic Modernisation

The great geographical discoveries of 15th–17th centuries gave a powerful impetus to the growth of spatial mobility and became an important factor in formation of the prerequisites for the industrial revolution and modernisation of the economy and society [27; 28, pp. 166–168]. The key element of this modernisation was the creation of innovative, mechanical, transport, driven not by the muscular strength of animals or people, but by the power of steam, and then by internal combustion engines and electricity [29].

Already steam transport created the conditions for the growth of spatial mobility, facilitating, accelerating, and reducing the cost of movement of people and goods over long distances [29; 30; 31, pp. 49–88]. Thus, the growth in passenger turnover of railways and the corresponding indicator of population mobility in the Russian Empire during the period of «modernisation of Witte–Stolypin» [32] before the First World War (Table 6) is more than indicative. In 13 years, passenger turnover had increased by 2,3 times, i.e., the average annual growth rate had attained 6,6 %. The dynamics of passenger turnover significantly outstripped the increase in the population, and the mobility of the population when travelling by rail increased almost by 1,8 times, and its average annual growth rate attained 4,6 %. It is noteworthy that a serious decline in the mobility of the population, which occurred in 1905 under war conditions and during socio-political upheavals, was fully «recouped» the very next year, after which the dynamic population growth continued. The study [18] revealed a significant positive impact of the growth of railway mobility of the population on macroeconomic indicators in the period under review. The correlation coefficient between the net national product and the level of population mobility was 0,896.

Greater spatial mobility provided by development of the railway network and the increased availability of rail travelling, including for people of low income, expanded the possibilities of individual choice, the search for better living conditions, including in other promising regions. Only «in the period from 1906 to 1914, the population of the eastern half of the



empire grew due to migration by about 2 million people (about 220 000 people annually)» [33, p. 331], most of whom obtained the opportunity for a more prosperous life than in their native places. And this was the result of the synergy of infrastructure development, construction of the Trans-Siberian Railway, and institutional changes in the course of ongoing modernisation reforms [32; 34].

It is important to note that the powerful migration flow that rushed to the Trans-Ural lands, in contrast to the collective migrations of antiquity, was a totality of individual families and individuals who made the decision to move based on personal aspirations and assessments. Thus, a global trend was revealed in the country, which was the «migration transition», which consisted in formation of a new, individual, model of migration [16, pp. 243–246]. The growth of spatial mobility in the context of institutional transformations contributed to the change in the people themselves, the growth of the predominant personality reasons, the implementation of a more active life position.

Railway mobility contributed not only to development of the eastern regions, but also to urbanisation, which increased sharply after a significant increase in the length of Russian railway network (by more than 12 thousand km), while the connectivity of the territories of the European part of the country was achieved in the 1870s, so, the level infrastructure provision of the population exceeded the critical milestone of 2 km/10 thousand people [34, p. 162]. If in 1869 the urban population (with suburbs) in the European part of Russia (excluding Poland and Finland) was 6,2 million people, and its share was 9,5 %, then by 1914 this number had more than tripled, up to 19,5 million people, and amounted to 15,3 % of the total population [35, p. 839]. This was in line with global trends: in the whole world, the share of the urban population at the beginning of 20th century was about 15 %, while a century earlier it was only slightly more than 5 % [16; 29].

Urbanisation is a key element of modernisation of society, characteristic of its different stages [36, p. 4]. It is important not only for social progress, but also for economic growth: the share of the three hundred largest cities in the world in the world population is about 20 %, while their contribution to the world GDP is about 50 % [37], which is ensured due to agglomeration effects formed thanks particularly to the rational

organisation of transport systems of megacities and urban agglomerations [38; 5, pp. 229–236].

It is the development of urban and suburban transport that ensures high spatial mobility of the population of megacities and agglomerations, which becomes an everyday character and is an important factor in obtaining a high return on human capital concentrated there, which is the «main element of the wealth of modern societies», exceeding GDP in developed countries by 10–11 times, and the value of physical capital by 3,6 to 7 times [39, p. 537].

Due to development of urban transport, its growing availability and a gradual increase in traffic speeds, the distance of daily trips in megacities and agglomerations increased within the time that individuals consider it possible to spend on such trips [9, pp. 125–129; 44].

Thus, in a modern urbanised society, there has been a return to everyday mass mobility (moreover, daily distances covered are on average comparable to those covered by primitive gatherers and hunters), but at a qualitatively new level provided by modern transport systems. This is a vivid example of the dialectic of spatial mobility. Everyday mass mobility is no longer an instrument of a weakly specialised appropriating economy, but an instrument of highly specialised and highly productive activity. Individuals in a modern urbanised society are moving not so much to where there are currently the most resources, but, first, to where their work skills and competencies are valued more, and thus there is an opportunity to increase the return on their human capital. And just as the growth in the value of transported goods is the basis for the formation of the value of the infrastructure and other means of transport used to move them [41, pp. 133–141; 42, pp. 74–75], the growth in the value of human capital, achieved through travel, determines the value of fixed assets of passenger transport.

Prospects for Spatial Mobility

The prospects for spatial mobility of the population should be considered in the context of accelerating digital transformation of society, the economy and transport [43; 44].

Although development of digital interaction opportunities creates an alternative to physical movement, the opinion of researchers indicating that digitalisation contributes to the growth of spatial mobility of the population, including through the emergence of new forms of mobility

Table 6

The growth of mobility of the population of the Russian Empire with the account of railway transportation in the years of pre-war modernisation, 1900–1913

Indicators	1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913
Passenger turnover of railways: bln passenger•km	9,7	10,2	10,7	11,5	11,3	10,3	11,7	13,9	14,6	15,6	17,2	18,5	20,1	22,3
% to the year 1900	100,0	105,2	110,3	118,6	116,5	106,2	120,6	143,3	150,5	160,8	177,3	190,7	207,2	229,9
Mobility of the population when traveling by rail: passenger•km/person	72,9	75,6	78,1	82,7	80,1	71,5	80,1	93,3	95,4	99,4	106,8	112,8	119,6	130,4
% to the year 1900	100,0	103,7	107,1	113,4	109,9	98,1	109,9	128,0	130,9	136,4	146,5	154,7	164,1	178,9

Source: [18].

based on the relationship of spatial movements and digital interactions, seems reasonable [45; 46].

Firstly, digital communications make it possible to keep in touch with relatives and friends during spatial movements, removing thus one of the significant barriers to such movements.

Secondly, digitalisation increases the amount of information about the possibilities of increasing the efficiency of using the human capital of an individual, adding its value through spatial movements, which can stimulate geographic mobility.

Thirdly, due to digitalisation, «while traveling by public transport, a person can make purchases in an online store or solve work tasks» [46, p. 260], which makes it more acceptable for him to increase frequency, duration (and hence the distance) of trips, that is, it stimulates spatial mobility.

Digitalisation does not replace spatial mobility, but offers it new goals and routes, fills it with new content. *Spatial-digital mobility* is being formed, which can be interpreted as the ability to quickly move (including multimodally) from any point in space to any other point and, at the same time, implement global digital communications both at the end points of the route and throughout its entire length. Provided that such mobility is ensured, the implementation of J. Attali's forecast about an increase in the time spent on travelling and its saturation with a variety of types of labour and leisure activities is quite possible [47]. In practice, this is already happening.

It should be noted that the opportunity, thanks to digital technologies, to spend time in transport usefully does not reduce people's desire to speed up travel. This is evidenced by the above statistics

and introspective understanding. In the context of digitalisation, people are ready to travel more often and further (if it brings them adequate benefits), but for each specific trip they prefer a faster option (of course, taking into account cost and comfort).

Based on the foregoing, to ensure spatial and digital mobility of the population, transport systems should:

- Allow high speed travel.
- Be flexible and multimodal, allowing comfortable, fast, and reliable movement «from door to door».
- Be fully integrated with digital systems so that a person does not «fall out» of the digital space during the trip.

From the point of view of the latter criterion, high-speed land transport has significant advantages over aviation.

It should be noted that among the goals of development of the transport system of our country until 2030 and for the forecast period until 2035, both the increase in the mobility of the population and the digital transformation of the industry are provided³ [14, p. 80]. At the same time, even according to the conservative scenario, a high dynamic of the transport mobility of the population is predicted (Table 7), and according to a more ambitious scenario, which is considered as a baseline, the conservative level

Table 7

Target indicators for increasing the transport mobility of the population (including trips by private car) to the level of the base year, 2019 (%)³

	2030	2035
Conservative scenario	153,5	165,1
Base scenario	165,1	181,4





instead of 2035 should be reached as early as in 2030, after which the mobility will continue to grow quite dynamically.

According to the conservative scenario, the average annual growth in the transport mobility of the population is to be 3,2 %, and according to the baseline – 3,8 %, which is comparable to the dynamics of railway mobility at the beginning of the last century. This indicates that the level of spatial mobility of the population achieved in the course of a long-term modernisation of society, of the economy and of transport is by no means the limit, and its dynamic increase will continue.

Thus, the growth of spatial mobility of the population is of a long-term nature, which is a serious challenge for transport, the answer to which should be based on innovative solutions and the creation of a wide range of alternative options to meet the demand for travel, which have high socio-economic prospects [48; 49].

CONCLUSION

The rise and development of human society is inextricably linked with spatial mobility and its growth. At the same time, the growth of mobility has not been a linear process. Rather, it can be interpreted within the framework of the well-known dialectical triad: «thesis – antithesis – synthesis».

The early stages of social development, under the conditions of an appropriating pre-agrarian economy, were characterised by mass everyday mobility at low speeds and short travel distances.

The formation of a productive economy was preceded by a transition to settled life, but implementation of productive economy required

a partial replacement of the spatial mobility of people by spatial mobility of material goods with a simultaneous increase in the range of movements and their transformation into a specialised activity.

And, finally, the modern modernised and urbanised society, which is the result of many thousands of years of development of the productive economy and transport, which allowed humanity to enter the era of modern economic growth [18; 28], based on a qualitatively new level of both technical, technological and socio-economic developments, has achieved a synthesis of everyday mass mobility over relatively short distances with long-distance movements of both people and material goods, and the intensity, range and speed of the mobility has reached historically unprecedented levels.

Thus, humanity moved non-linearly towards modern high spatial mobility. It was a roundabout way or a detour, at different stages of which mobility changed not only quantitatively, but also qualitatively, but its role for economic activity and social life has always been high. At the same time, the achieved level of spatial mobility is by no means the limit. Deepening the modernisation of the society requires further growth in mobility, which, in turn, needs to accelerate the innovative development of transport.

REFERENCES

1. Macheret, D. A., Kudryavtseva, A. V., Ledney, A. Yu., Chernigina, I. A. General technical and economic course of railways [Obschiy tekhniko-ekonomicheskiy kurs zheleznnykh dorog]. Moscow, MIIT publ., 2017, 364 p. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32652216>. Last accessed 03.03.2022.
2. Macheret, D. A. Freedom of Movement and Features of Transport Systems. *World of Transport and Transportation*,

2019, Vol. 17, Iss. 3, pp. 40–54. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1665>. Last accessed 03.03.2022.

3. Macheret, D. A. What is evidenced by the centenary dynamics of the indicators of the largest railway systems [O chem svidetelstvuet stoletnyaya dinamika pokazatelei krupneishikh zheleznodorozhnykh sistem]. *Ekonomicheskaya Politika*, 2016, Vol. 11, Iss. 6, pp. 138–169. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27810881>. Last accessed 03.03.2022.

4. Izmaikova, A. V. Waves of Railway Innovative Development. *World of Transport and Transportation*, 2015, Vol. 13, Iss. 5, pp. 26–38. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/download/512/801>. Last accessed 03.03.2022.

5. Razuvaev, A. D. Economic assessment of creation, evolution and strategic development of transport infrastructure (on the example of railway transport): Monograph [Ekonomicheskaya otsenka sozdaniya, evolyutsii i strategicheskogo razvitiya transportnoi infrastruktury (na primere zheleznodorozhnogo transporta): Monografiya]. Moscow, Prometei publ., 2021, 286 p. ISBN 978-5-00172-251-9.

6. Macheret, D. A. Economy of Bottle Necks. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 3, pp. 64–75. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/86>. Last accessed 03.03.2022.

7. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. Improving the speed efficiency of transport communication based on continuous movement of goods and passengers [Povyshenie skorostnoeffektivnosti transportnogo soobshcheniya na osnove nepreryvnogo peremeshcheniya tovarov i passazhirov]. Fundamental research for long-term development of railway transport. Moscow, Intekst publ., 2013, pp. 85–94. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20401876>. Last accessed 03.03.2022.

8. Tsy-pin, P. E., Razuvaev, A. D., Ledney, A. Yu. Air transportation in a metropolis as a factor in development of its transport infrastructure [Vozdushnie perevozki v megapolise kak faktor razvitiya ego transportnoi infrastruktury]. *Science and education: the future and goals of sustainable development. Proceedings of 16th International Scientific Conference*. Moscow, 2020, pp. 622–629. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44538517>. Last accessed 03.03.2022.

9. Golts, G. A. Transport and resettlement [Transport i rasselenie]. Moscow, Nauka publ., 1981, 248 p. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28132974>. Last accessed 03.03.2022.

10. Golts, G. A. Culture and economy of Russia for three centuries, 18th–20th centuries. Vol. 1. Mentality, transport, information (past, present, future) [Kultura i ekonomika Rossii za tri veka, XVIII–XX vv. T. 1. Mentalitet, transport, informatsiya (proshloe, nastoyashchee, budushchee)]. Novosibirsk, Siberian Chronograph publ., 2002, 536 p. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28134510>. Last accessed 03.03.2022.

11. Lapidus, B. M., Macheret, D. A. A projected topology of a high-speed transport system deploying vacuum levitation systems. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2018, Iss. 1, pp. 15–21. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32637976>. Last accessed 03.03.2022.

12. Lapidus, B. M. The future of transport. World Trends with a Projection on Russia: Monograph [Budushchee transporta. Mirovie trendy s proektsiei na Rossiiu: Monografiya]. Moscow, Prometei publ., 2020, 226 p. ISBN 978-5-907224-52-8.

13. Miroschnichenko, O. F. Methodological support of calculations of the economic efficiency of construction of high-speed lines [Metodicheskoe obespechenie raschetov ekonomicheskoi effektivnosti sooruzheniya vysokoskorostnykh

linii]. *Vestnik VNIIZhT*, 1993, Iss. 2, pp. 31–35. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33846613>. Last accessed 03.03.2022.

14. Lapidus, B. M. Social and economic preconditions of developing high-speed railway traffic in Russia. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC RZD*, 2013, Iss. 2, pp. 9–12. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19068940>. Last accessed 03.03.2022.

15. Varnavsky, V. G. Global transport and logistics infrastructure [Globalnaya transportno-logisticheskaya infrastruktura]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2021, Vol. 91, Iss. 2, pp. 157–166. DOI: 10.31857/S0869587321020110.

16. Vishnevsky, A. G. Demographic history and demographic theory [Demograficheskaya istoriya i demograficheskaya teoriya]. Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics, 2019, 368 p. ISBN 978-5-7598-1706-2 (print); ISBN 978-5-7598-1836-6 (e-book).

17. Macheret, D. A., Lednei, A. Iu. Impact of seasonal irregularity of transportation on efficiency of transport infrastructure. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2019, Iss. 6, pp. 4–9. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42194730>. Last accessed 03.03.2022.

18. Macheret, D. A. The role of density, population mobility and movement of material goods in different concepts of economic growth [Rol plotnosti, mobilnosti naseleniya i peremeshcheniya materialnykh blag v raznykh kontseptsiyakh ekonomicheskogo rosta]. *Voprosy teoreticheskoi ekonomiki*, 2021, Iss. 4, pp. 50–78. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-plotnosti-mobilnosti-naseleniya-i-peremeshcheniya-materialnyh-blag-v-raznykh-kontseptsiyah-ekonomicheskogo-rosta>. Last accessed 03.03.2022.

19. Macheret, D. A. Social Significance of Transportation Speed. *World of Transport and Transportation*, 2017, Vol. 15, Iss. 3, pp. 40–52. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1209>. Last accessed 03.03.2022.

20. Maksakovskiy, V. P. Historical geography of the world [Istoricheskaya geografiya mira]. Moscow, Lenand publ., 2016, 624 p. ISBN 978-5-9710-1597-0.

21. Markov, A. V. Human evolution. In 2 books. Book 1: Monkeys, bones and genes [Evolutsiya cheloveka. V 2 kn. Kn. 1: Obez'yany, kosti i geny]. Moscow, Astrel: CORPUS publ., 2012, 464 p. [Electronic resource]: https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/Markov_2011_E%60volutsiya%20cheloveka_1_Obez'yany%60kosti%20i%20geny%60.pdf. Last accessed 03.03.2022.

22. Morris, I. Why the West Rules – for Now. The pattern of history and what the reveal about future. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2010, 944 p. ISBN 9780374290023.

23. Kaube, J. Die Anfänge von allem. Berlin, Rowohlt, 2017, 400 p. ISBN-10 9783871348006; ISBN-13 978-3871348006.

24. Scott, J. C. Against the Grain. A Deep History of the Earliest States. New Haven and London: Yale University Press, 2017, 312 p. DOI: 10.1111/padr.12152.

25. Ponting, C. World History. A New Perspective. London: Chatto & Windus, 2000, 944 p. ISBN-13 9780701168346.

26. Macheret, D. A. Transport Factor in the Era of Ancient Civilizations. *World of Transport and Transportation*, 2014, Vol. 12, Iss. 2, pp. 230–239. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/72>. Last accessed 03.03.2022.

27. McNeil, W. H. The Rise of the West: A History of the Human Community. Chicago: The University of Chicago Press, 1992, 860 p. ISBN-13 978-0226561417.

28. Macheret, D. A. The transport factor of formation of the era of modern economic growth [Transportniy factor



formirovaniya epokhi sovremennogo ekonomicheskogo rosta]. *Ekonomicheskaya Politika*, 2019, Vol. 14, Iss. 1, pp. 154–179. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnyy-faktor-formirovaniya-epokhi-sovremennogo-ekonomicheskogo-rosta>. Last accessed 03.03.2022.

29. Smil, V. *Energy and Civilization: A History*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2017, 564 p. DOI: 10.7551/mitpress/10752.001.0001.

30. Mortimer, I. *Centuries of Change: Which Century Saw the Most Change?* London: Bodley Head, 2014, 416 p. ISBN-13 9781847923035.

31. Zagorsky, K. Ya. Economics of transport [*Ekonomika transporta*]. Moscow-Leningrad, Gosizdat publ., 1930, 268 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/zagorskiy-k-ya-ekonomika-transporta_77670b556c4.html. Last accessed 03.03.2022.

32. Davydov, M. A. Modernization of Witte–Stolypin and its specifics [*Modernizatsiya Vitte–Stolypina i ee spetsifika*]. *Voprosy teoreticheskoy ekonomiki*, 2017, Iss. 1, pp. 109–131. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32817318>. Last accessed 03.03.2022.

33. Schenk, F. B. Russlands Fahrt in die Moderne. Mobilität und sozialer Raum im Eisenbahnzeitalter [*Poezd v sovremennost. Mobilnost i sotsialnoe prostranstvo Rossii v vek zheleznykh dorog. Transl. from German*]. Moscow, Novoe literaturnoe obozrenie publ., 2016, 584 p. [Electronic resource]: <https://na5ballov.pro/lib/novaya/8683-shenk-fb-poezd-v-sovremennost-mobilnost-i-socialnoe-prostranstvo-rossii-v-vek-zheleznykh-dorog.html>. Last accessed 03.03.2022.

34. Macheret, D. A. Economic notes on the Russian railroads. *Otechestvennye zapiski*, 2013, Iss. 3 (54), pp. 162–176. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21218771>. Last accessed 03.03.2022.

35. Mironov, B. N. Russian Empire: from tradition to modernity: In 3 vol. Vol. 1. [*Rossiiskaya imperiya: ot traditsii k modernu: v 3 t. T. I*]. St. Petersburg, Dmitry Bulavin publ., 2018, 896 p. [Electronic resource]: http://www.bmironov.spb.ru/wp-content/uploads/2019/10/Mironov_Ros_imp_2_e_izd_t_1.pdf. Last accessed 03.03.2022.

36. Macheret, D. A. Transport and modernization: theoretical aspects of mutual influence. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2021, Iss. 3 (94), pp. 3–8. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46683400>. Last accessed 03.03.2022.

37. Martianov, V. S. The cities and states: in search of a new strategy of interaction. *Obshchestvennye nauki i sovremennost*, 2019, Iss. 3, pp. 170–184. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37711160>. Last accessed 03.03.2022.

38. Razuvaev, A. D. A methodology for economic evaluation of erecting transport infrastructure in megapolises. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2019, Iss. 4 (83), pp. 18–21. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39543740>. Last accessed 03.03.2022.

39. Kapelyushnikov, R. I. Economic essays: Methodology, institutions, human capital [*Ekonomicheskie ocherki: Metodologiya, instituty, chelovecheskiy kapital*]. Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics, 2016, 574 p. [Electronic resource]: <https://institutiones.com/download/books/3972-ekonomicheskie-ocherki-kapelyushnikov.html>. Last accessed 03.03.2022.

40. Marchetti, C. Anthropological Invariants in Travel Behavior. Technological Forecasting and Social Change,

1994, Vol. 47, No. 1, p. 75–88. DOI: 10.1016/0040-1625(94)90041-8.

41. Ledney, A. Yu. Development of methodological approaches to assessing the economic efficiency of development of transport infrastructure, taking into account the volume and unevenness of transportation. Ph.D. (Economics) thesis [*Razrabotka metodicheskikh podkhodov k otsenke ekonomicheskoeffektivnosti razvitiya transportnoi infrastruktury s ucheto obemov i neravnomernosti perevozok. Dis... kand. ekon. nauk*]. Moscow, RUT (MIIT) publ., 2020, 176 p. [Electronic resource]: https://rut-miit.ru/content/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9B%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B9_%D0%90%D0%AE.pdf?id_wm=864660. Last accessed 03.03.2022.

42. Razuvaev, A. D., Ledney, A. Yu. The economic significance of transport speeds for the value of transport infrastructure. *Finansovye aspekty strukturnykh preobrazovaniy ekonomiki*, 2021, Iss. 7, pp. 73–83. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47178604>. Last accessed 03.03.2022.

43. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016, 172 p. [Electronic resource]: https://law.unimelb.edu.au/_data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf. Last accessed 03.03.2022.

44. Lapidus, B. M. The impact of digitalization and Industry 4.0 on development of the railway transport ecosystem [*Vliyanie tsifrovizatsii i Industrii 4.0 na razvitiye ekosistemy zheleznodorozhnogo transporta*]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2018, Iss. 3, pp. 28–33. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32678032>. Last accessed 03.03.2022.

45. Shariko, E. R. Distant work: a new challenge of population mobility (experience of megacities and small cities). *Vestnik Akademii*, 2021, Iss. 2, pp. 74–83. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47265792>. Last accessed 03.03.2022.

46. Starikova, A. V., Demidova, E. E. Spatial mobility and digitalization: the role of new values in public life and the impact on population migration [*Prostranstvennaya mobilnost i tsifrovizatsiya: rol novykh tsennostey v obshchestvennoy zhizni i vliyanie na migratsii naseleniya*]. *Annual Theological Conference of the Orthodox St. Tikhon Humanitarian University*, 2019, Iss. 29, pp. 259–262. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41848748>. Last accessed 03.03.2022.

47. Attali, J. *Une brève histoire de l'avenir*. Paris: Fayard, 2006, 427 p. ISBN-13 9782213631301.

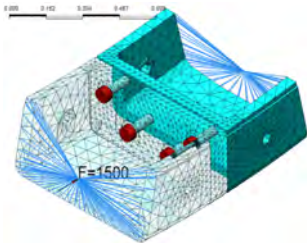
48. Kudryavtseva, A. V. Social and economic perspectives for transport innovations. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2017, Iss. 2 (69), pp. 34–39. [Electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-ekonomicheskie-perspektivy-transportnykh-innovatsiy>. Last accessed 03.03.2022.

49. Kudryavtseva, A. V. Methodology for assessing the socio-economic prospects of transport innovations [*Metodologiya otsenki sotsialno-ekonomicheskoy perspektivnostitransportnykh innovatsiy*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2017, Iss. 4, pp. 62–68. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29217965>. Last accessed 03.03.2022.

Information about the author:

Macheret, Dmitry A., D.Sc. (Economics), Professor, First Deputy Head of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways, Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, macheretda@rambler.ru.

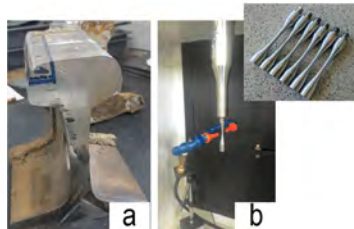
Article received 29.12.2021, approved 02.03.2022, accepted 14.03.2022.



TRANSPORT TUNNELS

152

Rigidity of the longitudinal flange joint of prefabricated tunnel linings with tensile bonding. New approaches to estimating of the value of the rigidity and accounting for it. Analytical solutions and experimental checking of the validity of the results.



RAILS

164

Study on the features of white layer formation mechanism and on its properties using wide range of modern research tools. The paper suggests for consideration a resulted version of WL formation, that is, crushing of ferrite and cementite, which are part of pearlite, without intermediate phase transformations.





Rigidity of Flanged Joints in Prefabricated Tunnel Linings with Tensile Bonding



Timofey M. BARANOV



Damir A. ZAINAGABDINOV

Timofey M. Baranov¹,

Damir A. Zainagabdinov²

^{1,2} Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia.

✉ ¹ Baranov-87@yandex.ru.

ABSTRACT

The article considers the issue of estimating rigidity of the longitudinal flange joint of prefabricated tunnel linings with tensile bonding. Rigidity of flange joints affects correctness of estimation of predicted forces in tunnel linings. The tunnel design standards indicate the need to consider rigidity of joints of segments of prefabricated tunnel linings when calculating the forces in the load-carrying structures, however, the question of estimating the magnitude of the rigidity and methods for accounting for it remains open.

The objective of the research is to study design assumptions and to reveal some results of estimation of rigidity of ordinary bolted joints of segments of prefabricated tunnel linings, as well as the effect of the rigidity on the forces in tunnel linings. The issue is relevant when performing checking calculations of existing structures and when designing new linings with rigid bolted joints and other tensile bonding elements.

The article provides an analytical solution of the problem based on the compatibility of deformations of prefabricated elements, and shows the dependences obtained of the angle of mutual rotation of

rigid segments of tunnel lining on bending moments, longitudinal forces, and geometric dimensions of lining elements. The correctness of the conclusions was verified by a series of numerical experiments resulted in building of refined curves of the dependences of the same parameters, and in estimation of the spatial operation of cast-iron tubing in the contact area.

Solving the contact and physically nonlinear problem of operation of a flange joint of cast-iron tubing with tensile bonding has allowed to identify at the beginning a set of linear deformations of functions of the dependence of the angle of rotation of the segments on the forces acting in them for a specific configuration of elements. A technique for applying the research results for modelling tunnel linings as a plane problem in the GTS NX environment is disclosed. Comparative modelling of the same type of test tasks for operation of annular tunnel linings showed that under various soil conditions, with introduction of joint rigidity parameters, an increase in bending moments up to 8 % is observed in the linings while longitudinal forces remain practically unchanged.

Keywords: transport, tunnels, tensile bonding, rigidity of joints, moment of a force in joint, lining modelling, inelastic behaviour.

For citation: Baranov, T. M., Zainagabdinov, D. A. Rigidity of Flanged Joints in Prefabricated Tunnel Linings with Tensile Bonding. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 152–163. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-3>.

The text of the article in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Features of modelling the operation of cast-iron linings with tensile bonding between tubing suppose considering the location and size of initial gaps in joints and the compliance of joints. This circumstance is considered in the requirements of clause 5.6.5 of SP 122.13330.2012¹, concerning calculations of structures for the so-called first group of limit states. The values of joint compliance are usually determined by the so-called joint moments, upon reaching which the stiffness of the joint passes into the plastic stage [1–3]. However, the scientific literature on the design and calculation of tunnels [4; 5], does not clearly indicate what the rigidity of a standard flanged bolted joint should be before the transition of the joint into a plastic hinge and what dependencies are characteristic of this rigidity. At the same time, modern tunnel design methods have plenty of opportunities to clarify the nature of operation of cast iron tubing and other tunnel linings with tensile bonding in flange joints. The topic is especially relevant when performing checking calculations of existing tunnel linings.

A significant amount of research on the effect of joint rigidity by numerical methods has been carried out in [6; 7], that contain comparative calculations of forces in prefabricated tunnel linings depending on the obtained rigidity coefficients. As rigidity coefficients, the authors understand the ratio of deformative properties of joints of lining segments with a specified rigidity to deformative properties of the segments of prefabricated linings themselves. These works note a change in the forces in prefabricated, however, they recommend considering the

rigidity rates as constant, regardless of the forces in the elements. The authors of [8; 9] studied also estimates of the rigidity of flanged joints under rock pressure and seismic effects.

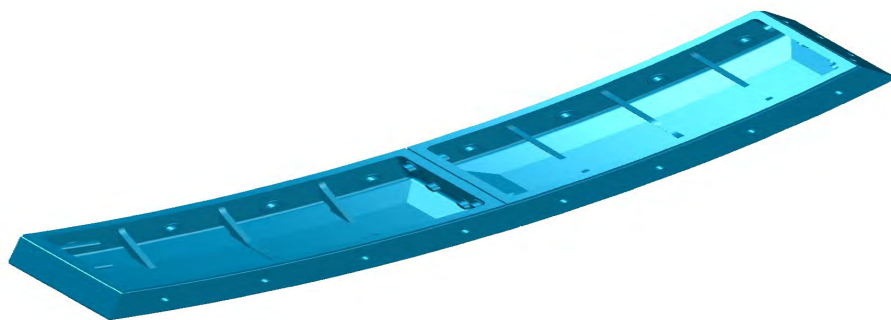
The *objective* of the research is to study design assumptions and reveal some results of estimation of rigidity of ordinary bolted connections of segments of prefabricated tunnel linings, as well as the effect of the rigidity on the forces in tunnel linings. The research has been based on analytical and experimental *methods* and computer modelling.

RESULTS

Tubing is cast product made of grey cast iron (gray iron) with a «back», four sides and stiffeners (stiffening ribs). Sections of tubing are connected to each other in the direction transverse to the axis of the tunnel, as a rule, by four bolts made of ordinary steel with a diameter of 20–45 mm. The cross-connection of two tubing sections is shown in Pic. 1. The paper considers the node of the flange (transverse) connection, although the design of tubing linings also provides for longitudinal connection of the rings to each other (horizontal bracing). Horizontal bracing can also be involved in operation of load-bearing structures, but subject to significant deformations of the linings, which turn the load-bearing structures into a pipe lying on an elastic foundation [10; 11].

Static calculations of linings, which consist in estimating the force acting in load-bearing structures of lining, are carried out using the methods of structural mechanics and continuum mechanics [12; 13]. The calculation methods described in the literature are based on considering operation of the lining both in the elastic stage and regarding linear rigidity of the flange joints [14; 15]. In fact, the connection of elements is

¹ SP [Code of Rules] 122.13330.2012 Railway and road tunnels. Updated version of SNiP [Construction standards and rules] 32-04-97 (with Amendments No. 1, 2).



Pic. 1. 3D model of the transverse joint of cast-iron tubing [developed by the authors].



neither absolutely rigid nor linearly elastic, especially in the absence of bracing of longitudinal joints or in case of small longitudinal deformations. In this situation, due to the deflection of the end walls and elongation of the bolt connections, the joints between the tubing sections open.

For the first group of limit states, the limit values of the forces N_b are determined through the standard resistance of the bolted steel R_b , n , taking into account the uniformity coefficient k [16]:

$$N_b = A_b \cdot R_b \cdot n / k. \quad (1)$$

When the joint is opened from the inside, a collapse zone is formed at the rounding of the end of the tubing, through which the normal force N and the force in the bolts N_b of the most stressed inner row are transmitted. The height of the collapse zone is:

$$x = \frac{N + N_b}{b R_p}, \quad (2)$$

where x is the height of the collapse zone;

b – the width of a lining element;

R_p – design strength of the lining material.

Moment in plastic hinge:

$$M_{st}^+ = N \left(a_1 - \frac{x}{2} \right) + N_b \left(a_2 - \frac{x}{2} \right), \quad (3)$$

where $a_{1,2}$ – the distance from the point of mutual rotation to the row of bolts shown in Pic. 2.

As a result, there is a redistribution of forces in the lining with an increase in its bearing capacity. The limit state regarding the opening of the joints occurs much earlier than the limit state of the strength of the joints.

If the moment at the joint is $M \leq M_{st}^+ / b$, then the calculation is performed for the elastic stage, and if $M > M_{st}^+ / b$ then a plastic hinge emerges.

The elastic behaviour is implied dictated not by the bending rigidity of the tubing, but by the rigidity of the bolted joint at the joint of the tubing.

In the case of the action of negative moments, the collapse zone is formed at the groove, that is, on the most compliant end surface of the tubing. When calculating the height of the collapse zone, it is not the full width that is entered, but the sum of sufficiently rigid sections through which the force is transmitted:

$$b_0 = 2 \cdot (b_k + \delta), \quad (4)$$

where b_k is annular rib thickness;

δ – end wall thickness.

The force per one bolt of the inner row:

$$N_b^n = \frac{1}{m_1} \cdot \frac{M - N(a_n - r)}{(a_1 - r)^2 + (a_2 - r)^2} \cdot (a_1 - r), \quad (5)$$

where r – rounding radius on the face of the lining element.

The solution of equations (1)–(5), based on the analysis of the limit state, are given in the literature on the design of tunnels [2; 16].

To determine rigidity of a bolted joint, let us consider the deformation scheme of the joint of a cast-iron tubing, shown in Pic. 2. The sum of the moments of the forces acting at the joint when turning around the point O or around the points located along the radius of the edge of the tubing, allows drawing up an equation for the balance of forces:

$$M = N \cdot a_N + (N_1 \cdot a_1 + N_2 \cdot a_2). \quad (6)$$

When the joint opens under the action of forces, each bolt (a pair of bolts located in the same row) will receive an increment in length δ , which can be associated with the angle of rotation α , expressed in radians, by the dependencies:

$$\delta_{1,2} = \alpha \cdot a_{1,2}. \quad (7)$$

Hooke's law, which determines the classical dependencies of the relative deformations of bolts ε with tensile forces in them is:

$$N_{1,2} = \varepsilon_{1,2} \cdot E_{bs} \cdot A_{b1,2}, \quad (8)$$

where E_{bs} – modulus of elasticity of steel of which bolts are made;

$A_{b1,2}$ – total area of bolts located in one row.

From the definition of relative strain and according to Pic. 2 it follows that:

$$\varepsilon = \frac{\delta_{1,2}}{l_b}. \quad (9)$$

Substituting (7)–(9) into (6), one can obtain the equation for the dependence of the bending moment at the joint and the angle of rotation of the joint around the edge of the tubing:

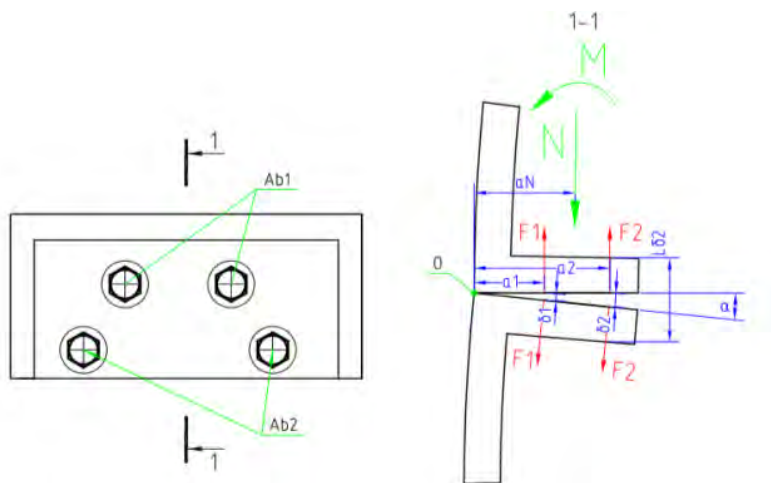
$$M = N a_N + \frac{E_{bs}}{l_b} \alpha (A_{b1} a_1^2 + A_{b2} a_2^2). \quad (10)$$

If the areas of all four bolts in the joint are the same and equal to A_b , then equation (10) can be rewritten as:

$$M = N \cdot a_N + k \cdot \alpha, \quad (11)$$

where $k = 4 A_b \frac{E_{bs}}{l_b} (a_1^2 + a_2^2)$ is coefficient of linear rigidity of the joint.

Given the limiting values of relative deformations, it is possible to determine the limiting angle of rotation of the joint. The moment of the limit state in terms of the angle of rotation during the formation of a plastic hinge will be the moment when the deformation in the



Pic. 2. Joint deformation scheme [developed by the authors].

bolt (row of bolts) farthest from the pivot point ε_2 reaches the limit ε_{lim} :

$$\alpha_{lim} = \varepsilon_{lim} \frac{l_{b2}}{a_2}, \quad (12)$$

and the angle of rotation itself will linearly depend on the forces acting at the joint and the geometry of the connection, until in one of the rows of bolts their material passes into the plastic stage:

$$\alpha = \frac{M - N a_N}{k}. \quad (13)$$

Linear dependence (11) is maintained until the bending moment reaches the moment of transition to the initial plastic stage $M \rightarrow M'$, with the angle of rotation $\alpha \rightarrow \alpha'$. In equation (10), the relative deformation of the bolt farthest from the turning point ε_l transforms into a yield plastic zone $\varepsilon \rightarrow \varepsilon_T$. In this case, it is assumed that the material of the bolts acts as an elastic-plastic material according to the bilinear Prandtl diagram. The moment of transition is defined as:

$$M' = N \cdot a_N + \frac{E_{bs}}{a_2} \cdot \varepsilon_T (A_{b1} \cdot a_1^2 + A_{b2} \cdot a_2^2), \quad (14)$$

and the angle will be equal to:

$$\alpha' = \frac{l_b}{a_2} \varepsilon_T, \quad (15)$$

With a further increase in the moment $M > M'$, the stress in the bolts of the far row does not change, and the overall rigidity of the bolted connection decreases:

$$M = N \cdot a_N + \alpha \cdot k' + m_{yield} \quad (16)$$

where $k' = \frac{E_{bs}}{l_b} \cdot A_{b1} \cdot a_1^2$ – coefficient of inelastic

stiffness of the joint;

$$m_{yield} = \varepsilon_T \cdot E_{bs} \cdot A_{b2} \cdot a_2 - \text{residual moment.}$$

Pic. 3 shows a graph demonstrating the dependence of the angle of rotation of the joint on the magnitude of the bending moment, taking into account equations (10), (14) and (16). If the unloading of the joint is allowed from the moment $M' > M \geq M_{st}$, then the residual angle of rotation α_{res} can be observed in the joint, determined by the residual moment and the rigidity of the bolts of the first row closest to the turning point:

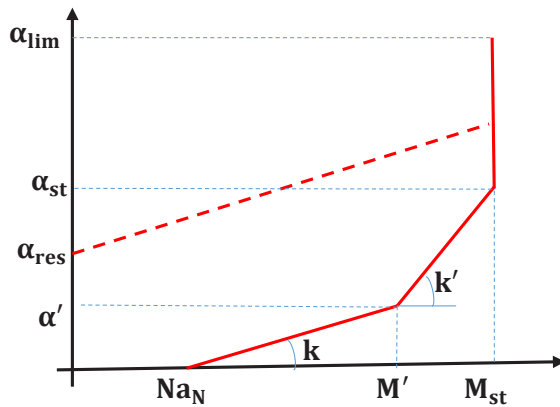
$$\alpha_{res} = - \frac{m_{yield}}{\frac{E_{bs}}{l_b} \cdot A_{b1} \cdot a_1^2}. \quad (17)$$

Thus, analytical dependences of rigidity of joints and the magnitude of the forces acting in the joint were obtained for correct modelling of rigidity of a connection joint with tensile bonding in prefabricated tunnel linings. The overall rigidity of the lining is formed not so much by the bending rigidity of the cast-iron tubing or reinforced concrete block, but by much less rigid joints, in comparison with which the bending of the lining element can be neglected.

These dependencies in the form of functions $\alpha(N, M)$ can be used directly in finite element analysis computational programs, or taking into account the refined methodology. Let us consider an example of this problem, solved by the finite element method, taking into account the physical nonlinearity of materials and contact nonlinearity.

The joint of two sections of cast-iron tubing with a bolted connection, modelled in the midas FEA environment is shown in Pic. 4. The Table 1 shows the characteristics of the materials in the model. The contact problem is formed by the





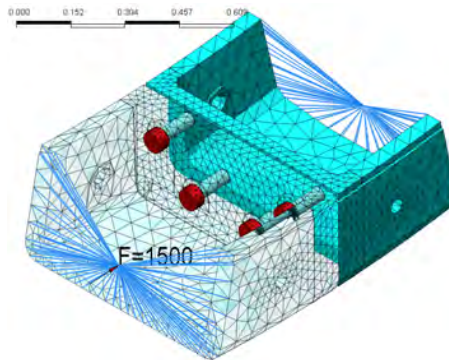
Pic. 3. Graph of the dependence of the angle of rotation of the joint on the moment [developed by the authors].

Table 1

Materials of the joint model [compiled by the authors according to the data of SP.16.13330.2017*]

Elements	Material	Model of the material	Parameters of the model
Tubing	Grey cast iron SCh-20-40	von Mises model	$E = 100 \text{ hPa}$ $\nu = 0,1$ $\sigma_{\text{yield}} = 200 \text{ MPa}$
Bolts	St3	von Mises model	$E = 206 \text{ hPa}$ $\nu = 0,2$ $\sigma_{\text{yield}} = 245 \text{ MPa}$ $A_b = 13,85 \text{ cm}^2$

* SP [Code of Rules] 16.13330.2017. Steel structures. Updated edition of SNiP [Construction standards and rules] II-23-81* (with Amendments No. 1, 2, 3).



Pic. 4. General view of the model of the joint of sections of tubing [developed by the authors].

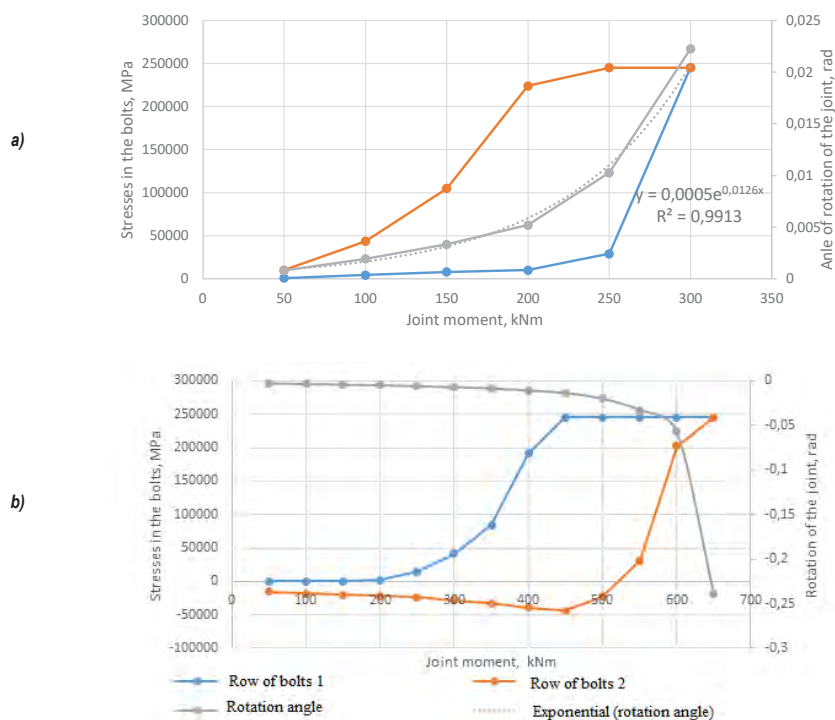
standard surface-to-surface contact method with a static friction coefficient of 0,4.

The loadings of the model are taken as positive and negative gradually increasing moments with different longitudinal compressive forces from 0 to 3000 kN with a step of 500 kN. The forces are applied to the ends of the computational domain of the model evenly over the entire surface area by connecting the nodes with a rigid insert.

The results of the modelling show the dependence of the angle of rotation of two tubing

sections relative to each other, the stresses in the bolts, the change in the contact area of the tubing sections on the moments acting on the tubing.

Under the action of positive moments that open the gap between the tubing sections from inside the tunnel, a plastic hinge is formed when the design resistance of the bolts in both rows is reached. Pic. 5a shows the change in stresses in the bolts of each row and the increase in the angle of mutual rotation of tubing sections. As an example, graphs are given at zero longitudinal force. Upon reaching a moment of 200 kNm, the



Pic. 5. Deformability of the joint (a – in the absence of a longitudinal force; b – in the presence of a compressive longitudinal force) [developed by the authors].

joint deforms linearly; then first in the far row, and then in the row closest to the turning point, the bolt material passes into the plastic stage and the increase in the angle of rotation increases according to a pronounced exponential law.

In the presence of longitudinal forces, the value of the joint moment Mst increases, and the stress distribution in the bolts changes. Pic. 5b shows graphs of the angle of rotation and stresses in the bolts under the action of negative moments that open the joint from the side of the rock. A significant part of the graph up to the moment when plastic deformation begins to occur in the far row of bolts is also linear.

Numerical modelling of joints gives a similar result as compared with the analytical solutions presented in Pic. 3. There are some differences in the «flatness» of the behaviour, which is due to the assumption on a single and rigidly defined point of mutual rotation of the tubing sections. The numerical solution shows that in the presence of a longitudinal compressive force, the contact area of tubing sections is distributed unevenly. The spatial rigidity is such that the area between the longitudinal ribs of the tubing sections is out of contact during axial compression, and the contact tends to the ribs and the back of the elements, as shown in Pic. 6.

With an increase in bending moments, the contact area migrates to the back, towards the point O in the scheme in Pic. 2, and the force transmitted through the contact increases. A similar picture is observed with application of negative moments when the contact area is located along the longitudinal ribs of tubing sections.

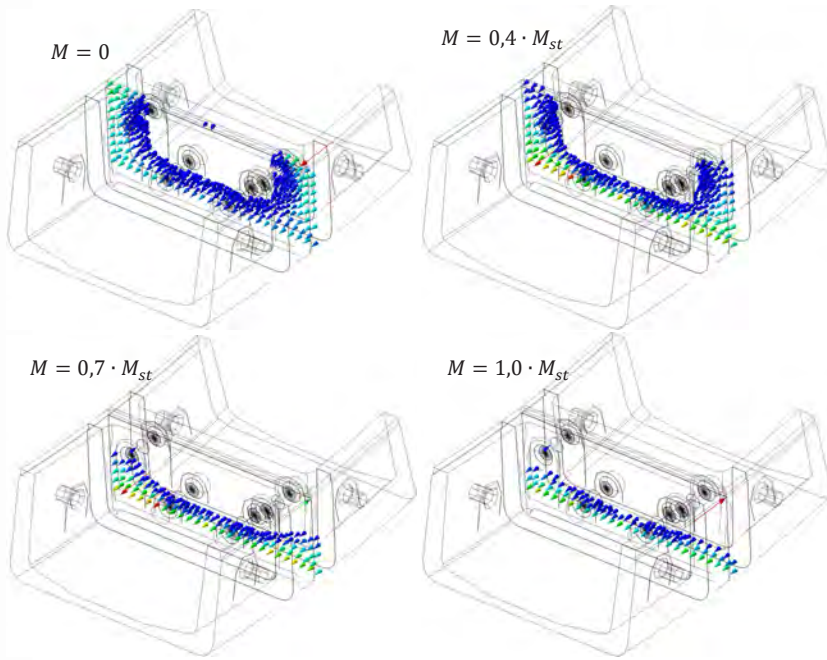
The dependence of the joint rigidity on the longitudinal force and moment according to the results of a numerical experiment is shown in Pic. 7. Within the limits of linear deformations of the bolts, the difference in rigidity is insignificant, i.e., the rigidity of the joints is practically independent of the magnitude of the longitudinal force. Longitudinal forces affect the magnitude of joint moments, as well as rigidity of the joints at significant bending moments approaching the joint moments.

Let us consider the linear parts of rigidity, since the main forces in the lining of tunnels fall on the elastic deformations of the structures. Within the range of the moments of 200–400 kNm, it seems possible to determine the linear functions of the rotation angles $\alpha(N, M)$, as:

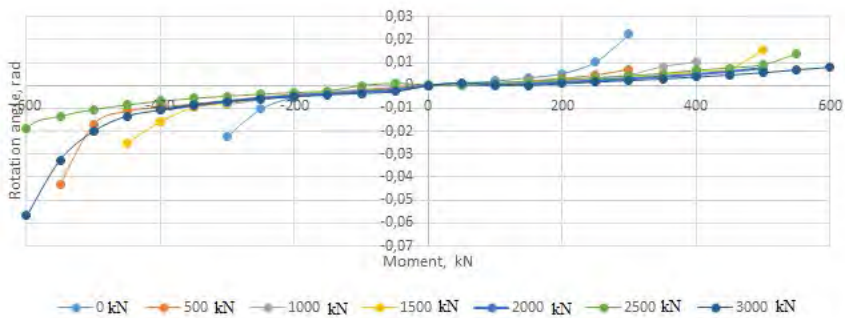
$$\alpha(N) = a \cdot M + b, \quad (18)$$

where a and b – approximation coefficients, given in Table 2.





Pic. 6. Migration of the contact area in the joint with an increase in moment [developed by the authors].



Pic. 7. Rigidity of the joint under various longitudinal forces [developed by the authors].

The parameter a , which from equation (11) has the physical meaning of the linear rigidity, varies in the range -25 % ... +6 % as the force increases. When calculating the lining of tunnels, complete absence of longitudinal forces is quite rare, therefore, starting from a force of 500 kN, the range of variation is -10 % ... +6 %, which is within the engineering error of calculating the load carrying structures of tunnels.

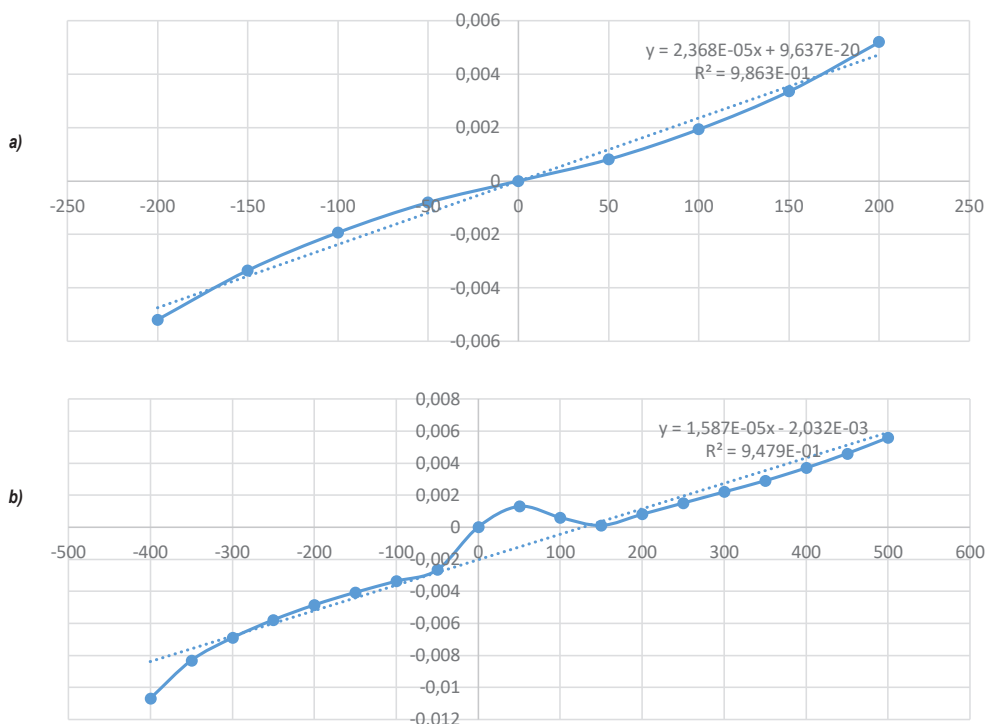
The following conclusions can be drawn from this research:

- 1) rigidity of bolted longitudinal joints with tension bonding slightly depends on the magnitude of the longitudinal force in the joint;
- 2) within certain limits, the rigidity does not change, and the angle of rotation of the lining elements relative to each other changes linearly depending on the magnitude of the moment in the joint area;

3) with the emergence of plastic deformations in the bolts, the rigidity of the joint drops, and continues to decrease with increase in the moment;

4) the value of the joint moment is determined by the appearance of plastic deformations in the bolts, and the limiting value of the angle of rotation of the elements of the lining is determined by the limiting deformation of the connection furthest from the point of turning of the bolts.

Let's carry out test calculations of the tunnel lining, consisting of cast-iron tubing, using the obtained dependencies. The objective of the calculations is to determine the change in internal forces in the lining without considering rigidity of the joints of the lining elements and considering this rigidity. The calculation is performed as a plane problem in the GTS NX finite element modelling environment for geotechnical



Pic. 8. Linear approximations of rigidity (a – in the absence of a longitudinal force; b – with a compressive force of 3000 kN) [developed by the authors].

Table 2

Parameters of linear approximation of rigidity according to the formula (17) [developed by the authors]

Longitudinal compressive force N	$a \cdot 10^{-5}$	$b \cdot 10^{-4}$	Determination coefficient R^2
0	2,368	0	0,986
500	1,781	3,291	0,99
1000	1,892	10	0,963
1500	1,804	4,832	0,965
2000	1,629	14,55	0,968
2500	1,654	18	0,963
3000	1,587	20,32	0,948

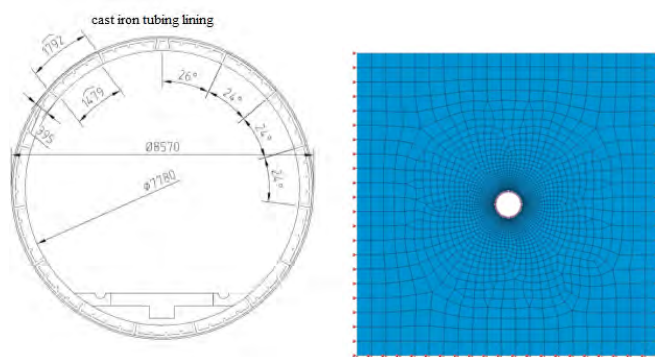
structures. The lining is made of cast-iron tubing sections with an internal diameter of 7,78 m; the location of the tubing joints is shown in Pic. 9.

The soils surrounding the lining are modelled using an isotropic Hardening Soil (HS) model implemented in the GTS NX environment. The model accurately describes the behaviour of the soil during excavation of soil, during construction of retaining walls and tunnelling, accompanied by a decrease in the average effective stress and, at the same time, by mobilisation of rock shear resistance [17; 18].

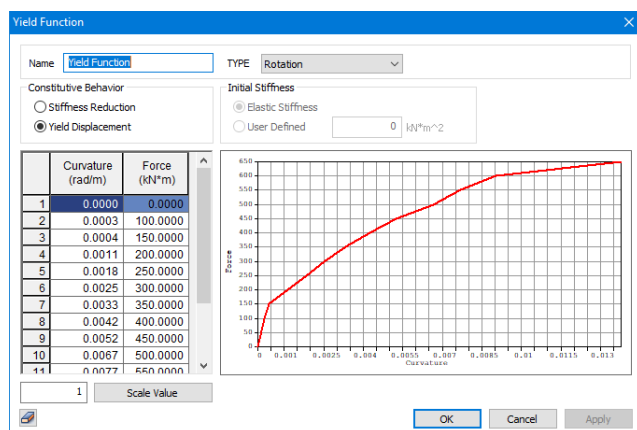
As an example, for the test task, we will take the physical and mechanical properties of soils of three types, given in Table 3. The computational area of the model has dimensions of 100 x 100 m. In the centre, there is a ring retaining the soil mass, which has rigidity of a ring made of cast-iron tubing 0,75 m wide. The calculation is performed in two stages:

1) The initial stage for determining the earth pressure and the initial displacements of the soil mass.





Pic. 9. Railway tunnel lining design and FE model [developed by the authors].



Pic. 10. Properties of an inelastic hinge [screenshot of the GTS NX software window made during simulation process according to authors' model].

2) The second stage, at which the soil is excavated, and the hole is immediately reinforced with a lining. The interface elements of the soil-lining contact were not used.

The view of the finite element model is shown in Pic. 9. The introduction of rigidity of the joints is carried out by assigning a hinge to the node of the finite element of the lining, which has the properties of deformability, as shown in Pic. 7 or according to the linear equation (18). The rigidity of the joint is modelled by the Beam–Lumped property («Beam–lumped hinge»). The inelastic behaviour is described by skeletal curves, which are empirical hysteresis models. Longitudinal rigidity is represented by a spring in the centre of the element, and bending rigidity is represented by springs at the ends of the elements and is described by force-displacement dependencies.

In calculations, it is possible to use the following types of dependences or types of hysteresis models:

– Origin-oriented dependence: reaction points under initial loading and unloading move

along a three-linear skeletal curve. This model is used in test calculations.

– It is possible to use other models for further research: Peck, Kinematic, Takeda models, and others.

According to the GTS NX manual^{2, 3}, the properties of inelastic behaviour are specified in the *Yield Function* in the form of a positive branch of dependences of the angle of rotation *Curvature* (rad/m) on the moment *Force* (kN·m) (Pic. 10). The behaviour at negative moment is calculated automatically. In the process of testing the operation of the function in the GTS NX 2019 v1.2 version on simple models, it was found that when assigning the properties of an inelastic hinge in a plane problem, it is desirable to indicate the direction of the degree of freedom

² Benchmarks & Verifications Manuals. Chapter 3. Material Nonlinearity. MIDAS IT Co., Ltd. [Electronic resource]: <https://globalsupport.midasuser.com/helpdesk/File/Get/3848666>. Last accessed 28.02.2022.

³ GTS NX On-line Manual. Help when working with the program.

Table 3

Physical and mechanical characteristics of soils when using the HS model
[compiled by the authors according to the data of [18]]

Soil type	Volumetric weight of soil	The secant modulus of elasticity at 50 % value ($\sigma_1 - \sigma_3$) from triaxial tests	Tangential modulus from compression tests	Modulus of elasticity during unloading – reloading from compression tests	Poisson's ratio for unloading - reloading	Compression curve nonlinearity parameter	Lateral soil pressure coefficient	Efficient cohesion from triaxial tests	Effective angle of internal friction from triaxial tests
Designations	γ	E_{50}^{ref}	E_{oed}^{ref}	E_{ur}^{ref}	ν_{ur}	m	K_0	c'	ϕ'
Measurement unit	kN/m ³	MPa			–	–	–	kPa	deg.
Condition No. 1. Silty sandy loam	21,4	12	10,5	36	0,35	0,5	0,642	20	21
Condition No. 2. Sand	15,2	26	19	110	0,3	0,8	0,426	1,0	35
Condition No. 3. Dense clays	22,5	305	191	610	0,2	0,65	0,609	125	23

of the hinge R_z and the I&J components in the *Hinge location* component field.

The results of comparative modelling are presented in the form of displacements of the tunnel lining, longitudinal forces and bending moments in it, as shown in Pic. 11 for soil conditions No. 1 (silty sandy loam). For the models that take into account rigidity of joints, the properties of inelastic behaviour are introduced at the locations of the joints of the tubing; the models that do not consider rigidity

are completely identical to the first ones do not introduce the inelastic behaviour of the joints.

Comparative modelling has shown that under various soil conditions accounting for rigidity of joints has little effect on total displacement of the linings and the longitudinal forces in them. The main influence is observed in the magnitude of the bending moments, where the presence of inelastic elements with the behaviour of the joint with tension bonding increases the bending moments by 2,2–8,4 %. A more pronounced

Table 4

Results of comparative test calculations [compiled by the authors]

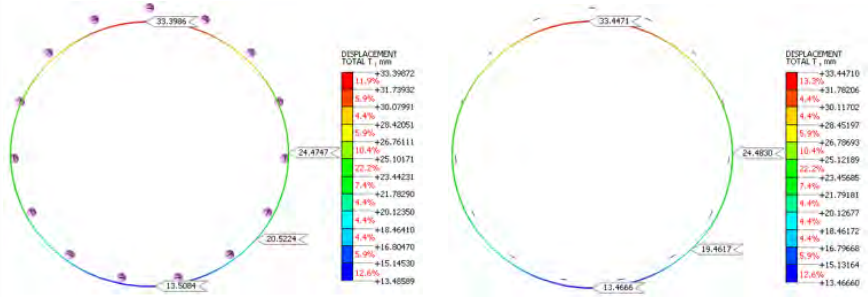
Results		Displacements, mm		Longitudinal forces, kN		Moments, kNm	
Soil conditions	Rigidity of joints	In the crown	In the wall	In the crown	In the wall	In the crown	In the wall
Cond. No. 1	Considered	77,27	51,05	-2216,4	-3279,6	-507,2	+460,1
	Not considered	76,98	51,09	-2217,0	-3279,8	-496,1	+447,4
	Difference	0,4 %	-0,1 %	0,0 %	0,0 %	2,2 %	2,8 %
Cond. No. 2	Considered	16,07	10,8	-1208,6	-2142,2	-155,2	+142,3
	Not considered	16,29	10,85	-1211,5	-2139,8	-144,9	+132,4
	Difference	-1,4 %	-0,5 %	-0,2 %	0,1 %	6,6 %	7,0 %
Cond. No. 3	Considered	33,40	24,47	-1670,0	-3092,1	-106,9	+105,1
	Not considered	33,45	24,48	-1670,1	-3091,1	-98,3	+96,3
	Difference	-0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	8,0 %	8,4 %



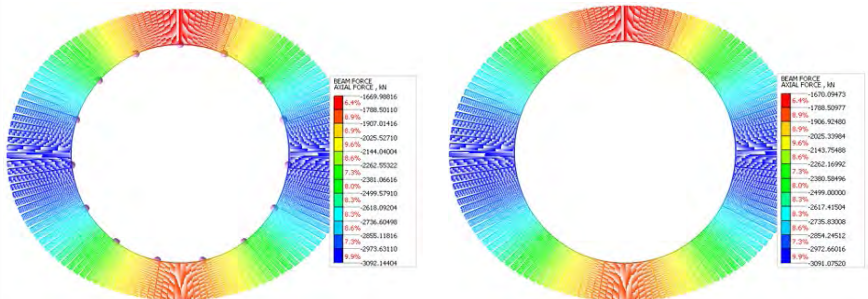
When accounting for rigidity of joints

When accounting for rigidity of joints

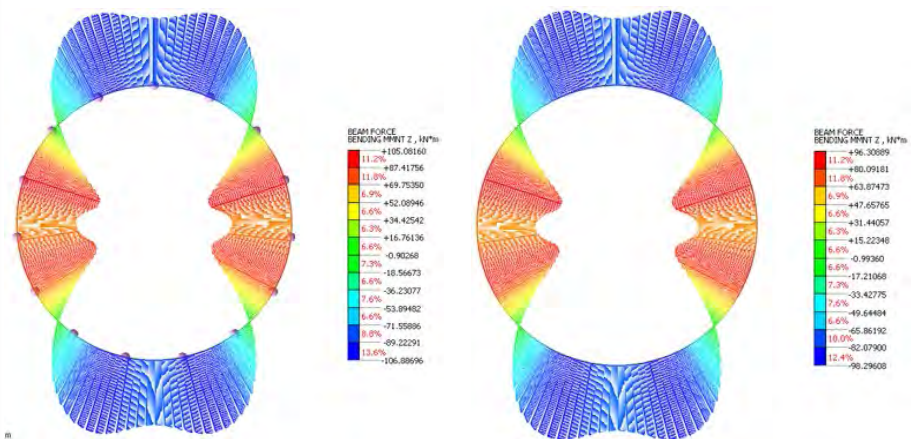
Total displacements



Longitudinal forces, kN



Moments, kNm



Pic. 11. Results of comparative calculations under soil conditions No. 1 [developed by the authors during simulation].

influence is observed at a smaller value of the moments in dense clays.

CONCLUSIONS

Modern methods of calculation of prefabricated tunnel linings, structurally having tensile bonding in the joints, make it possible to consider the bending rigidity of transverse joints when determining the forces. Rigidity equations for this joint have been analytically derived depending on the magnitude of the bending moment, longitudinal force, location and steel grade of the bolts, and joint geometry.

The resulting three-linear function describes the dependence of the angle of mutual rotation of the lining elements on the magnitude of the acting forces and shows three main stages of rigidity reduction. The first stage consists in the linear behaviour of all elements and the initial rigidity of the joint. The second stage emerges when the yield limit of the material of the row of bolts farthest from the centre of rotation is reached, characterised by a decrease in rigidity and a residual angle of rotation during unloading. The third stage is the emergence of a plastic hinge.

These considerations have been verified by modelling the joint of two cast-iron tubing sections. The nature of the dependences obtained coincides with the analytical solution. Additionally, linear rigidity equations were obtained for the initial stages of loading the joints, where it is shown that the effect of the longitudinal force on rigidity is rather weak due to the spatial contact area between tubing sections. Graphs of inelastic behaviour based on the results of finite element modelling are introduced as functions for test calculations of tunnel linings.

Comparative calculations of linings with and without accounting for rigidity of joints, all other elements being equal, showed that accounting for rigidity of joints results in an increase in bending moments in the linings by up to 8,4 % under certain soil conditions. At the same time, different soil conditions affect the forces in different ways; in denser soils, the influence of the presence of joints in the calculations increases.

Thus, the proposed approach makes it possible to obtain a more accurate picture of assessment of the stress-strain state of prefabricated tunnel linings with tensile bonding.

REFERENCES

1. Bulychev, N. S. Mechanics of underground structures: Textbook for universities [Mekhanika podzemnykh sooruzhenii: Uchebnik dlya vuzov]. 2nd ed. Moscow, Nedra publ., 1994, 384 p.
2. Khrapov, V. G., Demeshko, E. A., Naumov, S. N. [et al]. Tunnels and subways [Tonneli i metropoliteny]. Ed. by V. G. Khrapov. Moscow, Transport publ., 1989, 383 p.
3. Guan, Zhenchang; Deng, Tao; Wang, Gang; Jiang, Yujing. Studies on the key parameters in segmental lining design. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2015, Vol. 7, pp. 674–683. DOI: 10.1016/J.JRMGE.2015.08.008.
4. Makovsky, L. V., Polyakov, D. V. Modelling of the static operation of circular tunnel linings with compliant joints in interaction with the soil mass [Modelirovanie staticheskoi raboty krugovykh tonnelnykh obdelok s podatlivymi stykami vo vzaimodeistvii s gruntovym massivom]. *Transportnoe stroitelstvo*, 2015, № 11, pp. 25–27. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25048451>. Last accessed 21.03.2022.
5. Aung Tun, Shein. Modelling of Tunnel Lining. *World of Transport and Transportation*, 2012, Iss. 4, pp. 60–65. [Electronic resource]: <https://mirr.elpub.ru/jour/article/view/703>. Last accessed 21.03.2022.

6. Ranjbar, Gh. H., Shahriar, K., Ahangari, K. Effect of segmental joint stiffness on tunnel lining internal forces under static conditions. *Journal of Mining and Environment*, 2019, Vol. 10, No. 4, pp. 1031–1043. DOI: 10.22044/JME.2019.8581.1738.
7. Ranjbar, Gh. H., Shahriar, K., Ahangari K. Effect of Segmental Joint on Internal Forces in Tunnel Lining under Seismic Loading by Numerical Method. *Journal of Mining and Environment*, 2020, Vol. 11, No. 3, pp. 737–751. DOI: 10.22044/JME.2020.8979.1785.
8. Mitkees, H. A., Sorour, T. M., Abdel-Motaal, M. A. Seismic Response of Segmented Tunnel Liner. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2020, Vol. 11, Iss. 7, pp. 1237–1245. [Electronic resource]: <https://www.ijser.org/researchpaper/Seismic-Response-of-Segmented-Tunnel-Liner.pdf>. Last accessed 21.03.2022.
9. Hefny, A. M., Chua, H. C. An investigation into the behaviour of jointed tunnel lining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2006, Vol. 21, Iss. 3–4, pp. 428–434. DOI: 10.1016/J.TUST.2005.12.070.
10. Chebotaev, V. V., Kubyshkin, A. A. Calculation modelling of static work of prefabricated reinforced concrete linings with seams bonding [Raschetnoe modelirovanie staticheskoi raboty sbornyykh zhelezobetonnykh obdelok s perev'yazkoi shvov]. In: *Research of structures and materials for metro and tunnel construction: collection of scientific papers*. Moscow, TsNIIS, 2002, Iss. 207, pp. 15–27.
11. Zainagabdinov D. A., Mai Duc Min. Models for calculating tunnels crossing active faults [Modeli dlya rascheta tonnelei, peresekayushchikh aktivnie razlomny]. *Naukovedenie: Internet-journal*, 2013, Iss. 3. [Electronic resource]: <http://naukovedenie.ru/PDF/25tvn313.pdf>. Last accessed 21.03.2022.
12. Zienkiewicz, O. K. The Finite Element Method in Engineering Science [Russian title: Metod konechnykh elementov v tekhnike]. Transl. from English. Moscow, Mir publ., 1975, 541 p.
13. Sonin, A. N. Study of static operation of collector tunnel linings [Issledovanie staticheskoi raboty obdelok kollektornykh tonnelei]. In: *Study of tunnel structures and methods of their construction. Collection of scientific works*, Iss. 560. Moscow, MIIT publ., 1977, pp. 43–46.
14. Orlov, S. A. Methods of static calculation of prefabricated reinforced concrete lining of tunnels [Metody staticheskogo rascheta sbornyykh zhelezobetonnykh obdelok tonnelei]. Moscow, Gosstroyizdat publ., 1961, 136 p.
15. Podjadtke, R., Weidig, G. Adjustable flexible segment lining. *Tunnel*, 2010, No. 7, pp. 37–42.
16. Volkov, V. P., Naumov, S. N., Pirozhkova, A. N., Khrapov, V. G. Tunnels and subways [Tonneli i metropoliteny]. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1975, 552 p.
17. Schanz, T., Vermeer, P. A., Bonnier, P. G. The Hardening-Soil Model: Formulation and verification. In: *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Ed. by Ronald B.J. Brinkgreve. Routledge, 1999, 328 p., pp. 281–290. <https://doi.org/10.1201/9781315138206>. eBook ISBN9781315138206. ISBN 9789058090409.
18. Strokova L. A. Determination of parameters for numerical modeling of soil behavior [Opredelenie parametrov dlya chislennogo modelirovaniya povedeniya gruntov]. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University*, 2008, Vol. 313, Iss. 1, pp. 69–74. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11643120>. Last accessed 21.03.2022.

Information about the authors:

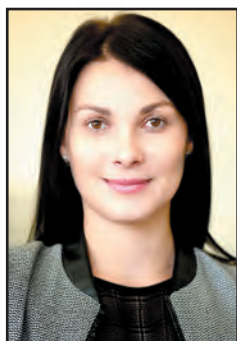
Baranov, Timofey M., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Construction of Railways, Bridges and Transport Tunnels of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia, Baranov-87@yandex.ru.
Zainagabdinov, Damir A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Construction of Railways, Bridges and Transport Tunnels of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia, damirmt@mail.ru.

Article received 28.02.2022, approved 18.04.2022, accepted 25.04.2022.





White Layer in M76 High Carbon Rail Steel: Formation Mechanism and Properties



Ekaterina A. GRIDASOVA



Zulfia T. FAZILOVA



Pavel A. NIKIFOROV



Denis Yu. KOSYANOV

*Ekaterina A. Gridasova*¹, *Zulfia T. Fazilova*², *Pavel A. Nikiforov*³, *Denis Yu. Kosyanov*⁴

^{1, 3, 4} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.

² Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ ² fazil_1905@mail.ru.

ABSTRACT

High-frequency vibrations resulting from many factors under loads existing in the wheel-rail system have a huge impact on the structure and properties of rail steel: there are significant contact stresses in the surface layer that affect strength characteristics and overall fatigue of the railway track structure. Such an impact results, in particular, in the formation of the so-called White Layer (WL): a hardened layer on the surface of the base material, resistant to chemical etching, and having high hardness (above 1000 HV) and brittleness.

The objective of the research was to study the features of the formation mechanism, as well as the properties of the white layer formed on the metal surface using an integrated approach, namely, of destructive testing methods, electron microscopy, XRD, metallography, and microhardness measurements.

The reliability of experimental studies is due to the use of standardised test methods, developed methods of destructive and

non-destructive testing in the main areas, the involvement of an accredited and certified laboratory, which makes it possible to fulfill in full the tasks set with appropriate quality.

The results of the research allowed to present an analysis of the white layer, the formation of which took place in high-carbon M76 rail steel after cyclic tests with a 20 kHz frequency. The morphology, phase composition, and microhardness of these inclusions have been studied in detail in comparison with the base metal. It is shown that the white layer is highly dispersed, pearlite-like, featureless inclusions of a ferrite-cementite structure, while their microhardness is 3–4 times higher than the original steel and is of 1000–1200 HV. A possible explication of a mechanism of the formation of a white layer is suggested: crushing of ferrite and cementite, which are part of pearlite, without intermediate phase transformations.

Keywords: railways, high carbon steel, high frequency vibrations, cyclic tests, white layer, microstructure, microhardness, diffractogram, diffraction pattern, pearlite structure, rails.

For citation: Gridasova, E. A., Fazilova, Z. T., Nikiforov, P. A., Kosyanov, D. Yu. White Layer in M76 High Carbon Rail Steel: Formation Mechanism and Properties. *World of Transport and Transportation*, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 164–172. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-4>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Nowadays, railways are one of the most dynamically developing transport industries worldwide due to relatively low air pollution per passenger as compared to cars and high velocities attainable by modern trains. Movement speed of railway transport is continuously increasing. If velocity of 300–350 km/h has been considered as high speed recently, now high-speed trains in some countries can move at 600 km/h, while on Russian railways the highest speed is 400 km/h. Unfortunately, the higher is train speed, the higher are the vibrations and noise associated with it that are considerable even at ordinary railways [1–6] and may reach the ultrasonic level [7]. Main source of the high-frequency vibrations is the wheel impact at junctions and irregularities of rails (such as roughness, waving, etc.) that respectively may have different origins. The impact and frequency spectrum may correspond to the ultrasound range 10–50 kHz.

The nature of the influence of the ultrasonic vibrations on the structure and properties of rail steel is a topical issue studied by many researchers worldwide [8–12]. It was revealed that the process of demolition as well as mechanical characteristics of the object exposed to ultrasonic vibrations are distinct from standard conditions.

According to [13], emergency derailment of high-speed trains in Germany and England were caused by 10^9 cycles of stress accumulated in a wheel due to irregular surface of the rails (roughness). Preliminary tests showed that high frequency vibrations occurring under such loads in a «wheel–rail» system impact heavily on structure and properties of the rail steel. There appear considerable contact stresses in the surface layer affecting mechanical characteristics and total fatigue of the framework. Particularly, such an exposure leads to formation of the so-called white layer (WL), which is a strengthened layer on the surface of the main material characterised by higher resistance to chemical etching, increased hardness (above 1000 HV) and brittleness [14–19].

White layer is considered as a nanocrystalline martensite [14]. It is still arguable, whether largely distorted but still crystalline austenite yields martensite or it is the result of crystallisation of absolutely structurally degenerate (amorphous) material. Authors in [15–17] claim that WL formation is preceded by mechanical and thermal treatment as well as by other operations of tool manufacturing from carbon alloyed hardened

steel, high-strength cast iron, and from other alloys. WL structure consists of fine martensite needles, residual austenite, and sometimes contain low-sized carbides with the wear-resistance of WL increasing with carbon content in it.

According to the authors of [18–19] the most frequent cause of WL formation is mechanical treatment. When temperature near the treated surface exceeds the temperature of α – γ transition, martensite formed via friction can give rise to WL observed in the microstructure. Paper [18] reports on WL hardness ranging at $12,85 \pm 0,80$ GPa that is considerably higher than in untempered martensite obtained under various thermal treatment conditions. WL grain size was shown to lie within submicron scale spanning from 30 to 500 nm. These two WL characteristics make it distinguishable from a plethora of structures formed in steels by thermal treatment.

WL was found on the surface of railway rails as reported in [20]. Two samples of rails of high-speed railway were object of research. They were produced by the means of hot rolling followed by cooling in air from respectively S54 (0,6–0,8 wt.% C, 0,8–1,3 wt.% Mn) and UIC60 (0,55–0,75 wt.% C, 1,3–1,7 wt.% Mn) steels. Total load on the first and second rails was $3,8 \cdot 10^6$ and $360 \cdot 10^6$ tons, respectively. Hardness of the surface layer was revealed to increase to 10–12 GPa due to ultrafine structure along with solid-solution and disperse strengthening mechanisms. Both cases yielded layered structure, namely, WL consisting of ultrafine ferrite (mean grain size ~ 200 nm) structure and cementite with low- and high-angle grain boundary misorientation; deformed perlite was also present. There are morphological changes of cementite in WL: fragmentation of carbide's platelets down to fine particles and partial dissolution of Fe_3C .

Industrial high carbon (1,0 wt.% C) steel was chosen as an object for study in the paper [21]. WL was formed after shock tests with falling steel balls due to large heat dissipated on contact and severe plastic deformation, which yielded temperature high enough for austenite-martensite phase transition on one hand, and formation of new austenite grains at heating of martensite phase in the field of austenite phase on the other. Finely dispersed martensite featuring intensive deformation was clearly observed on a microscale. Nanosized equiaxial grains were found inside WL. Distorted regions exhibit a transition from plastically deformed grains to recrystallised



structure with round-shape finely dispersed grains.

The *objective* of this research is to study formation mechanism and properties of white layer occurring on rail steel as a result of high frequency vibrations

METHODS

The research was conducted through an integrated approach, using, namely, destructive testing methods, electron microscopy, XRD, metallography, and microhardness measurements.

To achieve the objective of the research, the following methods were, particularly used:

- A method of accelerated high-frequency tests, which, on the one hand, simulates real operating conditions: simulation of high-frequency vibrations that occur in the wheel-rail system during train movement; and makes it possible to obtain the durability characteristics of the materials under study ten times faster than standard method. The originality of the proposed method lies in the fact that there is no generally accepted method of high-frequency testing, which makes it unique.

- A method of comprehensive structural analysis is based on electron microscopy, phase analysis, metallographic and mechanical studies, which allow to fully assess the structural state of the material, identify the places of possible destruction, the centres of destruction and its causes. The originality of the proposed method lies in comprehensive assessment of the structure and identification of factors that precede destruction, which makes it possible to conduct research at various stages of operation of the elements of the track superstructure.

These studies are conducted at the facilities of a testing laboratory accredited and certified in the systems of the Federal Service for Environmental, Technological, and Nuclear Supervision, Federal Service for Accreditation (National accreditation system), Russian Maritime Register of Shipping, which ensures the quality of the work performed.

EXPERIMENTS

Samples made of M76 rail steel were selected as objects of study. The first object: «Rail No. 1», type R65, heat strengthened of T1 category. It was relaid from the straight track of the main line of Bakovka–Odintsovka section (Moscow region) to the receiving and departure track. Accumulated tonnage passed by it is of

600 million gross tons. Second object: «Rail No. 2», type R65, heat strengthened by DT350 process, accumulated tonnage passed by it is of 400 million gross tons. It was removed from the second main track of Dolgoprudny–Lobnya section (Moscow region). The chemical composition of M76 rail steel samples is shown in Table 1.

Fatigue tests were carried out using Shimadzu USF-2000 ultrasonic device at 20 kHz frequency. Sandglass-shaped samples were prepared for fatigue tests with the help of a metal turning lathe as shown in Pic. 1a.

High-frequency load experiments revealed white layer on the samples. Samples (microsections) were prepared for metallography by etching via dipping them for 4–5 min into the mixture of 2 vol.% salicylic acid and 70 vol.% ethanol.

The microstructures of the samples were analysed with an Eclipse MA200 (Nikon, Japan) inverted metallurgical microscope, and Ultra Plus (Carl Zeiss, Germany) scanning electron microscope. The phase composition was studied by X-ray diffraction (XRD) using an Bruker D8 Advance diffractometer ($\text{CuK}\alpha$, $2^\circ < 2\theta < 90^\circ$), ICDD PDF2–2004 database, and CMPR software [22]. Mechanical characteristics of the samples were studied with an automatic HMV-G-FA-D (Shimadzu, Japan) microhardness tester.

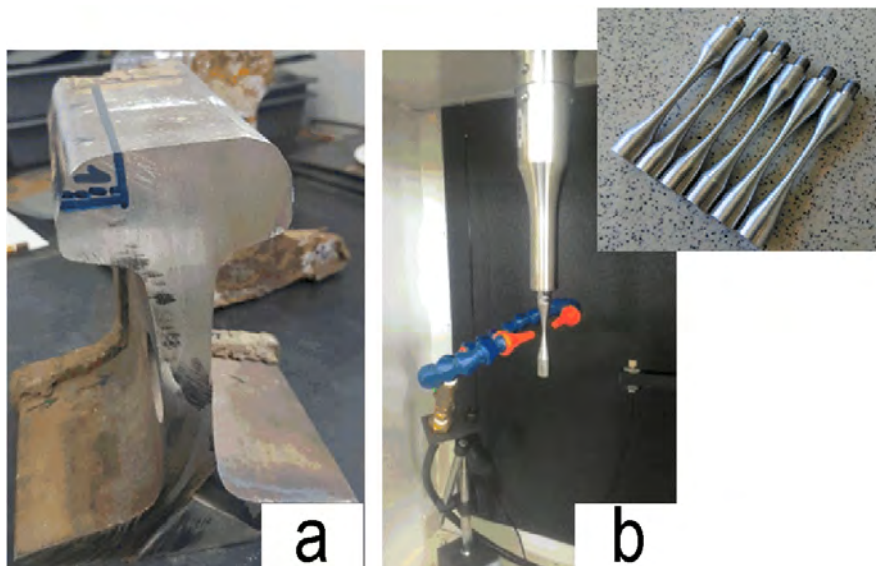
The validity of experimental studies is due to the use of standardised testing methods as well as of specially developed methods of destructive and non-destructive testing for the main testing areas, the use of facilities of an accredited and certified laboratory, which has made it possible to execute the tasks set in full and with appropriate quality.

RESULTS AND DISCUSSION

Features of Composition and Microstructure of White Layer in High Carbon Steel

Conducted experiments showed that fatigue endurance tends constantly to reduce at high-frequency load tests. Fatigue characteristics values of the studied M76 steel samples are in the same range and change in the same way. Fatigue endurance was found to be equal (around 700 MPa) for both samples in the VHCF region.

Despite fairly specific impact of high-frequency vibrations, fatigue phenomena occurring during this kind of tests, at rather high values and durations of loads are the same



Pic. 1. The external view of the rail with a working part dedicated for high-frequency testing (a), the process of high-frequency testing (b) (insert – view of the tested sample) [photos made by the authors].

Table 1

Chemical composition of M76 rail steel turnings [data obtained by the authors]

	Element content, wt. %										
	Fe	C	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	P	S	Si	V
Rail No. 1	Base	0,745	0,016	0,076	0,125	0,83	0,075	0,013	0,011	0,31	0,04
Rail No. 2	Base	0,77	0,015	0,053	0,10	0,93	0,039	0,015	0,035	0,21	–

as the ones observed at low-frequency (standard) loads. However, fatigue endurance, collapse process and its rate differ during high-frequency tests.

Pics. 3 and 4 show results of microstructural investigations of Rail No. 1 and Rail No. 2 samples with WL found after high-frequency loads: Rail No. 1 sample (amplitude $\sigma_a = 790$ MPa, number of cycles $N = 1.19 \cdot 10^4$, reason for collapse is crack, colours of tarnishing are present on the surface); Rail No. 2 sample ($\sigma_a = 840$ MPa, $N = 1.21 \cdot 10^4$, reason for collapse is drop-out from resonance, colours of tarnishing are present on the surface).

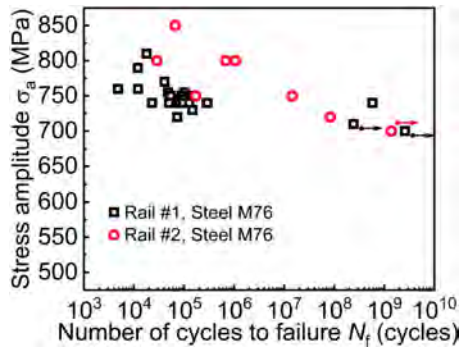
Microhardness (Pic. 5) of the Rail No. 1 sample (Pic. 3) was measured at the centre of WL, from the beginning of the crack (zone 2) at a load of 0,025 kgf (245,2 mN) and step size of 100 μ m. Then, measurements were conducted towards zone 1 for 1000 μ m with a step size of 100 μ m. Metallographic investigations revealed zone 3, which is distinct from WL and main metal. Zone 3 reveals microhardness values being intermediate between zones 2 and 1. Data is given are shown in Pic. 5.

Microhardness of Rail No. 2 (Pic. 5) of the sample (Pic. 4) was measured from the WL

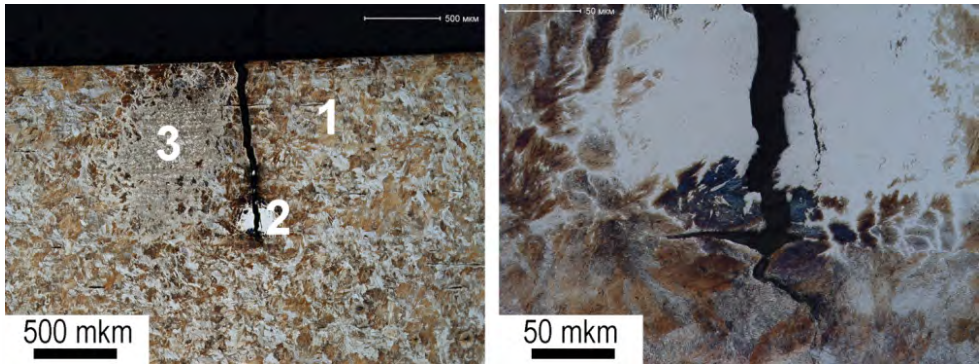
(zone 2) edge (because it spans for 2000 μ m) with a step size of 100 μ m towards zone 1 at HV0.1 (980,7 mN) load for 1000 μ m.

Obtained results clearly show that WL microhardness is extremely high: it reaches 1000–1200 HV, which corresponds to 66 HRC (Pic. 5). Such a high hardness is obviously caused by high density of defects in the white layer. Increase in microhardness is strongly localised, for the Rail No. 2 sample, at 100 μ m away from WL microhardness drops by 3–4 times and ranges in 25–400 HV on the rest part of the Rail No. 2 sample. This corresponds to perlite-like structures (perlite-sorbite-troostite) that is quite specific for rail structure. It is noteworthy that zone 3, which is similar to WL (Rail No. 1 sample, Pic. 3), is characterised by microhardness ranging within 484–631 HV. This region had probably undergone partial fragmentation of ferrite and cementite crystals constituting perlite. That is, this structure can be considered as an intermediate element between original structure and WL. Thus, drastic local increase of microhardness indicates a start of collapse processes, but low mean microhardness values do not evidence absence of the initial points of collapse.

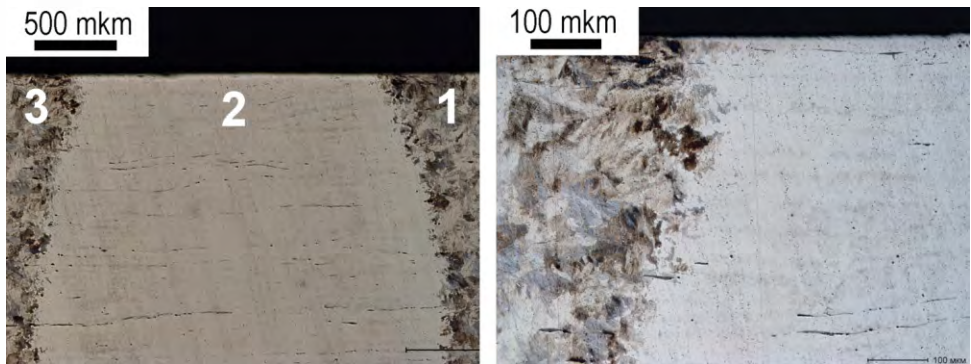




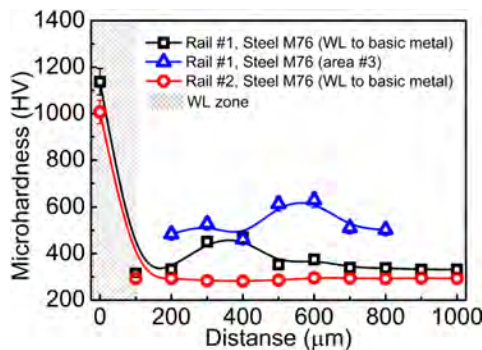
Pic. 2. Experimental data on high-frequency load tests of Rail No. 1 and Rail No. 2 samples. Arrows denote samples that did not collapse at shown amplitude [obtained by the authors].



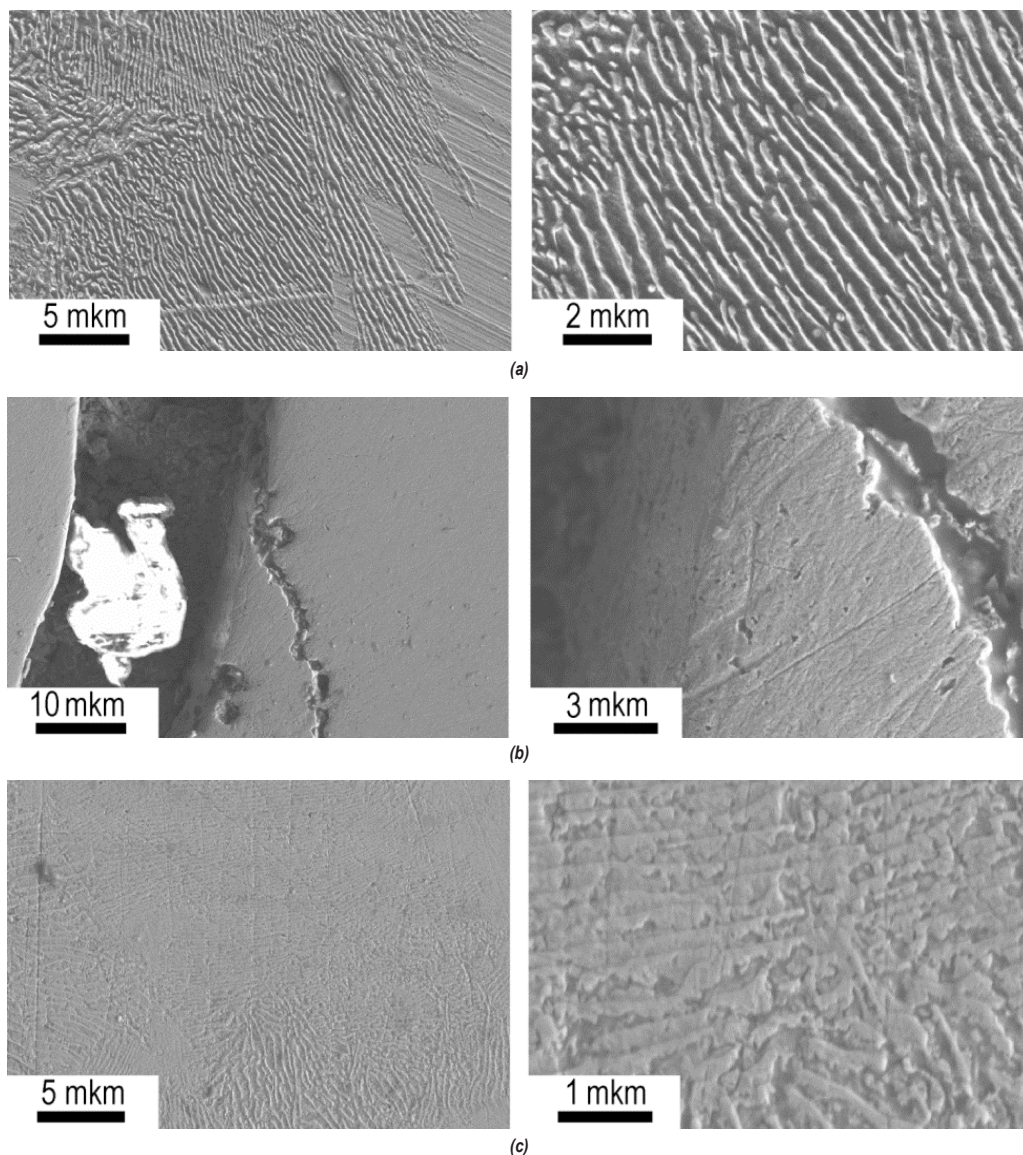
Pic. 3. Metallographic images of characteristic zones 1–3 in the Rail No. 1 sample and layout of the crack with x500 magnification [made by the authors].



Pic. 4. Metallographic images of characteristic zones 1–3 in the Rail No. 2 sample and layout of the crack with x200 magnification [made by the authors].



Pic. 5. Microhardness profile of M76 Rail No. 1 and Rail No. 2 samples, measured from WL towards main metal (Pics. 3, 4) [developed by the authors].



Pic. 6. SEM images of the zones 1 (a), 2 (b), and 3 (c) in the Rail No. 1 sample [made by the authors].

WL Formation Mechanism in High Carbon Steel during High Frequency Vibrations

To define more exactly the mechanism of structural changes in the samples and WL formation, zones 1, 2, and 3 in the Rails No. 1 and No. 2 samples were studied with the means of scanning electron microscopy (Pics. 6, 7) with 5000× to 50000× magnification.

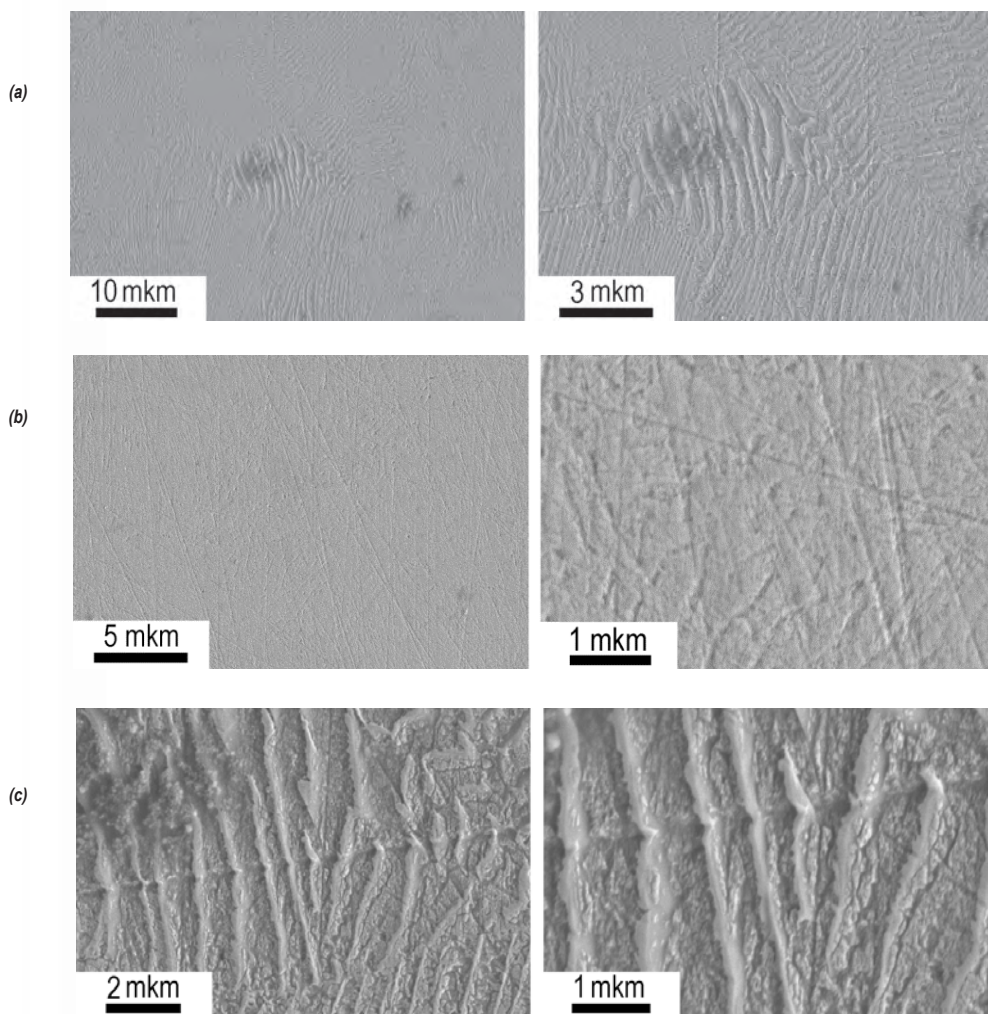
To define more exactly the mechanism of destruction and WL formation, XRD analysis of the zones 1, 2, and 3 (Pic. 8) was done of Rail No. 1 (Pic. 8a) and Rail No. 2 (Pic. 8b) samples.

Rail No. 1 sample possesses perlite structure (structurally free ferrite is not observed; Pic. 8a). Microstructure of the sample is characterised by the following features:

1. There exist non-metallic inclusions in the sample. Probably, these impurities are glass-like slags. One of such inclusions are on the lower edge of WL (a tip of the crack passes through it). WL formation at this place can be caused by this inclusion, there are areas featuring signs of perlite fragmentation and of start of its homogenisation. If these processes evolve, such areas may become WL and give a rise to collapse. There is a reflex at $2\theta \sim 38,5^\circ$ (interplanar distance $d \sim 0,234$ nm), which is the most pronounced (Pic. 8a) and presumably corresponds to nonmetallic inclusion in the Rail No. 1 sample.

2. With longer distance from crack in the Rail No. 1 sample, WL becomes discontinuous and alternates with unchanged perlite colonies (then





Pic. 7. SEM images of the zones 1 (a), 2 (b), and 3 (c) in the Rail No. 2 sample [made by the authors].

the structure completely turns into unchanged ferrite).

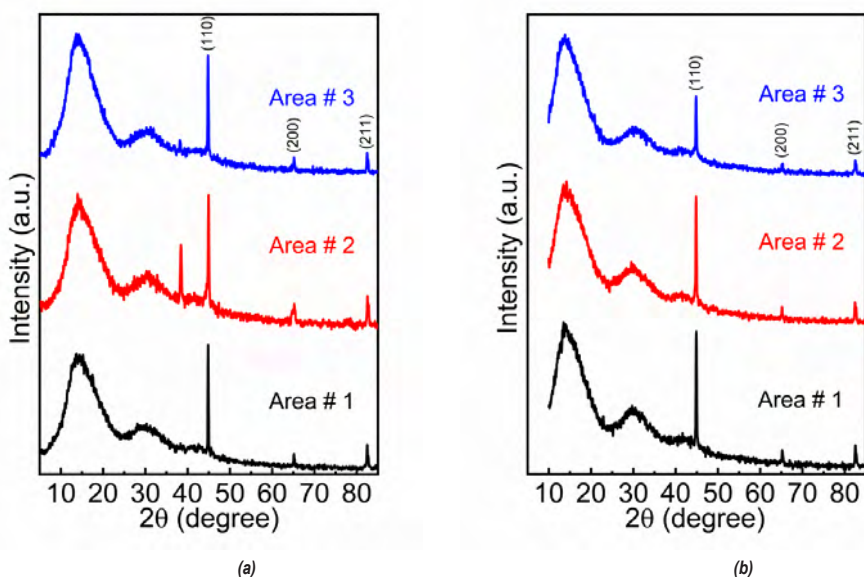
3. SEM and microhardness tests give ground for statement that zone 3 is similar to WL. Partial fragmentation of ferrite and cementite took place there, and this structure can be considered an intermediate one between initial structure and WL.

4. XRD patterns of Rail No. 1 sample recorded from 3 points contain peaks of (110), (200), (211) of ferrite (the most intensive peaks of cementite (103), (022), (210) merges with peak (110) of ferrite, and cementite's peak (121) merges with peak (111) of austenite). On the positions, where peaks of austenite (111), (200), (220), (311) and martensite should have been located the patterns are at the background level. Martensite XRD pattern is distinct from ferrite one in the way that instead of single lines (110), (200), (211), (220) of ferrite, the martensite lattice gives rise to doubled lines with the line

(310) being a tripled one. Higher carbon content is observed in martensite (i.e., the greater is the difference between c and a periods), the wider is the gap between such paired lines¹. However, spread and splitting of the peaks referring to ferrite were not observed (Pic. 8a). Thus, main phases in the samples are ferrite and cementite. Austenite and martensite are either absent or their content does not exceed 5 wt.%.

5. Significant halo (higher signal on the XRD pattern without clear resolution) is observed at $2\theta \sim 7...23^\circ$ that can be attributed to partial amorphisation or at least to high defect density in that area (Pic. 8a).

¹ Mirkin, L. I. X-ray structural control of machine-building materials: a Handbook [*Rentgenostrukturniy kontrol' mashinostroitelnykh materialov: Spravochnik*]. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1976, 140 p. Mirkin, L. I. Handbook of X-ray diffraction analysis of polycrystals [*Spravochnik po rentgenostrukturnomy analizu polikristallov*]. Moscow, Fizmatgiz publ., 1961, 863 p.



Pic. 8. Diffraction patterns of the zones 1, 2, and 3 for Rail No. 1 (a) Rail No. 2 (b) samples [developed by the authors].

6. Special attention should be paid to the peak at $2\theta \sim 38,5^\circ$ (Pic. 8a). It is known that metal peaks can be shifted by the strains. Since ferrite peaks were not shifted, there is no macrostrains at all. At the same time, peak width at $2\theta \sim 38,5^\circ$ referring to unknown phase is the same as for ferrite one that also evidences no microstrains in the unknown phase. It can be explained by the assumption that oriented microstrains can cause peak shifts, but all microstrains lead to peak spreading. On the other hand, according to ICDD PDF2-2004 database, this peak can be attributed to 76 various compounds. That is why identification of the peak at $2\theta \sim 38,5^\circ$ is challenging.

Rail No. 2 sample is characterised by the following features:

1. Microcracks were not found in that sample, WL was observed on the rail's web throughout the whole profile with a total width of 2000 μm .
2. Microstructure of the zones 1 and 3 preserves morphology inherent to perlite.
3. Main phases in the Rail No. 2 sample are the same as for M76 sample: ferrite, cementite, and a halo at $2\theta \sim 10...23$ (Pic. 8b).

CONCLUSIONS

Study has referred to microstructure and phase composition of the white layer formed following cyclic tests at the frequency of 20 kHz in the experimental samples of M76 high carbon rail steel. XRD has shown that main phases constituting white layer are ferrite and cementite.

Austenite and martensite are either absent or their content does not exceed 5 wt.%. Microhardness of the white layer is considerably (by several times) higher than that of original steel and reaches 1000–1200 HV. Thus, formed white layer is a finely dispersed, perlite-like, featureless structure. In the area similar to WL (Rail No. 1 sample; Pic. 3), microhardness is 484–631 HV. Partial fragmentation of ferrite and cementite crystals constituting perlite took place there with their relief being less pronounced after etching (Pic. 6c) compared to the original perlite (Pic. 6a). That structure can be considered as an intermediate one between the original structure and WL. Conducted comprehensive study yields a possible mechanism for white layer formation: fragmentation of ferrite and cementite constituting perlite without intermediate phase transitions.

REFERENCES

1. Mori, S., Kobayashi, M., Osawa, J. Noise Reduction Measure for Trussed Non-slab Bridges. In: Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems. *Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design*, 2018, vol 139, pp. 343–354. Springer, Cham. Ed. by D. Anderson, P.-E. Gautier, M. Iida [et al]. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73411-8_25.
2. Heckl, M., Hauck, G., Wetschurack, R. Structure-borne sound and vibration from rail traffic. *Journal of Sound and Vibration*, 1996, Vol. 193, Iss. 1, pp. 175–184. DOI: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1996.0257>.
3. Němec, M., Gergel, T., Gejdoš, M., Danihelová, A., Ondrejka, V. Selected Approaches to the Assessment of Environmental Noise from Railways in Urban Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18 (13), art. 7086. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18137086>.



4. Kouroussis, G., Verlinden, O., Conti, C. Influence of some vehicle and track parameters on the environmental vibrations induced by railway traffic. *Vehicle System Dynamics*, 2012, Vol. 50 (4), pp. 619–639. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2011.610897>.
5. Kouroussis, G., Conti, C., Verlinden, O. Investigating the influence of soil properties on railway traffic vibration using a numerical model. *Vehicle System Dynamics*, 2013, Vol. 51 (3), pp. 421–442. DOI: [10.1080/00423114.2012.734627](https://doi.org/10.1080/00423114.2012.734627).
6. Thompson, D. Railway noise and vibration. Mechanisms, modelling and means of control. Elsevier Science, 2008, 536 p. eBook ISBN: 9780080914435, Hardcover ISBN: 9780080451473.
7. Lyu, Y., Björklund, S., Bergseth, E., Olofsson, U., Nilsson, R. Development of a noise related track maintenance tool. The 22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV22, Florence (Italy), 12–16 July 2015. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Yezhe-Lyu/publication/283354865_DEVELOPMENT_OF_A_NOISE_RELATED_TRACK_MAINTENANCE_TOOL/links/56373d6608ae88cf81bd5187/DEVELOPMENT-OF-A-NOISE-RELATED-TRACK-MAINTENANCE-TOOL.pdf. Last accessed 22.04.2022.
8. Nonaka, I., Setowaki, S., Ichikawa, Y. Effect of frequency on high cycle fatigue strength of railway axle steel. In: Proceedings of the fifth international conference on very high cycle fatigue, VHCF-5, 2011, pp. 153–158. DOI: [10.1016/J.IJFATIGUE.2013.08.020](https://doi.org/10.1016/J.IJFATIGUE.2013.08.020).
9. Ze Fu Luo, Shi Ming Cui, Yan Zeng Wu, Qing Yuan Wang. Super Long Life Fatigue Properties of Rail Steel U71Mn and U75V. *Advanced Materials Research*, 2013, Vols. 690–693, pp. 1753–1756. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.690-693.1753](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.690-693.1753).
10. Liu, X., Sun, C., Hong, Y. Crack initiation characteristics and fatigue property of a high-strength steel in VHCF regime under different stress ratios. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 2016, Vol. 35, pp. 88–97. [Electronic resource]: <https://www.gruppofrattura.it/pdf/fig/numero35/98/>. Last accessed 22.04.2022.
11. Pfafnigler, M. R. Higher Vibration Modes in Railway Tracks at their Cutoff Frequencies. Diss. ETH No. 13755. A thesis submitted to Swiss Federal Institute of Technology for the degree of Doctor of Technical Science, Zürich, 2000. [Electronic resource]: <https://www.yumpu.com/en/document/view/3740866/higher-vibration-modes-in-railway-tracks-at-their-cutoff-frequencies>. Last accessed 22.04.2022.
12. Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., Aikawa, A., Sakai, H. Free vibrations of interspersed railway track systems in three-dimensional space. *Acoustics Australia*, 2014, Vol. 42 (1), pp. 20–26. [Electronic resource]: <https://ro.uow.edu.au/eispapers/2237/>. Last accessed 22.04.2022.
13. Miller, K. J., O'Donnell, W. J. The fatigue limit and its elimination. *Fatigue Fracture of Engineering Materials and Structure*, 1999, Vol. 22, Iss. 7, pp. 545–557. DOI: [10.1046/J.1460-2695.1999.00204.X](https://doi.org/10.1046/J.1460-2695.1999.00204.X).
14. Krawczyk, J., Pacyna, J. Effect of tool microstructure on the white layer formation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2006, Vol. 17, Iss. 1–2, pp. 93–96. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Jerzy-Pacyna/publication/42107389_Effect_of_tool_microstructure_on_the_white_layer_formation/links/0912f50b385de2aa6500000/Effect-of-tool-microstructure-on-the-white-layer-formation.pdf. Last accessed 22.04.2022.
15. Babei, Yu. I., Ryabov, B. F., Golubets, V. M., Dyadchenko, B. T., Kaparova, L. A. Nature of etch-resistant layers produced in steel as a result of machining and certain other operations. *Soviet materials science: a transl. of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov*. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1975, Vol. 9, pp. 394–400. Translated from *Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov*, Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1973, Vol. 9, No. 4, pp. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00715630> [restricted access].
16. Golubets, V. M. Wear Resistance of the White Layer in Relation to the Carbon Content of Steels. *Soviet materials science: a transl. of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov*. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1975, Vol. 9, pp. 101–102. Translated from *Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov*, 1973, Vol. 9, No. 1, pp. 105–106. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00717634> [restricted access].
17. Griffiths, B. Mechanisms of White Layers Generation with Reference to Machining and Deformation Processes. *ASME Journal of Tribology*, 1987, Vol. 109, No. 3, pp. 525–530. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.3261495> [restricted access].
18. Ekinovic, S., Begović, E., Plančić, I., Anzel, I., Rimac, M. Scanning electron microscopy in analysis of influence of the alloying elements in steel on white layer formation by hard turning. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 2015, Vol. 19, No. 1, pp. 37–40. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/E-begovic/publication/281616455_scanning_electron_microscopy_in_analysis_of_influence_of_the_alloying_elements_in_steel_on_white_layer_formation_by_hard_turning/links/55eff25308aef559dc44f1d3/scanning-electron-microscopy-in-analysis-of-influence-of-the-alloying-elements-in-steel-on-white-layer-formation-by-hard-turning.pdf. Last accessed 22.04.2022.
19. Vasiliev, S. G., Popotsov, V. V. Increasing a workpiece surface by thermal effect using macrodeformation process. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2011, Iss. 12, pp. 37–43. DOI: [10.18698/0536-1044-2011-12-37-43](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2011-12-37-43).
20. Ivanisenko, Yu. V., Baumann, G., Fecht, H.-J. [et al]. Nanostructure and Hardness of White Layer at the surface of Railroad Rails. *Physics of Metals and Metallography*, 1997, Vol. 83, No. 3, pp. 303–309.
21. Hossain, R., Pahlevani, F., Witteveen, E., Banerjee, A. [et al]. Hybrid structure of white layer in high carbon steel – Formation mechanism and its properties. *Scientific reports*, 2017, Vol. 7, article 13288. DOI: [10.1038/s41598-017-13749-7](https://doi.org/10.1038/s41598-017-13749-7).
22. Toby, B. H. CMPR – A powder diffraction toolkit. *Journal of Applied Crystallography*, 2005, Vol. 38, pp. 1040–1041. DOI: [10.1107/S0021889805030232](https://doi.org/10.1107/S0021889805030232). ●

Information about the authors:

Gridasova, Ekaterina A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Industrial Safety of Polytechnic Institute of Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, olvin@list.ru.

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.

Nikiforov, Pavel A., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Industrial Safety of Polytechnic Institute of Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, nikiforovpa@gmail.com.

Kosyanov, Denis Yu., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Industrial Safety of Polytechnic Institute of Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, kosyanov.diu@dvfu.ru.

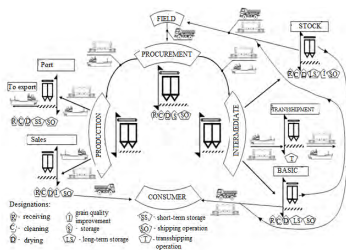
Article received 22.04.2022, approved 30.04.2022, accepted 11.05.2022.



AUTONOMOUS VEHICLES IN THE CITY

174

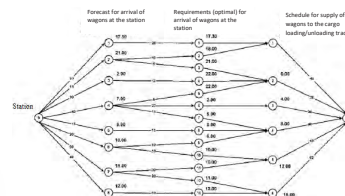
The question on the need for autonomous vehicles in the cities in no more disputable. The introduction of this technology is obviously promising. But are the cities, roads, telecommunication networks ready? Will it be safe to move and to transmit information? The discussion focuses on specific issues.



GRAIN TRANSPORTATION

182

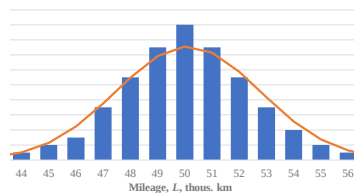
To reach the food manufacturers and consumers, the harvest should be stored and transported. General topics of transport storage and new technical proposals.



TRAIN FORMATION MANAGEMENT

188

Final part of the topic started in the previous issue. The suggestions on the better operation of marshalling yards substantiated by the calculations.



RELIABILITY OF LOCOMOTIVES

199

It is not sufficient to simply collect the data on the failures. It is necessary to do and interpret the information correctly. The fundamentals of unimodality and its implementation for specific purposes.

TRANS-KOREAN RAILWAY

205

Retrospective analysis, infrastructure and economic prerequisites and constraints.





Integration of Autonomous Cars with the Infrastructure of the City of St. Petersburg: Study of the Problems



Larisa I. ROGAVICHENE



Aleksey V. EMETS

Larisa I. Rogavichene¹, Aleksey V. Emets²

^{1, 2} ITMO University, St. Petersburg, Russia.

✉ ¹ Rogavichene@list.ru.

ABSTRACT

The article explores the problems of introducing autonomous cars (AC) into the transport infrastructure of St. Petersburg. The main problems among others comprise road technical condition and road equipment, security of data transmission, lack of technical capacity regarding data transfer rate, lack of regulation regarding technical issues. The study contains an assessment of the technical condition of roads as well as of presence of road markings necessary for positioning of AC on the road.

The suggested listing of the main parameters of road pavement condition substantiates the necessity to obtain relevant data and to equip the road system with appropriate sensors. The main areas important to ensure data transmission security during the design and construction of AC systems as described comprise security of collecting, transmitting, and processing data by AC systems, driver authentication, security of data transmission from road infrastructure. The study of the problem of data transfer rate incorporated a comparative analysis of the parameters of 4G technology, which is currently used by the infrastructure of telecom operators, and 5G technology, followed by the brief analysis of

the barriers to adoption of 5G technology in Russia. The investigation of the existing regulatory and technical framework governing the operation of AC on public roads has identified a few key issues that are currently not governed by legislative acts or regulations.

The consideration of the problem of responsibility of road users has given ground to suggest that the responsibility must be extended not only to the owners of AC, but also to other participants in the process (manufacturers of AC, sensors, and software; organisations responsible for maintenance of transport infrastructure, manufacturers of the elements and structures of transport infrastructure, etc.). The analysis of the issue of the security of data transfer also regarded data transfer to third parties.

The study also referred to the issues of adaptation of adjacent industries involved to the process of AC implementation, as well as to the ethical issues in the process of decision-making by AC software in a critical situation. The formulated recommendations on improving the transport infrastructure of the city of St. Petersburg are aimed at solving the problems identified in the article.

Keywords: transport infrastructure, innovation, unmanned vehicle, implementation, 5G technology.

For citation: Rogavichene, L. I., Emets, A. V. Integration of Autonomous Cars with the Infrastructure of the City of St. Petersburg: Study of the Problems. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 174–181. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-20-2-5>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

BACKGROUND

Technological progress dictates the need to develop and improve the urban transport system. The economy, social sphere and the integral development of a state directly depend on efficient organisation of transport systems. The research in the framework of development of autonomous cars (AC)¹ suggests a large-scale spread of this phenomenon in the daily life of a person in the foreseeable future.

In Russia the Transport Strategy till 2030 with the forecast for the period till 2035 provides for a few directions of digital transformation of the transport industry. Namely, within the area of digitalisation of vehicles it considers development of driverless road transportation that will be in turn developed following two main directions. These are adoption «of intercity road haulage along key highways and of cargo and passenger transportation in the largest urban agglomerations». Consequently, within the area of digitalisation of transport infrastructure, since «intelligent transport systems allow to raise the safety of transportation, optimise the routes, increase transit capacity of transport system,.. to plan comprehensive development of transport infrastructure, including the infrastructure of control of highly automated and autonomous transport», it is proposed to use ITS «at infrastructure facilities of all modes of transport in the following formats of interfacing with V2X technology: vehicle – infrastructure, vehicle – vehicle, vehicle – any elements and facilities important for the purpose of transportation». This direction will provide for «development of standards of interaction with the help of V2X technology regarding intelligent transport systems, ensuring development of the networks of data transfer, shaping incentives for adoption and implementation of the national network of intelligent transport systems»². These

¹ Since there are few denominations of this type of cars, e.g., self-driving car, autonomous car, autonomous vehicle, driverless car, robotic car (robo-car) and the authors have not intended to differentiate the topic of their interaction with the road infrastructure regarding exact type of autonomous cars, level of the autonomy (see, e.g., SAE classification) and interface used (e.g., connected car), except for particular cases of quoted papers, the most generic term of autonomous car (AC) is mostly used in the article. – Ed. note for English version.

² Transport Strategy of the Russian Federation till 2030 with the forecast for the period till 2035. Approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated 27.11.2021 No 3363-p. [Electronic resource]: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbR.pdf>. Last accessed 13.04.2022.

provisions of the Transport Strategy confirm the relevance of the study on the problems of the adoption of autonomous vehicles in the megapolis of Saint-Petersburg and of the development of elements of intelligent transport systems.

RESEARCH OBJECTIVE AND METHODOLOGY

Objective, Object and Subject of the Research

The *objective* of the research is identification of the problems referring to integration of autonomous cars with the transport infrastructure of the city of St. Petersburg.

The *object* of research is transport infrastructure of the city of St. Petersburg. The *subject* of the research is the problem of integration of AC with the transport infrastructure of the city of St. Petersburg.

To study the problems of integration of AC with the transport infrastructure of St. Petersburg, it is necessary to perform the following tasks:

1. To determine a list of critically important areas affecting AC integration with the transport infrastructure of St. Petersburg and to analyse each of them.

2. When analysing the current technical condition of roads and streets in the city of St. Petersburg, it is necessary to study the current regulatory and technical framework governing the technical condition of roads, statistical data on the technical condition of roads in St. Petersburg now, to reveal trends in changes in the situation regarding road pavement condition. As a result of the analysis, it is necessary to identify the main problems, the solution of which will allow safe operation of AC on public roads.

3. When analysing the problems of data transmission security, it is necessary to study the basics of data transmission, the security of their transmission, as well as ways of interaction between AC and the environment, including with intelligent transport systems (ITS). As a result of the analysis, it is necessary to formulate the main provisions that would improve data transfer security.

4. When studying the technical possibilities regarding data transfer rate, it is necessary to study the principles of building communication networks, to study the basic principles of coverage of the city with cellular communications by telecom operators. It is also necessary to analyse the current situation



Table 1

Data on the length of roads requiring repair [compiled by the authors based on data⁴]

Year	Total length, km	Technical condition meeting regulatory requirements, km	Require repair, km	Share of roads, requiring repair, %
2011	3096,9	2273,1	823,8	26,6
2012	3096,9	2359,8	737,1	23,8
2013	3276,9	2228,3	1048,6	32,0
2014	3290,5	2171,7	1118,8	34,0
2015	3337,5	2102,6	1234,9	37,0
2016	3414,6	2253,6	1161,0	34,0
2017	3433,6	2196,9	1236,7	36,0
2018	3461,8	2184,4	1277,4	36,9
2019	3472,2	2225,7	1246,5	35,9

with the provision of telecom operators with the existing number of base stations regarding their sufficiency for deployment of 5G technology in the city. It is necessary to study the issue of allocating frequencies in the Russian Federation for 5G technology.

5. When analysing the current legislative framework, it is necessary to study the current laws and draft laws regarding AC adoption and operation in the urban environment, and, based on the analysis of the current situation with regard to the legislative and regulatory framework, to identify and consider the main aspects that are not currently governed in the country by the regulations.

Problems of AC Introduction

The following problems are identified as the main ones for integration of AC with the transport infrastructure of the city of St. Petersburg [1]:

1. Technical condition and equipment of roads.
2. Data transmission security.
3. Lack of technical capacity regarding data transfer rate.
4. Lack of regulatory and technical framework.

RESULTS

To find solutions to eliminate the problems enlisted above, let us analyse the current situation.

1. Technical Condition and Equipment of Roads

1.1 Road pavement quality

First, for safe operation of AC, it is necessary to solve the problem of road pavement quality,

bringing its condition to the standard one provided for in regulatory documents³.

Table 1 presents data retrieved from the official website of the administration of St. Petersburg⁴.

From the share of roads requiring repair in the total length of the road surface over the years, it can be concluded that the dynamics of the quantity of roads in St. Petersburg requiring repair and counted in kilometres practically does not change. In this regard, a radically new approach is needed to address the issue of repairing the road pavement in St. Petersburg to reduce to zero the quantity of road pavement requiring repair.

1.2 Availability of road markings

In addition to the direct repair of the road pavement, it is necessary to have and constantly keep road markings in good condition, since they serve the as the reference point for moving AC. The marking must be applied with a special reflective paint so that it can be read by AC sensors in any weather conditions at any time of the year. The operation of AC is possible on roads of all classes (considering the possibility of marking the roadway), however, when integrating AC with the infrastructure of the city, it is advisable to use initially roads of 1 and 2 classes⁵. This will reduce the risk of accidents involving

³ GOST R [Russian State Standard] 50597-2017 Automobile roads and streets. The requirements for the maintenance quality satisfying the traffic safety. Methods of testing

⁴ Official website of the administration of St. Petersburg. Committee for City Improvement of St. Petersburg. [Electronic resource]: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/blago/uborka-dorog-i-trotuarov/>. Last accessed 13.04.2022.

⁵ GOST R 52398-2005. Classification of roads. Main parameters and requirements. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200042582/>. Last accessed 13.03.2022.

other road users and will also provide an opportunity to identify possible difficulties referring to the use of AC on other categories of roads, where there is more interaction with other road users.

Currently, the problem of cleaning roads in the winter is acute in the city of St. Petersburg. In case of poor-quality road cleaning the reading of road markings by AC will be impossible.

1.3 Road Technical Equipment

In addition to solving the existing problems with the technical condition of pavement, it is necessary to equip the roads along their entire length with sensors for reading by AC computer of the data on the road conditions [2], comprising information on:

- Irregularities on the road.
- Ice conditions during cold periods.
- Presence of moisture on the road (puddles, mud, snow: for calculation by AC control system of the speed limit and braking distance, etc.).
- Asphalt pavement temperature since at elevated temperatures in summer, asphalt becomes softer and more viscous during the contact with car's wheels.

A significant reorganisation is required to equip intersections with sensors, cameras, and traffic lights capable of transmitting information both to the traffic control post and directly to AC computer to organise movement within the traffic flow [3]. It is necessary to provide for transmission of data not only from the nearest intersection, but also from other intersections located on the AC route. This will allow choosing the most optimal route, since a traffic jam at the fourth crossroad from the current spot can affect the previously selected route.

2. Data Transmission Security.

The introduction and operation of AC involves generation of a large amount of information, such as data on location of objects, personal data of AC user, information about operation of infrastructure facilities, data for accessing both infrastructure facilities and directly AC, and much more [4]. To ensure cybersecurity of AC and of the entire infrastructure, the following important issues have been identified that must be considered when designing and creating systems [5]:

- Security of data collection, transmission, and processing by AC systems: security of data used in real time within the AC system (sensors,

control units, etc.). In case of incorrectly configured security settings, attackers may be able to access data on the state of AC nodes at the time they are read by the AC system from sensors, processed, and when transferred to the general ITS system.

- Driver authentication: when using the services, the user needs not only to provide personal data, but also to pass their verification.
- Security of transmission of data by road infrastructure refers to programs used in collection and processing of data from various AC and ITS elements, as well as information or commands of ITS related to control and transmitted to AC systems. The actions of intruders who might have obtained access to such data can lead to making incorrect decisions by both ITS and AC.

3. Lack of Technical Capacity Regarding Data Transfer Rate

Current technologies of development of communication networks do not allow implementation of AC within the city since they do not meet the needs of AC when operating in an urban environment [6]. It refers to organisation of the process of operating a large number of AC as of a single element of the transport infrastructure of the city of St. Petersburg.

The current 4G technology does not satisfy the need for data transfer rate, latency, the number of connected users per square kilometre. A qualitatively new technology of communication networks is 5G technology. It will also not be able to fully satisfy the need to ensure sufficient communication quality for implementation of AC in full, but when providing coverage of the city with a network with 5G technology, it will make it possible to take the first steps to integrate AC with the urban transport infrastructure.

The main advantages of 5G technology (estimated data) compared to 4G are [7]:

- Peak rate of 5G technology is 20 times faster than 4G and is about 20 Gbps. Data exchange, as well as transfer of relevant information, is many times faster.
- Data transmission with 5G technology occurs with a delay of 1 millisecond, which is more than eight times less than that of 4G technology.
- The number of simultaneously connected users is an important criterion in densely populated cities with a high intensity of network use. 5G technology can simultaneously serve



1 million users per square kilometre, that is several orders of magnitude higher than current 4G technology.

In world practices, the n78 frequency range (3300–3800 MHz) is considered optimal for 5G technology [8]. Equipment of major manufacturers is produced just for this frequency range. In Russia, implementation of 5G technology was at a certain stage suspended due to problems with allocation of frequencies [9]. The State Commission on Radio Frequencies (SCRF) proposed the use of the n79 range (4400–5000 MHz). For telecom operators, the implementation of this solution causes a lot of problems [10], such as:

- The main producers, whose equipment is used for organising cellular communications by four leading national operators, do not manufacture the equipment intended exactly for this frequency range.

- The end consumers are not able to use 5G technology due to the rather limited number of smartphones that support the n79 frequency range. The manufacturers whose production is most distributed do not have 5G smartphones operating in the n78 range.

- Introduction of 5G technology in the n79 frequency range will entail an increase in the number of base stations (on average, by twice).

- The truncated bandwidth of the proposed n79 frequency range will not allow full implementation of the technology, since its bandwidth is half that of the n78 range.

Besides the 4400–5000 MHz range, telecom operators were offered frequencies in the 24250–29500 MHz range. This frequency range, in addition to the problems indicated above in the context of 4400–5000 MHz range, provoke difficulties with the very physics of the process. In the 24250–29500 MHz range and above, the signal is so sensitive to obstacles (walls of buildings, heavy rain, trees, etc.) that its full use is possible only in the absence of physical interference (buildings, dense canopy of trees and other obstacles). Within the urban built-up area of St. Petersburg, the telecom operators miss the main thing which is the economic benefits of the project. This is due to the fact that the number of base stations required to provide the coverage area increases many times over in relation to their current number, and the payback of the project is postponed for an unacceptably long period.

As part of the search for solutions, the Federal Antimonopoly Service (FAS) in May 2021

entered into agreements on joint activities to build 5G networks with three telecom operators among the four leading national telecom companies. PJSC MegaFon, PJSC Rostelecom and PJSC VimpelCom established a joint venture LLC New Digital Solutions [11]. At the end of autumn 2021, the SCRF decided to allocate the frequency range 4400–4990 MHz to LLC New Digital Solutions for testing 5G technology for a period of two years.

4. Lack of Regulatory and Technical Framework

The analysis of the current legislation^{6, 7, 8} shows that there is no direct ban on the use of automated driving. At the same time, none of the documents stipulates the possibility of a complete transfer of driver functions to automatic control systems. From this it follows that initially it is necessary to make adjustments and additions to the main documents, clearly distinguishing and defining all cases of possible movement of the vehicle, both with direct control by the driver, and in the case of full control of the vehicle by automatic control systems.

Since December 1, 2018, the Decree of the Government of the Russian Federation dated November 26, 2018 No. 1415 «On conducting an experiment on trial operation of highly automated vehicles on public roads»⁹ has been in force on the territory of Russia. It refers to regulation of experimental operation of AC on public roads with the mandatory presence of a driver in the car. This experiment is carried out in the regions listed in the document.

In parallel with the above decree, without waiting for its completion, on June 8, 2021, the Ministry of Transport of the Russian Federation submitted a draft Federal Law

⁶ Federal Law dated November 8, 2007, No. 259-FZ «Charter of road transport and urban ground electric transport» (as amended and enlarged). [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/12157005/>. Last accessed 13.04.2022.

⁷ Federal Law dated December 10, 1995, No. 196-FZ «On road traffic safety» (as amended and enlarged). [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/10105643/>. Last accessed 13.04.2022.

⁸ Road traffic safety rules of the Russian Federation. Decree of the Council of Ministers – Government of the Russian Federation dated October 23, 1993, No. 1090 «On road traffic safety rules». [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/1305770/>. Last accessed 13.04.2022.

⁹ Decree of the Government of the Russian Federation of November 26, 2018, No. 1415 «On conducting an experiment on trial operation of highly automated vehicles on public roads». [Electronic resource]: <https://base.garant.ru/72113462/>. Last accessed 13.04.2022.

«On highly automated vehicles and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation».

This draft law considered the rules for the operation of AC on public roads on an ongoing basis. It gave the necessary definitions related to an automated vehicle, methods of its control, responsible persons involved in the process of its manufacture, driving and control, and defined a special device intended to record actions by an automated vehicle. The responsibilities of an owner, an operator and a manufacturer of an automated vehicle were also stipulated.

Today, this draft is subject to preliminary discussions and, taking into account the data obtained as a result of the experimental operation of AC, carried out in the framework of Decree of the Government of the Russian Federation of November 26, 2018, No. 1415, it will undergo amendments.

The draft is expected to come into force on March 1, 2025. This is because the period of validity of Decree of the Government of the Russian Federation of November 26, 2018, No. 1415 «On conducting an experiment on trial operation of highly automated vehicles on public roads» ends on March 1, 2022.

Thus, having studied the existing regulatory and legal framework currently in force in the Russian Federation, it was concluded that it is not sufficiently developed for full integration of AC with the transport infrastructure of the city. Below, there are a few main areas that need to be developed and stipulated in the legislative and regulatory framework.

Road safety

It is required to legislate on the responsibility of road users. To date, all the blame for a road traffic accident (RTA) falls on the owner of the AC. It is necessary, using the experience of foreign countries [12], to legally fix the possibility of exculpation of the AC owner if he can prove that his actions were not the cause of the accident. The examples are cases when accidents occurred due to the fault of the party responsible for the transport infrastructure, the AC software developer, a malfunction of AC sensors, etc. [13].

Regarding safety of AC operation, it is also necessary to legally regulate how certification of cars will be carried out, which is necessary for admission to the market of the country, as well as who and how will carry out periodic diagnostics of AC, its components and software.

Data transfer security

Normal operation of AC implies the use and transmission of a large amount of data. In terms of the technical component of equipment for processing a large flow of information, it is necessary to introduce regulatory standards for collection, processing, storage, and transmission of data [14]. Government agencies need to develop and implement data protection requirements at all stages of working with them: at the time of collection, processing, transmission, and their subsequent storage. Besides criminal liability, it is necessary to legally stipulate the possibility of processing and storing data obtained during AC operation, as well as the possibility to transfer information to third parties, such as law enforcement agencies.

Adaptation of the industries accompanying the AC implementation process

In addition to issues related directly to development, implementation and operation of AC, state institutions need to update and make amendments to the acts that govern other industries that are involved in this process. First, it is necessary to consider the issue of certifying the equipping of ITS with the necessary components, such as sensors, cameras, radars, equipment for data transmission and processing, as well as their storage. It is necessary to develop and to certify special signals, signs and indicators that will need to be added to the road infrastructure for normal functioning of AC.

Taking into account that a person as a driver in a normal situation during operation of AC will be excluded, and the software will be responsible for driving of AC, serious changes will affect the insurance industry. Because of a high probability that there will be a decrease in the risk of accidents due to the human factor, a fundamental change in the regulations on occurrence of insured events will be required. It will be necessary to adjust the methodology for calculating the cost of insurance, considering other factors affecting the risk of insured events.

Ethical issues in decision making

Besides all the above, it is necessary to determine and legally regulate the priority in decision-making by artificial intelligence in a critical situation [15]. It is necessary to approve an artificial intelligence decision-making algorithm that would be used when programming the AC would meet the requirements for





certification and subsequent admission of software to the country's market for further operation of AC. It is necessary to clearly indicate the priority of road users (driver, passenger of AC, passengers and drivers of other vehicles and AC, pedestrians, animals, material damage caused to someone's property, etc.).

5. Recommendations on the Revealed Problems

To solve the problems discussed in the article that impede AC integration with the transport infrastructure of the city of St. Petersburg, the following recommendations are formulated:

1. Ensuring the technical condition and equipping of roads in terms of quality of the road pavement, markings and technical equipment designed to obtain data on the state of the road pavement necessary for safe operation of AC.

2. Ensuring the security of operations with the data necessary for operation of AC on public roads.

3. Equipping the transport infrastructure of the city of St. Petersburg with 5G technology to ensure the data transfer rate necessary for AC operation.

4. Allocation of a frequency range for data transmission with the help of 5G technology that better meets the technical requirements.

5. Development of a regulatory and technical framework regulating the process of implementation and operation of AC within the transport infrastructure of the city of St. Petersburg from the point of view of traffic safety, data transmission, ethical aspect, as well as adaptation of related industries that ensure the normal

functioning of AC within the transport infrastructure of the city.

CONCLUSIONS

The article has analysed the main problems that hinder the integration of AC with the transport infrastructure of the city of St. Petersburg, studied the problems of the technical condition of urban roads, and state of markings on the road pavement, considered the issue of equipping the roads of the city with equipment designed to obtain the parameters of the road pavement condition, which will be used by the AC systems for safe driving on public roads.

Considering the problems of data transmission security has allowed to identify the main areas that need to be taken into account when designing and creating AC systems, that comprise security of collecting, transmitting and processing data by AC systems, driver authentication, security in transmission of data by road infrastructure.

The study of the problem of data transfer rate resulted in comparison of the parameters of 4G and 5G technologies. From this comparison, it can be concluded that implementation of 5G technology will make it possible to take the first steps in organising the process of operating a large number of AC as of a single element of the transport infrastructure of the city of St. Petersburg.

The analysis of the current regulatory and technical framework and acts has permitted to formulate the main issues that are missing in the legislative and regulatory framework. The study of the problem of responsibility of road users has shown that the liability must be extended not only

to the owner of AC, but also to other participants in the process. The problem of the security of data transmission has been studied as well as of the transfer of data to third parties. The issue of adaptation of the industries involved in the process of AC implementation, as well as ethical issues in decision-making by AC software in a critical situation, have been considered, allowing to formulate the recommendations on the identified problems.

REFERENCES

1. Yuzaeva, A. G., Kukartsev, V. V. Unmanned cars: the risks and prospects [*Bespilotnie avtomobili: opasnosti i perspektivy razvitiya*]. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики*, 2016, Vol. 2, Iss. 12, pp. 120–122. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28146299>. Last accessed 13.04.2022.
2. Evstigneev, I. A., Shmytinskii, V. V., Issues of interaction of unmanned vehicles with road infrastructure [*Voprosy vzaimodeystviya bespilotnykh transportnykh sredstv s dorozhnoi infrastrukturou*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2019, Iss. 6 (85), pp. 17–21. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42194742>. Last accessed 13.04.2022.
3. Ovchinnikova, N. G., Alimidzhanov, R. A. Model of planning and reconstruction of intersections in the system of rational use of the territory [*Model planirovaniya i rekonstruktsii perekrestkov v sisteme ratsionalnogo ispolzovaniya territorii*]. *Ekonomika i ekologiya territorialnykh obrazovaniy*, 2019, Vol. 3, Iss. 3, pp. 79–88. [Electronic resource]: http://eco.e.donstu.ru/upload/iblock/91f/ZHurnal_3_10_79_88.pdf. Last accessed 13.04.2022.
4. Piskareva, O. M., Alekseev, V. A., Mednikov, D. N., Starikovskiy, A. V. Characteristics of vulnerability zones and sources of threats to information security of operation of unmanned vehicles in intelligent transport system [*Kharakteristika zon uyazvimosti i istochnikov ugroz informatsionnoi bezopasnosti ekspluatatsii bespilotnykh avtomobilei v intellektualnoi transportnoi sisteme*]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGU. Ekonomicheskie nauki*, 2021, Vol. 14, Iss. 4, pp. 20–36. DOI: 10.18721/JE.14402.
5. Belyaev, K. M., Romanov, A. A. Cyber security of unmanned transport [*Kiberneticheskaya bezopasnost bespilotnogo transporta*]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*, 2018, Iss. 2 (44), pp. 37–42. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35078714>. Last accessed 13.04.2022.
6. Nosov, A. G. Economic and infrastructural aspects of development of self-driving transport technologies [*Ekonomicheskie i infrastrukturnye aspekty razvitiya tekhnologii bespilotnogo transporta*]. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2016, Iss. 5 (66), pp. 21–25. [Electronic resource]: <http://www.rostransport.com/transportrf/download.php?src=/transportrf/pdf/66/1994-831X-2016-5-21-25.pdf>. Last accessed 13.04.2022.
7. Gromova, S. L., Boborykina, M. D. Advantages of 5G technology and its features [*Preimushchestva tekhnologii 5G i ee osobennosti*]. *Conference: Innovations and scientific-*

technical creativity of the youth, 2021, pp. 746–749. [Electronic resource]: https://sibstutis.ru/workgroups/w/group/46/files/Материалы%20конференций/ПНТК-2021/Сборник_HTTM_2021.pdf. [File containing all papers of the conference]. Last accessed 13.04.2022.

8. Gurlev, I. V. Problems of development of communication networks and management of the 5G generation in Russia [*Problemy razvitiya setei svyazi i upravleniya pokoleniya 5G v Rossii*]. *Bulletin of the Eurasian Science*, 2019, Vol. 11, Iss. 5, pp. 1–9. [Electronic resource]: <https://esj.today/PDF/58ECVN519.pdf>. Last accessed 13.04.2022.
9. Agadzhanova, I. V. The problem of introduction of 5G in Russia [*Problema vnedreniya 5G v Rossii*]. *International scientific-practical conference XXXIV: International Plekhanov readings*, 2021, pp. 99–102. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46706680>. Last accessed 13.04.2022.
10. Koleda, S. S. Analysis of the capabilities of the 5G network in the range of 4,8–4,99 GHz in Russia [*Analiz vozmozhnostei seti 5G v diapazone 4,8–4,99 GHz v Rossii*]. *Internauka*, 2021, Iss. 19-3 (195), pp. 41–43. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46148016>. Last accessed 13.04.2022.
11. Avdasheva, S. B., Korneeva, D. V., Orlova, Yu. A. Single operator for 5G infrastructure: are investment savings achievable? [*Ediniy operator infrastruktury 5G: deistvitelno li ekonomiya investitsii dostizhima?*]. *Bulletin of Moscow University. Series 6: Economy*, 2019, Iss. 6, pp. 59–78. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41827383>. Last accessed 13.04.2022.
12. Tsirit, O. A., Tatyana, A. N. About some questions of criminal responsibility for accident with the participation of an unmanned vehicle [*O nekotorykh voprosakh ugovnoi otvetstvennosti za DTP s uchastiem bespilotnogo avtomobilya*]. *Voprosy rossiiskoi yustitsii*, 2019, Iss. 4, pp. 461–471. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42320987>. Last accessed 13.04.2022.
13. Churilov, A. Yu. Liability for wrong caused during operation of driverless cars: problems and perspectives [*Otvettvennost za vred, prichinenniy pri ekspluatatsii bespilotnogo avtomobilya: problemy i perspektivy*]. *Zakonodatelstvo*, 2019, Iss. 6, pp. 17–24. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38321155>. Last accessed 13.04.2022.
14. Pravikov, D. I., Ponomareva, E. A., Kupriyanovskiy, V. P. Problems of ensuring information security of highly automated vehicles [*Problemy obespecheniya informatsionnoi bezopasnosti vysokoavtomatizirovannykh transportnykh sredstv*]. *International journal of open information technologies*, 2020, Vol. 8, Iss. 6, pp. 98–103. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42969480>. Last accessed 13.04.2022.
15. Awad, E., Dsouza, S., Kim, R., Schulz, J., Henrich, J., Shariff, A., Bonnefon, J.-F., Rahwan, I. The Moral Machine Experiment: 40 Million Decisions and the Path to Universal Machine Ethics. *Nature*, 2018, Vol. 563, No. 7729, pp. 59–64. DOI: 10.1038/s41586-018-0637-6. [Electronic resource]: <https://dSPACE.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/125065/Moral%20Machine%20Paper.pdf?sessionId=B0410B7B99EA2FC0218660F2992F5E6D?sequence=1>. Last accessed 13.04.2022.

Information about the authors:

Rogavichene, Larisa I., Ph.D. (Economics), Associate Professor at the Faculty of Technological Management and Innovations of ITMO University, St. Petersburg, Russia, Rogavichene@list.ru.
Emets, Aleksey V., Master's student at the Faculty of Technological Management and Innovations of ITMO University, St. Petersburg, Russia, n_emec@mail.ru.

Article received 18.04.2022, approved 04.05.2022, accepted 11.05.2022.





Management of the Processes of Filling, Storage and Discharge of Grain Cargo at Transport Storage Facilities



Vladimir V. DENISOV



Ivan I. KONONOV



Maksim V. PRUSOV

Vladimir V. Denisov¹, Ivan I. Kononov², Maksim V. Prusov³

Samara State University of Railway Transport, Samara, Russia.

✉ ³ mak-prusov@yandex.ru.

ABSTRACT

The active transformation of transport links and redistribution of cargo flows requires intensive development of new promising areas of cargo transportation. It is necessary to use existing transport and technological systems to develop measures to increase productivity and reduce non-production costs. This approach provides for increasing the efficiency of the transport and logistics system.

The objective of the article is to study, develop and specify transport and technological facilities intended to handle grain cargo and their individual, most significant elements.

The organisation of transportation of various cargoes, taking into account the parameters of rolling stock, handling and storage equipment, is of decisive importance in determining the efficiency of transport and technological schemes.

The paper considers the technology developed to move the material flow from the consignor to the consignee, which

allows to supply cargo to the recipients at a fixed time while keeping its qualitative and quantitative characteristics. The study of the grain cargo transportation market made it possible to draw a conclusion about the importance of filling, discharge, and temporary storage operations for the entire operation chain.

A proposed innovative design of a class of bunker silos could significantly expand their functionality together with the developed technology of their operation to handle grain cargo.

Study on the analysis and modelling of the processes in proposed bunker silo considered physical and mechanical properties of the considered cargoes. The main parameters and factors, as well as the range of their influence on the efficiency of its operation were investigate for filling, storage and discharge stages.

Keywords: grain cargoes, transport and storage facilities, bunker silo, silos, filling, storage, discharge.

For citation: Denisov, V. V., Kononov, I. I., Prusov, M. V. Management of the Processes of Filling, Storage and Discharge of Grain Cargo at Transport Storage Facilities. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 182–187. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-6>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

Volumes of bulk cargo transported in Russia are increasing every year thanks to offering of comprehensive transport and logistics services for shippers and improving the quality of transportation, thus also solving a task to attract new customers. According to forecasts, transportation by rail alone will soon increase by 30 %, for example, transportation of chemical and mineral fertilisers by 2025 will increase by 44,4 % to attain 85,5 million tons, grain cargo by 22 % to attain 140 million tons, etc.¹

On public railways, for example, JSC Russian Railways provides various services at cargo terminals: warehouse rental, loading and unloading operations with packaged cargo, containers, heavy loads, crushed stone, etc., cleaning and washing of wagons/containers, as well as temporary storage of goods under customs control. To expand the scope of integrated transport and logistics business, it is necessary to handle grain cargo as well, for this it is necessary to build transport and storage facilities (elevators), to equip them with silos, and, namely, bunker silos.

Researchers in many countries also pay attention to that issue, particularly in the context of activity of different modes of transport, highlighting from diverse aspects the role of railways (e.g.^{2, 3}). Harvesting of grain is accomplished and the grains cargoes are collected for handling in a certain period of the year, but these cargoes are transported all year round. The short-term or long-term storage implies use of silos and namely bunker silos; thus, they must function stably and ensure timely and uninterrupted loading of grain cargo on the rolling stock [1].

For that, it is necessary that the storage facilities (including transport storage facilities

but not limiting to them) comply with rules (e.g.^{4, 5, 6} [1]) and meet certain conditions: processing of grain cargoes should be fully automated, and qualitative and quantitative safety of the grain cargo, sanitary and hygienic treatment, protection against the penetration of rodents and birds should be ensured (e.g., [2–3]).

Based on the works of Russian and foreign scientists, a scheme of transport and storage facilities for grain cargo was developed (Pic. 1) [4; 5].

Transport and storage facilities (TSF) for grain cargo are divided into three levels. The first level includes procurement (or on-farm) transport and storage facilities; the second level – intermediate, basic, transshipment and stock TSFs; the third level – port, sales, and production TSFs.

Procurement transport and storage facilities are located near farms, where grain cargoes are received from the fields, processed, and stored. Subsequently, grain cargoes are shipped to water and railway transport and delivered to transport and storage facilities of the second and third levels. Procurement facilities ensure processing of the entire harvest due to the large capacity and productivity of the equipment.

Basic transport and storage facilities are located at the intersection of water and railway routes, at railway junctions and serve for constant handling of grain cargo. TSFs of the kind perform the following operations: reception and cleaning of grain cargoes, mainly long-term storage, drying and loading onto vehicles.

Transshipment TSFs are designed for reloading cargo from one mode of transport to another, they are equipped with high-performance equipment.

Stockpiling of grain cargoes is provided by *stock* TSFs. The shelf life of grain cargo is 3–4

¹ Ministry of Agriculture: reaching 140 million tons of grain by 2025 is a realistic task. Finmarket.Ru. Published 07.02.2020. [Electronic resource]: <http://www.finmarket.ru/news/5167151>. Last accessed 19.01.2022.

² Frittelli, John V. Grain Transport: Modal Trends and Infrastructure Implications. CRS Report for Congress, January 5, 2005, pp. 9–10. [Electronic resource]: https://www.everycrsreport.com/files/20050105_RL32720_e3fc321b404da603d95f0e2fe799a64a9dd6d770.pdf. Last accessed 19.01.2022.

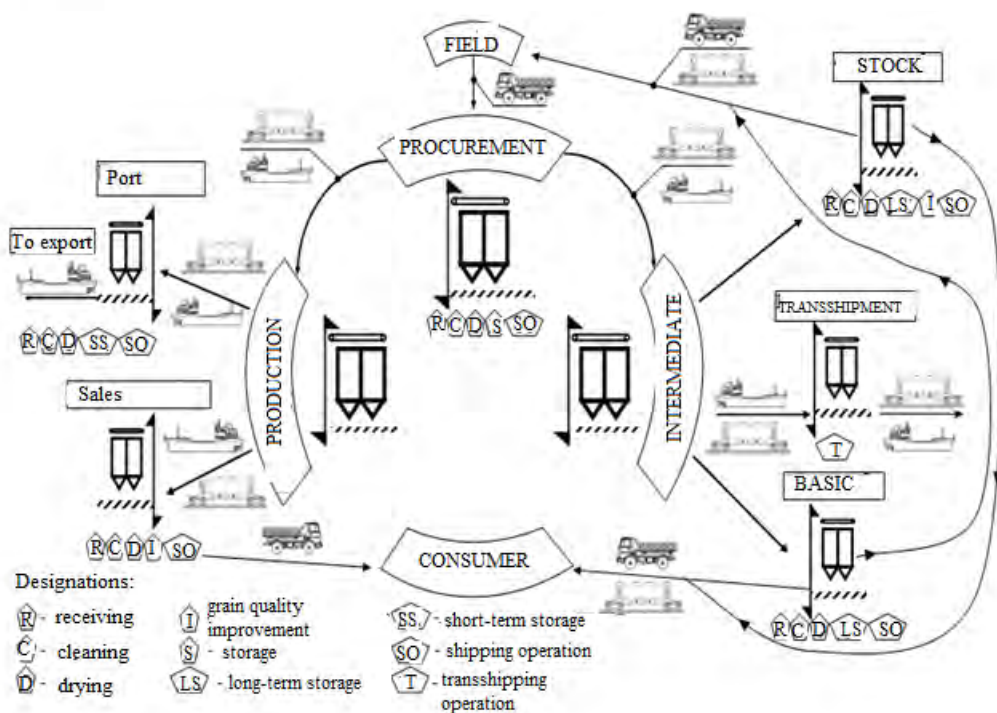
³ Pittman, R., Jandová, M., Król, M., Nekrasenko, L., Paleta, T. The Effectiveness of EC Policies to Move Freight from Road to Rail: Evidence from CEE Grain Markets. *Research in Transportation Business & Management*, Vol. 37, December 2020, article 100482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100482>.

⁴ See, e.g.: White, B. (Kondinin Group). Grain Storage Facilities. Planning for efficiency and Quality, A Grains Industry Guide. GRDC, 2012. [Electronic resource]: <https://storedgrain.com.au/grain-storage-facilities/>. Last accessed 19.01.2022.

⁵ National policy on handling, storage and transportation of foodgrains. Ministry of Consumer Affairs, Food and Public Distribution (Department of Food and Public Distribution) New Delhi, the 4th July 2000. No. TFC-14/99-Vol.III. Resolution. [Electronic resource]: https://dfpd.gov.in/NationalPolicy_HST.htm. Last accessed 19.01.2022.

⁶ Davis, R., Stafford, R. Feedlot Design and Construction, 30. Grain Storage and Handling. [Electronic resource]: https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/research-and-development/program-areas/feeding-finishing-and-nutrition/feedlot-design-manual/030-grain-storage-and-handling-2016_04_01.pdf. Last accessed 19.01.2022.





Pic. 1. Scheme of transport and storage facilities for grain cargoes [compiled by the authors].

years due to cleaning, drying, and maintaining the quality of grain cargo [6].

Production TSFs distribute grain cargo to various processing enterprises: feed mills, flour mills, etc. Grain cargoes are stored at a production TSF for 5–6 months.

Port TSFs are intended for shipment of grain cargo for export. Grain is supplied to the port elevators from water and railway transport. To ensure stable loading of grain cargo for export, a port TSF must be provided with the latest transport and storage equipment [7].

Sales TSFs are used for delivery of grain cargo to consumers. Most commonly, the cargo arrives by rail and is further shipped to road transport.

TSFs at all levels partially perform the functions of other types of TSFs.

The main elements of transport and storage complexes for grain cargo are silos, namely bunker silos, intended for various purposes. Problems arising in them are arching, segregation, compaction, caking, etc. These problems negatively affect functioning of TSFs [8; 9]. The delay of rolling stock during loading operations directly affects the turnover of wagons.

The *objective* of the work is to develop a bunker silo design that can ensure stable

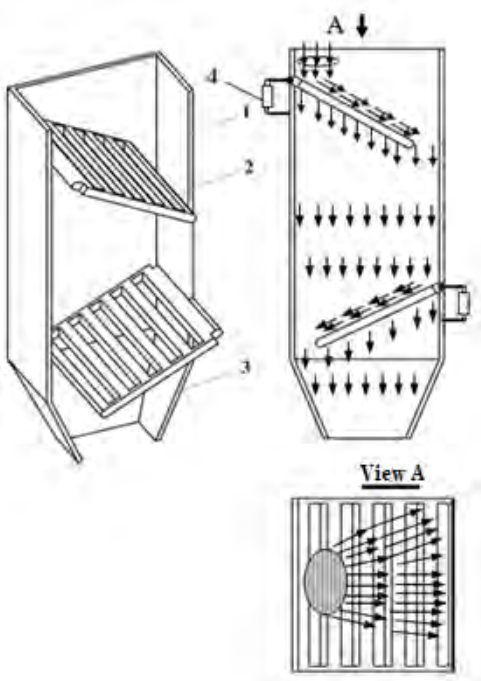
operation of a tank and will eliminate compaction of grain cargo during filling by uniformly distributing bulk cargo over the tank section, minimise segregation and arching of the cargo, and ensure uniform pressure inside the tank. This will allow to control the filling of bulk cargo into a silo, as well as to improve safety of the process and its efficiency.

RESULTS

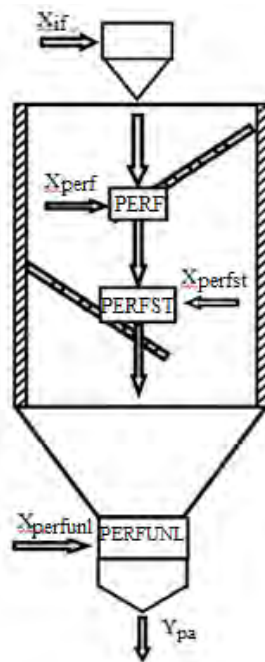
Based on the analysis of filling and discharge devices for silos, the design of a sector multifunctional bunker silo was developed (Pic. 2) [10].

The multifunctional bunker silo (1) is divided into sectors by means of perforated sieves (2). The sieves with rectangular holes are located at a certain angle to the horizontal plane. Due to the passive drive (4), the installation angle of the sieve changes. Rectangular holes of the sieve are located perpendicular to movement of the grain. The grain cargo is filled through funnel (3).

The multifunctional bunker silo works as follows: the perforated sieves are set at an angle to the horizontal plane. In the process of filling the multifunctional bunker silo, the grain load meets the first sieve on its way, which divides the loaded material into two streams, one of



Pic. 2. Multifunctional bunker [compiled by the authors].



Pic. 3. Scheme of a parametric model [compiled by the authors].

which descends along the sieve, the other passes through rectangular holes and enters the second sieve located lower on the opposite wall of the bunker, etc. until the bunker is fully filled.

Storage of grain cargo in silos is subject to various difficulties, partially mentioned above: arching, compaction, bridging, segregation, violation of the geometry of the output funnel due to mechanical impact, etc. This negatively affects operation of the entire TSF.

Many scientists have developed parametric models of the bunker silo during its operation. Based on these studies, we will consider a parametric model of a multifunctional bunker silo (Pic. 3).

The process of operation of this bunker silo must be divided into functional blocks:

- 1) The incoming flow of grain cargo (X_{if}).
- 2) The process of operation of a perforated sieve during filling (X_{perf}).
- 3) Operation of a perforated sieve during the storage of grain cargo (X_{perfst}).
- 4) Operation of a perforated sieve in the process of discharge a grain cargo ($X_{perfunl}$).
- 5) Parameters affecting the operation of the entire bunker silo (Y_{pa}).

The functioning of the multifunctional bunker can be written as follows:

$$Z_{perf} = Z_{perf} \{X_{if}, X_{perf}, X_{perfst}, X_{perfunl}, Y_{pa}\}, \quad (1)$$

Let us consider the factors affecting the input flow of grain cargo:

$$X_{if} = X\{x_{1if}, x_{2if}, x_{3if}, x_{4if}, x_{5if}, x_{6if}, x_{7if}, x_{8if}\}, \quad (2)$$

where x_{1if} – productivity of the feeder;

x_{2if} – cross-sectional area of the flow;

x_{3if} – flow density;

x_{4if} – fall height;

x_{5if} – moisture content of the cargo;

x_{6if} – content of impurities;

x_{7if} – windage coefficient;

x_{8if} – physical and mechanical properties of the cargo.

The perforated sieve, being inside the bunker silo, also affects the tank filling. Let us consider the factors affecting the functioning of the sieve during the filling process:

$$X_{perf} = X\{x_{1perf}, x_{2perf}, x_{3perf}, x_{4perf}, x_{5perf}, x_{6perf}, x_{7perf}, x_{8perf}, x_{9perf}\}, \quad (3)$$

where x_{1perf} – productivity of the perforated sieve (the greater is the productivity, the faster the bunker silo is filled);

x_{2perf} – installation of a perforated sieve (if the installation angle is large, then the bulk of the cargo leaves the sieve, if the installation angle is small, the bulk of the cargo remains on the sieve);

x_{3perf} – configuration of openings (holes) in the sieve (it has a significant impact on cargo movement, if the configuration of openings is in



the shape of a circle, it is necessary to shake the sieve, and if the configuration of openings is rectangular, then the cargo passes freely and descends along the sieve);

x_{4perf} – dimensions of holes in the sieve;

x_{5perf} – dimensions of jumpers between openings of the sieve;

x_{6perf} – dynamic indicator of filling the cross section of the bunker;

x_{7perf} – the number of perforated sieves in the bunker (affects the horizontal and vertical pressure in the bunker, as well as cargo segregation);

x_{8perf} – bulk (compaction) factor (affects the integrity of the cargo particles);

x_{9perf} – coefficient of the used volume (depends on the size of openings in the sieve).

Having considered all the factors that have a significant impact on the process of filling the bunker silo, it must be remembered that this process affects the storage of bulk cargo.

Factors affecting the operation of a perforated sieve during storage:

$$X_{perfst} = X\{x_{1perfst}, x_{2perfst}, x_{3perfst}\}, \quad (4)$$

where $x_{1perfst}$ – the number of perforated sieves in the bunker silo (affects the horizontal and vertical pressure in the bunker silo, as well as cargo segregation);

$x_{2perfst}$ – geometrical dimensions of the perforated sieve (if the sieve area is more than half of the cross-sectional area of the bunker silo, but less than the cross-sectional area of the bunker silo, then the perforated sieves can be the point of interaction between the controlled arching and the bunker structure, so that the discharge process will be controlled);

$x_{3perfst}$ – installation of a perforated sieve at an angle relative to the horizontal plane.

As it is known, the filling process affects the functioning of the entire bunker silo. During the storage of bulk cargo, undesirable phenomena occur, such as arching, bridging, compaction, segregation of bulk cargo [11; 12]. Bridging of bulk cargo often occurs in bunkers with a rectangular cross section. The arching is formed due to the increase in horizontal pressure inside the bunker silo. Compaction and segregation of bulk cargo appear due to extraneous vibration. These phenomena negatively affect the discharge of bulk cargo from the bunker. Discharge is followed by a pulsation, and the quality of the cargo is deteriorating, because of the segregation of the cargo [13–16].

In a multifunctional bunker silo, perforated sieves are not removed during the storage of bulk cargo, therefore, they constitute a support for arching, but it is enough to change the inclination of the perforated sieve by 1° , the arch will collapse, and discharge will proceed evenly, without pulsation. In this case, it will be possible to control the process of discharge of the bulk cargo [7].

Let's consider the parameters that affect the discharge process using a perforated sieve:

$$X_{perfunl} = X\{x_{1perfunl}, x_{2perfunl}, x_{3perfunl}, x_{4perfunl}, x_{5perfunl}, x_{6perfunl}, x_{7perfunl}, x_{8perfunl}, x_{9perfunl}, x_{10perfunl}\}, \quad (5)$$

where $x_{1perfunl}$ – linear values of bunker silo (rectangular, round and trough-(U-)shaped);

$x_{2perfunl}$ – the shape of the lower element of the bunker silo (funnel) (models and controls productivity and arching);

$x_{3perfunl}$ – the number of discharge openings (the more there are openings, the more uniform the discharge will be);

$x_{4perfunl}$ – the area of discharge opening relative to the axis of the bunker silo;

$x_{5perfunl}$ – the angle of the lower element of the bunker silo (funnel);

$x_{6perfunl}$ – the dependence of the cross-sectional area of the bunker silo and the area of the discharge opening;

$x_{7perfunl}$ – pitch from the discharge opening to the beginning of the perforated sieve;

$x_{8perfunl}$ – physical and mechanical properties of grain cargo;

$x_{9perfunl}$ – bunker silo manufacturing material;

$x_{10perfunl}$ – installation of a perforated sieve (the slope of the perforated sieve affects the discharge).

Let us consider the parameters of the discharge process for operation of a multifunctional bunker silo:

$$Y_{pa} = Y\{Y_{1pa}, Y_{2pa}, Y_{3pa}\}, \quad (6)$$

where Y_{1pa} – the capacity of the bunker silo;

Y_{2pa} – constant feeding of the input;

Y_{3pa} – the coefficient of cargo segregation.

CONCLUSIONS

Thus, after considering and estimating all the factors that affect the operation of the multifunctional bunker silo, we have determined the main parameters of the functioning of the bunker silo.

Due to perforated sieves, it is possible to regulate and control the process of filling, storage, and, most importantly, the process of discharge of the bulk cargo. The proposed design was patented in the Russian Federation [17].

REFERENCES

1. Masi, P., Harris, K. The Feasibility of Investing in a High-Speed Grain-Handling Facility in Kansas. *Applied Economics Teaching Resources*, 2021, Vol. 3, Iss. 1, pp. 74–85. DOI: 10.22004/ag.econ.310268.
2. Guru, P. N., Mridula, D. Safe Storage of Food Grains. Technical Bulletin No. ICAR-CIPHET/Pub./2021-22/01. ICAR Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology. DOI: 10.13140/RG.2.2.14957.51680.
3. Rajput, K., Amar, V. S. Engineering Perspective on Technical Challenges Associated with Corn Grain Storage. *Acta Scientific Applied Physics*, 2022, Vol. 2, Iss. 5, pp. 28–33. [Electronic resource]: <https://actascientific.com/ASAP-2-5.php>. Last accessed 05.05.2022.
4. Goryushinsky, I. V. Technological systems for providing feedstock and livestock enterprises with raw materials. D.Sc. (Eng) thesis [Tehnologicheskie sistemy obespecheniya syiem kombikormovykh i zhivotnovodcheskikh predpriyatiy. Diss. dokt. tekh. nauk]. Orenburg, 2005, 298 p.
5. Kononov, I. I. Improving the process of functioning of bunker storage facilities for transport and storage complexes for bulk cargo (on the example of feed components). Ph.D. (Eng) thesis [Sovershenstvovanie protsessov funktsionirovaniya bunkernykh khranilishch transportno-skladskikh kompleksov dlya sypuchikh gruzov (na primere komponentov kombikorma). Dis... kand. tekh. nauk]. Saratov, 2002, 154 p.
6. Prusov, M., Kurdyumov, V., Pavlushin, A. Optimization of the hopper design parameters with a controlled technological process of filling, storage and discharge of bulk materials. Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2020). Kazan, EDP Sciences, 2020, p. 00131. DOI: 10.1051/bioconf/20202700131.
7. Prusov, M. V. Hopper for Bulk Cargo excluding Manual Labor. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 3 (64), pp. 176–181. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1960>. Last accessed 19.01.2022.
8. Ivlieva, I. A. Innovative systems for loading vehicles with bulk cargo [Innovatsionnye sistemy zapolneniya transportnykh sredstv sypuchimi gruzami]. Days of student science: Proceedings of the 48th scientific conference of students of SSTU, Samara, April 06–16, 2021. Samara, Samara State Transport University, 2021, pp. 63–65. [Electronic resource]: <https://www.samgups.ru/science/uchenomu/konferentsii-i-granty/files/2021/%D0%94%D0%BD%D0%B8%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B8%202021.%20%D0%A2.%201.%20%D0%A2%D0%95%D0%A5%D0%9D%D0%98%D0%A7%D0%95%D0%A1%D0%9A%D0%98%D0%95%20%D0%9D%D0%90%D0%A3%D0%9A%D0%98.pdf>. Last accessed 19.01.2022.
9. Prusov, M. V., Pavlushin, A. A., Kurdyumov, V. I. Theoretical substantiation of the parameters of the processes of loading, storing and unloading compound feed [Teoreticheskoe obosnovanie parametrov protsessov zagruzki, khraneniya i vygruzki kombikormov]. *Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2020, Iss. 1 (49), pp. 6–13. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-1-6-13.
10. Prusov, M. V., Pavlushin, A. A., Kurdyumov, V. I. Optimization of the design parameters of the bunker device [Optimizatsiya konstruktivnykh parametrov bunkernogo ustroystva]. *Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2020, Iss. 3 (51), pp. 22–27. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-3-22-27.
11. Denisov, V. V., Prusov, M. V., Kozhevnikov, V. A. Control over segregation when handling bulk cargoes. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2020, Iss. 1 (79), pp. 48–54. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43680651>. Last accessed 19.01.2022.
12. Tretyakov, G. M., Prusov, M. V., Denisov, V. V., Kononov, I. I. Experimental studies of bulk cargo storage in transport and technological complexes [Eksperimentalnye issledovaniya khranilishcha sypuchikh gruzov v transportno-tehnologicheskikh kompleksakh]. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2020, Iss. 5 (83), pp. 56–61. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44304111>. Last accessed 19.01.2022.
13. Denisov, V. V., Prusov, M. V., Kozhevnikov, V. A. The current state of the process of transportation of grain cargo by rail [Sovremennoe sostoyanie protsessov perevozok zernovykh gruzov zheleznodorozhnym transportom]. *Nauka i obrazovanie transportu*, 2020, Iss. 1, pp. 109–111. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44551811>. Last accessed 19.01.2022.
14. Kozhevnikov, V. A., Denisov, V. V., Prusov, M. V. Theoretical studies of the process of eliminating freezes by a mobile device in bunkers for storage and transportation of bulk cargo [Teoreticheskie issledovaniya protsessov ustraneniya zavisaniy mobilnym ustroystvom v bunkerakh dlya khraneniya i transportirovki sypuchikh gruzov]. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2018, Iss. 1 (67), pp. 37–44. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35332915>. Last accessed 19.01.2022.
15. Prusov, M. V. Improving the technical equipment of transport and warehouse complexes for storage and reloading of bulk cargo [Sovershenstvovanie tekhnicheskogo osnashcheniya transportno-skladskikh kompleksov dlya khraneniya i peregruzki sypuchikh gruzov]. *Nauka i obrazovanie transportu*, 2018, Iss. 1, pp. 114–115. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37072690>. Last accessed 19.01.2022.
16. Mishina, S. A., Prusov, M. V. Interaction of the warehouse and transport complex in modern conditions [Vzaimodeystvie skladskogo i transportnogo kompleksa v sovremennykh usloviyakh]. *Youth science in XXI century: traditions, innovations, development vectors: materials of the International research conference of young scientists, Ph.D. students, students and high school students: in 3 parts, Samara-Orenburg, April 05, 2017*. Samara-Orenburg, LLC Aeterna, 2017, pp. 84–86. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30036728>. Last accessed 19.01.2022.
17. Patent No. 2219118 C1 Russian Federation, IPC B65D 88/64. Bunker for arching bulk materials: No. 2002112529/12: Appl. 13.05.2002: publ. 20.12.2003 / G. M. Tretyakov, V. S. Goryushinsky, I. V. Goryushinsky [et al]. Applicant Open Joint Stock Company «Promzheldortrans», Samara State Transport University. [Electronic resource]: https://yandex.ru/patents/doc/RU2219118C1_20031220. Last accessed 19.01.2022. ●

Information about the authors:

Denisov, Vladimir V., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Freight and Commercial Operation Technologies, Stations and Junctions of Samara State Transport University, Samara, Russia, vdenisoff@mail.ru.

Kononov, Ivan I., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Freight and Commercial Operation Technologies, Stations and Junctions of Samara State Transport University, Samara, Russia, ikononov@yandex.ru.

Prusov, Maksim V., Ph.D. (Eng), Associate Professor at the Department of Freight and Commercial Operation Technologies, Stations and Junctions of Samara State Transport University, Samara, Russia, mak-prusov@yandex.ru.

Article received 06.04.2022, approved 28.04.2022, updated 05.05.2022, accepted 11.05.2022.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-7>World of Transport and Transportation, 2022,
Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 188–198

Train Formation Management. Part 2

**Dmitry Yu. Levin**

JSC NIIAS, Moscow, Russia.

✉ levindu@yandex.ru.

Dmitry Yu. LEVIN

ABSTRACT

The publication in this issue is the second, final part of the article that shares the vision of the approaches to creation of optimal conditions of train operation, control the load of marshalling stations, their interaction with freight stations, redistribution of cargo operations, and suggests final conclusions. As it was noted in the abstract of the first part,

changes in management of train formation, which are put forward based on generalisation of a number of results of earlier author's studies and publications (the vast of majority of them have not been published in English) and newly formulated proposals for discussion, will make it possible to manage the transportation process in a fundamentally new way.

Keywords: railway, train formation management, regulatory and technological documents, unproductive losses, optimal operative conditions, operational management of the transportation process.

For citation: Levin, D. Yu. Train Formation Management. Part 2. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 188–198. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-7>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

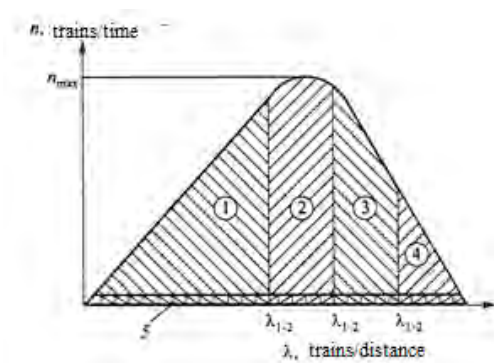
Creating Optimal Conditions
for Train Operation

Train formation management provides for creation of the conditions necessary to respect the traffic schedule, which include assessing saturation of sections with trains, predicting the approach of trains, solving the problem of regulating the saturation of a section with trains, developing measures to prevent and eliminate congestion in train traffic.

Modelling the train formation plan, it becomes possible to consider the saturation of sections with trains, depending on the mode of train operation (Pic. 4)¹.

The normal mode of train operation (Pic. 4, area 1) is characterised by respect of the norms of the train schedule. The optimal mode (Pic. 4, area 2) implements the maximum traffic. The complicated mode (Pic. 4, area 3) is characterised by oversaturation of the section with trains. In the hard mode (Pic. 4, area 4), oversaturation of the section with trains leads to a shortage in operating mode of locomotive crews [there are no extra locomotive drivers who can and is allowed to work] and thus to the need to «drop» trains at intermediate stations. In emergency mode (Pic. 4, area 5), movement of trains is stopped due to infrastructure and rolling stock failures or cargo shifts on open wagons.

Depending on the mode of operation of the sections, the tasks of managing train operation to ensure compliance with the established standards of the traffic schedule and prevent oversaturation of the sections with trains are solved in the process of modelling of the formation of trains. Creating and maintaining



Pic. 4. Train operation modes: 1 – normal, 2 – optimal, 3 – complicated, 4 – hard, 5 – emergency [compiled by the author].

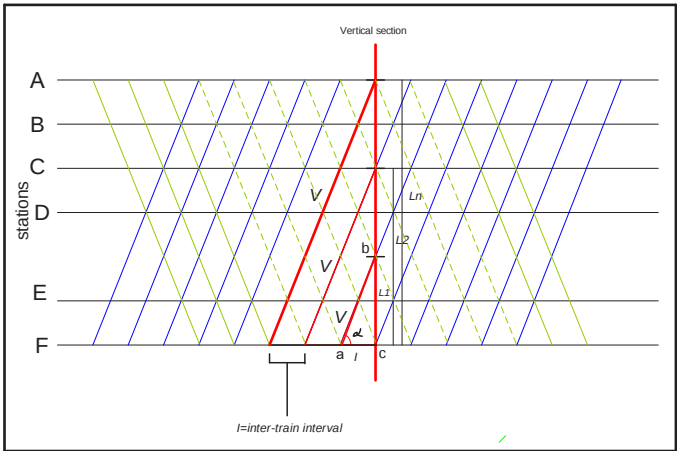
optimal conditions for train operation is one of the tasks of train formation management, which is used to regulate saturation of sections with trains.

An increase in the number of trains on the section by more than the maximum provided for in the train schedule not only does not contribute to an increase in the volumes of traffic, but also does not allow meeting the schedule standards and worsens the use of the section’s capacity [20].

Control of saturation of sections with trains consists in preventing the presence of more trains on the section than the maximum allowed simultaneously. The maximum number of trains that can simultaneously be on the section is determined by the vertical section of the maximum traffic schedule. The maximum traffic schedule is a schedule in which the «threads» of trains are laid at minimum intervals [21].

Let’s consider the definition of the maximum number of trains that can simultaneously be on the section with a parallel two-track schedule. In Pic. 5, in a right-angled triangle *abc*, the slope

¹ The numbering of graphs, diagrams and tables continues the numbering of pictures started in the first part of the article.



Pic. 5. A fragment of the even-numbered train schedule and trigonometry of the vertical section [compiled by the author].

of the hypotenuse ab («thread» of the graph) characterises the speed of trains and determines the acute angle α . The leg ac corresponds to the inter-train interval. The leg bc is the share (length) of the vertical section per train (L_1). The trigonometric function of the acute angle α of the ratio of the opposite leg bc to the adjacent leg ac corresponds to the tangent tga . We write the solution of a right-angled triangle abc in railway notation:

$$tga = L_1 / I = V_r,$$

$$\text{or } L_1 = I \cdot tga,$$

$$L_2 = 2I \cdot tga,$$

...

$$L_n = n'' I \cdot tga,$$

$$n'' = \frac{L_n}{I \cdot tga},$$

$$\text{or } n'' = \frac{L_n}{I \cdot V_r},$$

where n'' – the maximum number of trains for an even direction;

L_p – the section length (vertical section);

I – minimum inter-train interval;

V_r – running speed of trains.

Regulation of the Load of Marshalling Stations

The modern technological process of the marshalling yard operation contains two components: the sequence of operations and the norms of time for their implementation. Real operational work differs significantly from the normative daily schedule. An analysis of arrival of trains at marshalling yards by hourly periods indicates a significant intraday unevenness. For example, at Bekasovo-Sortirovochnoye, Orekhovo-Zuyevo and Sverdlovsk-Sortirovochny stations, the range of arrival had been from 0 to 10 trains per hour. What does this lead to? In some periods, due to the lack of trains, the marshalling yard is idle, and the processing

capacity is irretrievably lost. At other times, due to the dense arrival of trains, the trains stand idle waiting for dissolution from the hump, and the time spent by the wagons at the station increases [22].

Thus, to maximize the use of the hump's processing capacity while minimising the time spent by wagons at the station, it is necessary to compare and align arrival of trains and the hump's processing capacity in advance. Thus, to create and maintain optimal operation conditions for the marshalling yard.

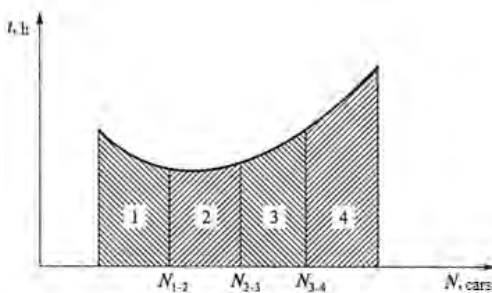
The operating conditions of marshalling yards at each moment of time are characterised by a mode that determines quantitative and qualitative indicators of the station.

The mode of operation of the marshalling yard depends on the volume of wagon processing, the intensity and uniformity of the approach of trains, the timeliness of providing the formed trains with locomotives, the removal of trains and determines the timeliness of the reception and departure of trains, the presence of inter-operational downtime of wagons.

Normal mode (Pic. 6, area 1) is characterised by station operating conditions, under which there are no train delays due to non-acceptance and inter-operational downtime of wagons, the time norms for performing technological operations are observed, and an increase in the volume of processing leads to a reduction in the time spent by wagons at the station. In the normal mode of train, sorting and shunting operations, the train schedule, the technological process of the station operation and the timely conduct of locomotives' maintenance are respected.

If the normal mode provides the minimum time spent by wagons at the station or minimal operating costs in the absence of delayed trains due to non-reception, then this mode is called *optimal* (Pic. 6, area 2).

Complicated mode (Pic. 6, area 3) is characterised by station operating conditions, when there is inter-operational downtime, which can be exacerbated by the uneven approach of trains, untimely provision of trains with locomotives and departure from the station. There are periodic delays of trains due to non-acceptance. An increase in the volume of processing causes an increase in the time spent by wagons at the station and in operating costs. Deviations in the time spent on the execution of technological operations cause difficulties in the current planning of the station.



Pic. 6. Modes of operation of the marshalling yard
[compiled by the author].

Hard mode (Pic. 6, area 4) is characterised by an increase in inter-operational downtime, constant delays of trains due to non-acceptance and the maintenance of an excess of wagon fleet. If the hard operating mode of the station is not eliminated in a timely manner, then inter-operational downtime, the number and duration of train delays due to non-acceptance will increase even more, and there will be a shortage of train locomotives.

It is possible to create and maintain optimal operating conditions for marshalling yards in advance by managing train formation, when, at the stage of modelling accumulation of trains, arrival of trains at destination stations and the processing capacity of respective marshalling humps are brought into line.

Interaction of Marshalling and Cargo Stations

The operational management of train formation allows eliminating the existing shortcomings in organisation of local operations [mainly, loading, unloading, sorting operations within the station or adjacent stations] and ensuring the *timely* supply of wagons to cargo stations. The maximum use capacity of the loading and unloading tracks is achieved when, after completion of cargo operations, the wagons are immediately removed from cargo loading/unloading track and the next groups of wagons are supplied. The timely availability at the stations of these groups of wagons ready for delivery to the loading/unloading track should be the goal of local operations. The absence of wagons at the station by the time of delivery to the cargo unloading track results in an irreparable loss of unloading capacity. That is, the operational management of train formation should ensure availability of wagons at the stations for their timely and complete supply to the cargo loading/unloading track. These conditions characterise the optimal mode of operation of cargo loading/unloading tracks, under which the maximum volume of cargo operations is done [23].

In a mathematical formulation, it is advisable to formulate such a problem in terms of distribution of flows on graphs (Pic. 7). In this case, a weighted graph serves as an adequate mathematical model for organising work with local wagons, the «weight» of the vertices of the first part of which is the predicted time of arrival of the wagons at the station. At the same time, the numbering of peaks increases during the

planned period (for example, shifts, days). The «weight» of the vertices of the third part of the graph is the time of delivery of wagons to the cargo loading/unloading track, which is determined by the quotient through dividing duration of the planned period by the time of carrying out cargo operations. The stochastically evolving predicted arrival of wagons at the station, not linked to the performance of cargo operations, does not always ensure the maximum use of the loading/unloading capacity of cargo loading/unloading tracks, i.e., part of the time the latter are idle waiting for work, and part of the time during crowded arrival the wagons are idle waiting for delivery of wagons. To timely respect the schedule for supplying wagons to the cargo loading/unloading track, the desired second part of the graph is built, the «weights» of the vertices of which characterise the necessary moments of time when the wagons should arrive at the station. The latter may coincide with the predicted time if they arrive on time, or otherwise an earlier arrival of wagons to the station is necessary. In this case, the «weight» of the vertices (arrival time) is determined by the difference in the times of delivery of wagons to the cargo loading/unloading track according to the schedule and the time required to perform technological and shunting operations.

Thus, the task of finding the «weights» of the vertices of the second part of the graph is reduced to synthesising the arcs connecting the vertices of different parts of the graph, and calculating the flows on them so that a solution between the sources (the predicted arrival of wagons at the station) and the sinks of the graph (the application for supply of wagons for unloading during the planned period) should be when the extremum of the functional is reached on the set of arcs of this graph:

$$F = \min \{M, P\}, \quad (4)$$

where M – availability of local wagons for each loading/unloading track;

P – loading/unloading capacity of the loading/unloading track.

To implement the functional (4), we consider the algorithm, having previously introduced the following notation: S is the source of the graph; T is the sink of the graph; i, j, k are the vertices of the first, second and third parts of the graph, respectively; N is the flow of wagons on the arcs between the shares of the graph; N_{si} is the predicted flow of wagons arriving at the station; N_{ki} is the maximum number of wagons that can



Table 3

Initial data of the example [compiled by the author]

Forecast of arrival of wagons at the station	Arrival turn	1	2	3	4	5	6	7	8
	Time	17:30	21:00	2:00	7:00	8:00	10:00	11:00	12:00
	Number of wagons	30	15	10	40	15	20	50	40
Schedule for supply of wagons to the cargo loading/unloading track	Delivery number	1	2	3	4	5	6		
	Time	20:00	0:00	4:00	8:00	12:00	16:00		
	Number of wagons	40	20	20	40	40	60		

be supplied to the loading/unloading track; t_{cargo} is the current time of the latest arrival of wagons at the station for use in a certain supply to the cargo Loading/unloading track; t_n is the time of delivery of wagons to the cargo loading/unloading track; t_{tech} is the technological time [necessary for sorting and manoeuvring operations according to adopted technology] from arrival of wagons at the station to delivery to the cargo loading/unloading track.

The algorithm for performing calculations leads to streamlining the flow of arrival of wagons at the station to ensure the maximum possible volume of loading/unloading and determines the required schedule of their arrival. The optimal schedule of arrival of wagons at the station corresponds to finding the «weights» of the vertices of the second part of the graph.

The algorithm for developing requirements for arrival of local wagons at the unloading station:

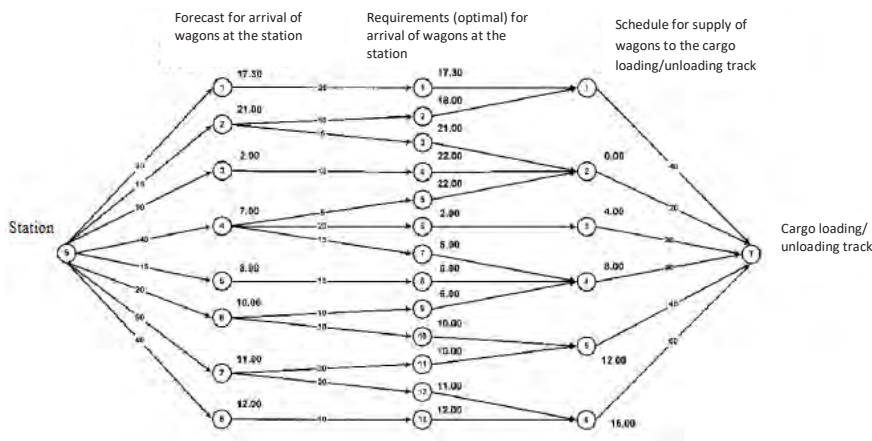
1. Let $i = k = 1, j = 0$.
2. If $N_{si} < N_{kt}$, then go to step 4; if $N_{si} = N_{kt}$, then – to step 5; if, $N_{si} > N_{kt}$ then – to step 3.
3. Let's calculate $N_{si} = N_{si} - N_{kt}$; $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{kt}$; $t_i = \min \{t_p, t_k - t_{\text{tech}}\}$; $k = k + 1$. If $k > k_{\text{max}}$, then go to step 6, otherwise – to step 2.
4. Let's calculate $N_{kt} = N_{kt} - N_{si}$; $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{si}$; $t_j = \min \{t_p, t_k - t_{\text{tech}}\}$; $i = i + 1$. If $i > i_{\text{max}}$, then go to step 6, otherwise – to step 2.
5. Let's calculate $j = j + 1$; $N_{ij} = N_{si}$; $t_j = \min \{t_p, t_k - t_{\text{tech}}\}$; $k = k + 1$. If $k > k_{\text{max}}$, then go to step 6, otherwise $i = i + 1$. If $i > i_{\text{max}}$, then go to step 6, otherwise – to point 2.
6. We draw up a schedule for arrival of wagons at the station for all values of i and k , $t_j = \min \{t_p, t_k - t_{\text{tech}}\}$.

Example. The task is to optimise arrival of wagons at the station to be further moved to the cargo loading/unloading track with a loading/unloading capacity of 220 wagons per day (Pic. 7). The execution time of technological and shunting operations from arrival of wagons at

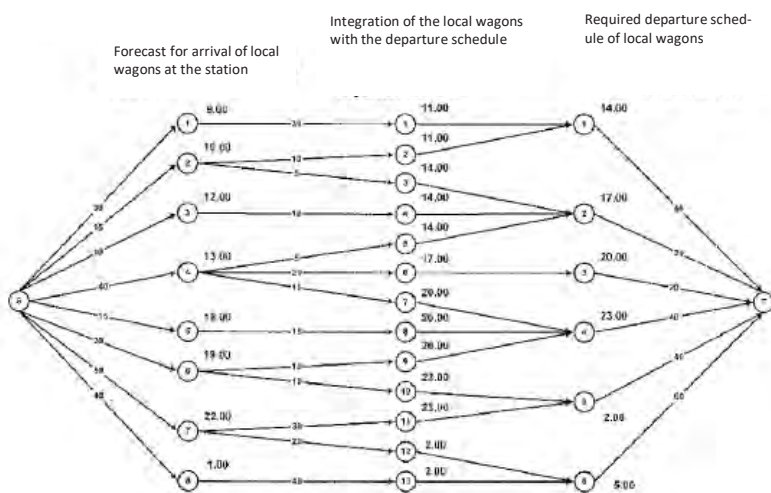
the station to delivery to the cargo loading/unloading track is 2 hours. Table 3 sets the forecast for arrival of local wagons at the station and the schedule for supplying them to the cargo loading/unloading track.

The optimisation of the estimated arrival of local wagons for individual cargo loading/unloading tracks is generalised for the stations of the entire section. Considering transit time of local wagons to the unloading station, the required time for their departure from technical stations is determined (Pic. 8). The possibility of earlier departure of local wagons from the technical station depends on the forecast of the time of arrival at it. The verification consists in comparing the time required to perform technological operations for the processing of wagons at the station and the time available from the moment of arrival to departure. As a result of this verification, those wagons are identified that can be sent from the technical station earlier than the predicted time. In other words, situations are identified when local wagons are idle at the technical station, and at this time there are no wagons at cargo stations for delivery to the cargo loading/unloading tracks.

As a result of automation of the operational planning of local and cargo operations, an operational plan is being developed for delivery of local wagons to stations and their delivery to the cargo loading/unloading tracks. Such a plan includes the technology of train formation and the schedule of trains with local wagons and allows controlling the progress in its implementation. The wagons delivered to the cargo loading/unloading tracks within the terms allowing performance of cargo operations before the end of the shift or day, make up the planned amount of unloading for the corresponding period of time. Additional local wagons arriving during the day are used to fill incomplete deliveries to the cargo loading/unloading tracks.



Pic. 7. Flow model for optimising arrival of local wagons at the unloading station [compiled by the author].



Pic. 8. Flow model for optimising the departure of local wagons from the technical station [compiled by the author].

The operational management of train formation will make it possible to significantly increase the efficiency of management of the transportation process due to the actual transition from informing to managing automated systems.

Tools of Train Formation Management

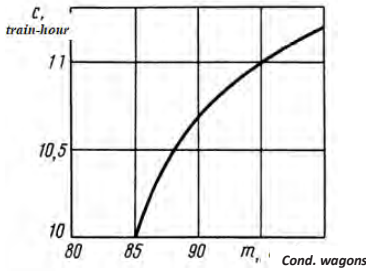
Simulation of the process of accumulation of wagons for trains of different lengths and weights makes it possible to control the duration and moments of completion of accumulation of wagons.

Pic. 9 shows the influence of the number of wagons in the trains being formed on the accumulation parameter, and Pic. 10 demonstrates the effect of changing the train length m on the minimum volume of the wagon flow, which is advantageous to allocate to an independent destination.

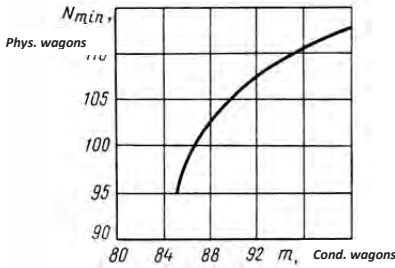
The use of deviations from the set value of the composition of trains makes it possible to control the accumulation time (Pic. 11) and the accumulation parameter (Pic. 12).

With an increase in the allowable deviations from the set length of trains, the cost of wagon hours regarding accumulation is reduced (Pic. 13), and the more intense, the greater is the deviation. This is due to the increase in the process of accumulation of the number of intervals between the accumulated trains (Pic. 14) and average values of the closing (Pic. 15) and final (Pic. 16) wagon groups. But the reduction in the cost of wagon-hours for accumulation with an increase in the allowable deviations from the established length of the trains leads to an increase in the volume of train traffic (Pic. 17), and this, with a high level of filling the throughput capacity of the segments

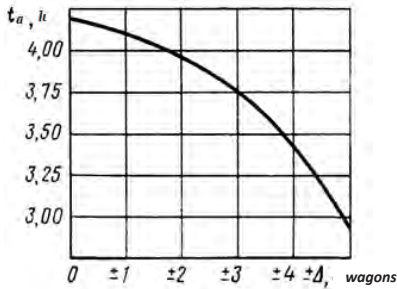




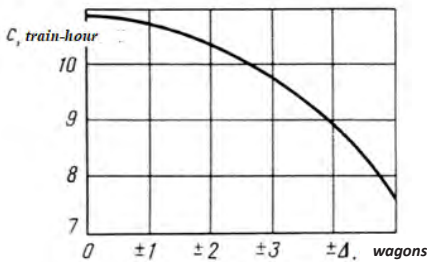
Pic. 9. Dependence of the accumulation parameter c on the average number of wagons m in the trains being formed [compiled by the author].



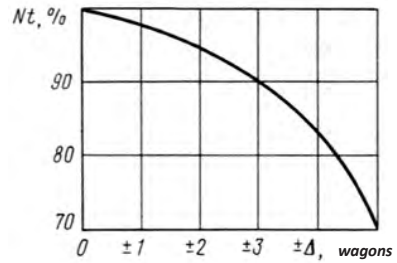
Pic. 10. Dependence of the minimum wagon flow, N_{min} , favourable for allocation to a separate destination, on the average number of wagons m in the train [compiled by the author].



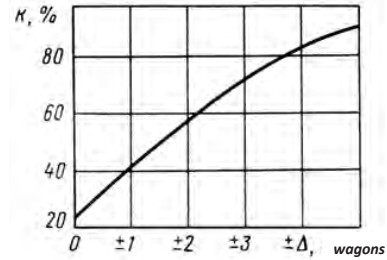
Pic. 11. Influence of permissible deviations from the set length of trains $\pm\Delta$ on the accumulation time t_a [compiled by the author].



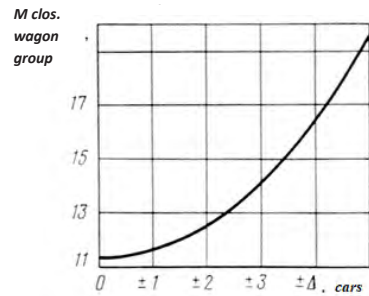
Pic. 12. Influence of permissible deviations from the set length of the trains $\pm\Delta$ and the accumulation parameter c [compiled by the author].



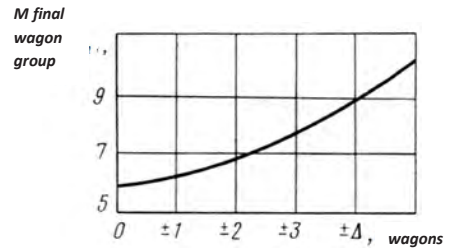
Pic. 13. Influence of permissible deviations from the set length of trains $\pm\Delta$ on the expenditures of wagon-hours of accumulation N_t [compiled by the author].



Pic. 14. Interdependence of the rate of permissible deviations from the established length of trains $\pm\Delta$ and the proportion of intervals between trains in the accumulation process [compiled by the author].



Pic. 15. Influence of permissible deviations from the established length of trains $\pm\Delta$ on the average value of the closing group m_{clos} [compiled by the author].



Pic. 16. Influence of permissible deviations from the established length of trains $\pm\Delta$ on the average value of the final group m_{fin} [compiled by the author].

of the network, leads to a decrease in the train speed at the section (Pic. 18).

In connection with the change in the conditions of train traffic through the section (Pic. 20), it became obvious that when determining the permissible deviations from the

established length of trains during formation of trains, it is necessary to compare reduction in the expenditures of wagon-hours during accumulation with the increase in wagon-hours in motion, as well as locomotive- and crew-hours reduced to the cost of 1 wagon-hour:

$$\Delta N t_a = \Delta t_{mot} n m_{act} + \frac{\Delta t_{loc} e_{MH} + \Delta t_{br} e_{Mh}}{e_{nH}},$$

$$\text{or } \Delta cm \geq \Delta t_{mot} n m_{act} + \frac{\Delta t_{loc} e_{MH} + \Delta t_{br} e_{Mh}}{e_{nH}},$$

where $\Delta N t_a = \Delta cm$ – reduction in the cost of wagon-hours for accumulation of trains;

$\Delta t_{mot} = \Delta v_{sec} / L$ increase in the time spent by trains on the section;

n – volume of train traffic on the section;

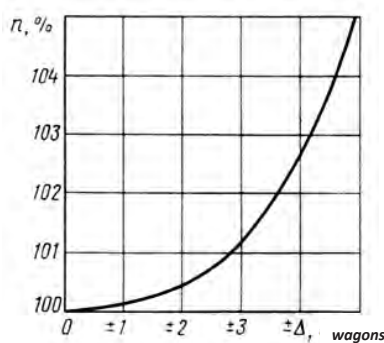
m_{act} – the actual number of wagons in trains;

Δv_{sec} – decrease in the train speed at section;

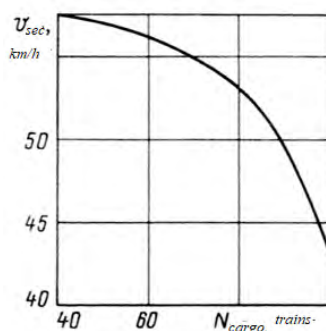
L – length of the section.

Let's consider, for example, feasibility of increasing the permissible deviations from the established length of trains of 50 wagons from ± 1 to ± 3 at the expenditures for accumulation of wagons equal to 550 wagon-hours per day, the traffic volume on the section is 80 trains, and the length of the section is 200 km. According to the schedule (Pic. 11), we determine that the expenditures of wagon-hours for accumulation will be reduced by 7,7 %, or by 42,35 car-hours, the traffic volume (Pic. 17) will increase by 7,6 trains, and this will cause a decrease in the section speed (Pic. 3 (2.3)) by 2,5 km/h, i.e., will increase the time spent by trains on the section by 0,19 hours. Thus, the reduction in wagon-hours for accumulation of wagons for trains (by 42,35 car-hours) exceeds the increase in the time spent by wagons in motion by 9,5 car-hours. This means that in this section it is advisable to increase the allowable deviations from the established train length by ± 3 wagons. If the use of the capacity has reached a high level, it is advisable to form the trains that will be at the same time full in length and weight, so as not to cause a further increase in the volume of train traffic.

When forming trains with loaded wagons, the entire car flow intended for a given destination is involved in the accumulation process. The peculiarity of formation of trains with empty wagons is their withdrawal in the process of accumulation for loading at the station and adjacent areas. Thus, cargo stations, as a rule, send fewer empty wagons than they unload, and technical ones – less than they receive. At cargo stations, the parameter of accumulation of empty wagons c_e for a single destination was recommended to be equal to 7. However, the value of c_e is affected by the volume of cargo operations at the station. The daily empty wagon



Pic. 17. Influence of permissible deviations from the established length of trains $\pm \Delta$ on the number of accumulated trains [compiled by the author].

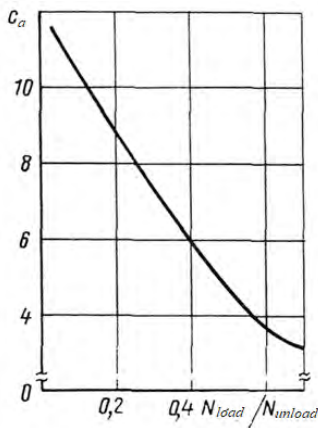


Pic. 18. Change in speed at section depending on the volume of cargo trains traffic [compiled by the author].

flow N_{emp} is the difference between the volumes of unloading and loading of a certain type of wagons. Therefore, a daily wagon flow, for example, of 50 wagons can be obtained by unloading 50 wagons, as well as by unloading 500 and loading 450 wagons. Accumulation costs in both cases $c_e m_e = 7 \cdot 50 = 350$ wagon-hours. However, in the first case, the daily cost of accumulation actually amounts to $c_e m_e = N_{emp} t_H = 50 \cdot 12 = 600$ wagon-hours, and in the second case, it is possible, by concentrating the supply after unloading groups of wagons or entire groups, to accelerate the accumulation process in some cases to a minimum – $t_H = 1,2$ hours, and then the cost of accumulation will be several times less than in the first case, i.e. $N_{emp} t_H = 50 \cdot 1,2 = 60$ wagon-hours.

In accordance with the necessary condition for routing, with the value of $\sum T_{ek} + \sum T_{ek}^{st} + t_{assign} = 6$ of the reduced wagon-hour/wagon, in the first case it is inappropriate to route an empty car flow, since $50 \cdot 6 < 600$, in the second case it is advisable since $50 \cdot 6 > 60$. The previously existing method for estimating the expenditures of accumulation did not consider these features of formation of an empty wagon flow. Therefore,





Pic. 19. Dependence of the parameter of accumulation of empty wagons c_a for train formation on the volume of the cargo operation [compiled by the author].

in both considered cases, it was impractical to form empty routes $(50 \cdot 6) < 350$. Consequently, the accumulation time with empty wagons depends not only on the amount of daily wagon flow, but also on the volume of cargo operations at stations. Based on studies of the features of the process of accumulation of empty wagons for train formation, an accumulation formula was obtained:

$$c_a = \frac{(N_{unload} - N_{load})^2 t_a}{N_{unload} m_a} + 0,76e^{1,338 \left(1 + \frac{N_{load}}{N}\right)}.$$

To facilitate its practical application, Pic. 19 shows a graphical dependence of the values of the accumulation parameter for trains with empty wagons on the ratio of the volume of the cargo operations at the stations.

Redistribution of Sorting Operations

If there is a dispatcher for organisation of wagon flows and if the intensity of supply of trains does not match the possibility of their processing, it will be possible to temporarily redistribute sorting operations between technical stations. Moreover, this discrepancy can arise due to a change both in the intensity of supply of trains to the station and in processing capacity. The latter may be caused by a change in the number of sorting tracks in operation, untimely removal of trains from the station, repair works on the hump, etc. The need to redistribute marshalling work arises when drawing up and adjusting the plan for formation of trains, shift-daily planning of train work, repair and construction works at stations and hauls. The methods for redistributing wagon flows for these tasks are the same. Let's consider them using an

example of management of the load of technical stations during the operational planning of train operations. It should be noted right away that the proposed method of reducing the volume of wagon processing at one of the stations does not cause its increase by the same amount at other stations. As a rule, this is accompanied by a decrease in the total volume of wagon processing operations.

Sorting work is redistributed due to allocation of streams of wagon flows to additional longer-distance destinations than provided for by the formation plan, or redistribution of wagons between train destinations. The formation of additional longer-distance train assignments is advisable both with an increase in wagon traffic (N), which ensures that the savings from trains in transit without processing at passed technical stations (T_{ek}) exceed the costs of accumulating wagons for train formation (cm), and with an increase in T_{ek} due to the increased volume of processing and reducing the cost of accumulation of wagons for trains with a condensed arrival of wagons. Changes in the power of streams of wagon flows or the norms of the formation plan are sufficient grounds for allocating additional destination assignments when $N \cdot T_{ek} \geq cm$.

The change in the load of marshalling yards due to redistribution of wagons between train destinations occurs since the streams of wagon flows allocated to independent destinations often significantly exceed the minimum value sufficient for this. At the same time, the shorter streams adjacent to them lack an insignificant number of wagons for the expediency of allocation to separate destinations. Therefore, they are combined with even shorter streams, and the wagon flows are additionally processed at adjacent technical stations. If it is necessary to reduce the load of adjacent technical stations, the transit capacity of trains can be increased by redistributing wagons between adjacent streams of wagon flows due to some downscaling of more distant destinations to replenish short streams. In general, the expediency of separating into separate destinations streams of wagon flows, replenished due to a more distant stream that meets condition of sufficiency, is determined by the inequality:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l N_i T_{ekj} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l N_i^{lack} T_{ekj} > \left[(k-1) + \frac{N_S - \sum_{i=1}^n N_i^{lack}}{N_S} \right] cm, \quad (5)$$

where N_s – the stream of the wagon flow that satisfies the sufficient condition;

N_i – the volume of the stream i replenished by the wagons of destination N_s ;

T_{ekj} – resulting or eliminated reduced saving of wagon-hours when wagon flow i transit the station without being processed;

N_i^{lack} – lack of wagons in stream i to meet the sufficient condition;

k – the number of additional train assignments.

For replenishment, streams of wagon flows can be used, initially meeting the sufficient condition, but in which the excess of wagons is less than the shortage in the adjacent stream. This is explained by the fact that the decrease in the far stream of the wagon flow N_1 to replenish the nearer stream for N_2^{lack} in a sufficient condition for profitability of allocating N_1 :

$$(N_1 - N_2^{\text{lack}})T_{ek}^s \geq \left(\frac{N_1 - N_2^{\text{lack}}}{N_1} \right) cm$$

equally affects the change in the values of the right and left parts of the inequalities, without changing their ratio.

The sequence of calculations when redistributing sorting operations between technical stations:

1. Those streams of wagon flows are identified that satisfy the sufficient condition and that are allocated to the transit destinations of trains through the station in question.

2. Those streams of wagon flows are identified that satisfy the necessary condition, and which, after replenishment, will be able to pass through the station without processing.

3. From the jets that satisfy the necessary condition, such adjacent streams are distinguished, with which the more distant streams satisfy the sufficient condition.

4. For streams of wagon flows allocated according to step 3, the missing wagons are found to fulfil the sufficient condition.

5. The streams identified at step 4, replenished with the missing number of wagons, are checked for fulfilment of the sufficient condition (5).

Advance modelling of the wagon accumulation process is used as information support for operational redistribution of sorting operations. The rational redistribution of sorting operations contributes to creation of optimal conditions for functioning of sections and stations and increases the transit capacity of wagon flows. It is possible to redistribute the sorting operations between stations in the

considered way both when calculating and adjusting the formation plan, and during operational planning of train operations, when difficulties have already arisen or are predicted with processing of wagons at some stations. The time over which sorting operations are reallocated depends on the likely duration of the foreseeable disruption.

CONCLUSIONS

Train formation planning is a key task of operational management of the transportation process. Therefore, replacement of the passive, uncontrolled process of accumulation of wagons for train formation by the dispatching control of train formation makes it possible to eliminate the existing uncertainty and spontaneity in the operational work of railways.

The operational management of train formation allows significantly expanding the list of tasks solved by the train formation plan. In addition to setting the destinations of trains being formed, which is periodically inefficient, organisation of wagon flows is quickly adapted to the real operational situation, the time for complete assembling of trains is regulated in advance in accordance with the provision of trains with locomotives and the «threads» of the train schedule. Initial information is provided to optimise the work of train locomotives; saturation of sections with trains is controlled; the maintenance of wagons at stations is also endured.

The characteristics of optimal conditions for operation of sections and stations are determined. Forecasting the mode of operation of sections and stations makes it possible to create the most effective conditions for train and marshalling operations using train management.

To control the train formation, the measures of dispatching actions are provided, which make it possible to influence and determine the efficiency of the transportation process.

REFERENCES

1. Levin, D. Yu. Logistics of railway transportation process. *Transport Rossiiskoi Federatsii*, 2021, Iss. 1–2 (92–93), pp. 21–27. [Electronic resource, paid access]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46108214>.
2. Kobzev, S. A. A tool to improve efficiency [Instrument povysheniya effektivnosti]. *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 5, pp. 4–7. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841041>. Last accessed 19.01.2022.
3. Shilo, A. N. On the main results of description of the business process «transport and logistics activities» [Ob osnovnykh rezultatakh opisaniya biznes-protsessa



«transportno-logisticheskaya deyatel'nost'». *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 5, pp. 8–15. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841042>. Last accessed 19.01.2022.

4. Rakhimzhanov, D. M. Building a cross-cutting process of transportation activity [*Vystraivaya skvoznoi protsess perevozochnoi deyatel'nosti*]. *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 5, pp. 16–19. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42841043>. Last accessed 19.01.2022.

5. Levin, D. Yu. Organization of car flows on railways: Monograph [*Organizatsiya vagonopotokov na zheleznykh dorogakh: Monografiya*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2016, 443 p. [Electronic resource]: <https://umcздt.ru/books/1196/39298/>. Last accessed 19.01.2022.

6. Shapkin, I. N., Levin, D. Yu. Optimal control of train formation in railway transport [*Optimalnoe upravlenie poezdoobrazovaniem na zheleznodorozhnom transporte*]. *Fedor Petrovich Kochnev – an outstanding organizer of transport education and science in Russia: Proceedings of the international scientific and practical conference, Moscow, April 22–23, 2021*. Ch. ed. A. F. Borodin, comp. R. A. Efimov. Moscow, Russian University of Transport, 2021, pp. 175–191. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46552761>. Last accessed 19.01.2022.

7. Levin, D. Yu. Ensuring the threads of the train traffic schedule [*Obespechenie nitok grafika dvizheniya poezdami*]. *Zheleznodorozhny transport*, 2020, Iss. 9, pp. 14–17. [Electronic resource, paid access]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43873900>. Last accessed 19.01.2022.

8. Levin, D. Yu. History of technology. The history of development of the system for managing the transportation process in railway transport: Study guide [*Istoriya tekhniki. Istoriya razvitiya sistemy upravleniya perevozhnym protsessom na zheleznodorozhnom transporte: Uch. posobie*]. Moscow, Training-methodological center for education on railway transport, 2014, 468 p. ISBN 978-5-89035-755-7. (Additional electronic resource: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27908703>).

9. Xue, Feng; Xiaochen, Ma; Hu, Zuoan. Building a Railway Logistics Center Based on Freight Stations and Marshalling Yards. International Conference of Logistics Engineering and Management, September 2014. [Electronic resource]: https://www.researchgate.net/profile/Feng-Xue-11/publication/301430092_Building_a_Railway_Logistics_Center_Based_on_Freight_Stations_and_Marshalling_Yards/links/5ffdlcc2299bf140888c85da/Building-a-Railway-Logistics-Center-Based-on-Freight-Stations-and-Marshalling-Yards.pdf. Last accessed 19.01.2022. DOI: 10.1061/9780784413753.179.

10. Wenliang, Zhou; Xia, Yang; Jin, Qin; Lianbo, Deng. Optimizing the Long-Term Operating Plan of Railway Marshalling Station for Capacity Utilization Analysis. *The Scientific World Journal*, Vol. 2014, Article ID 251315, 13 p. [Electronic resource]: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/251315/>. Last accessed 19.01.2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/251315>.

11. Khoshniyat, Fahimeh. Simulation of Planning Strategies for Track Allocation at Marshalling Yards. Masterarbeit, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2012, 64 p. [Electronic resource]: https://www.kth.se/polopoly_fs/1.491060.1550158510!/X12_032_report.pdf. Last accessed 19.01.2022.

12. Levin D. Yu. Dispatch centers and technology for managing the transportation process [*Dispatcherskie tsentry i tekhnologiya upravleniya perevozhnym protsessom*]. Moscow, Marshrut publ., 2005, 759 p. [Electronic resource]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002840452>. Last accessed 19.01.2022.

13. Levin, D. Yu. The theory of operational management of the transportation process [*Teoriya operativnogo upravleniya perevozhnym protsessom*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2008, 625 p. [Electronic resource]: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004353311>. Доступ 19.01.2022.

14. Ugryumov, A. K., Groshev, G. M., Kudryavtsev, V. A., Platonov, G. A. Operative traffic control in railway transport [*Operativnoe upravlenie dvizheniem na zheleznodorozhnom transporte*]. Moscow, Transport publ., 1983, 239 p.

15. Levin, D. Yu. Dispatching of Car Flows: «Management by Objectives». *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 1, pp. 136–150. [Electronic resource]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1412>. Last accessed 19.01.2022.

16. Khizhnyak, A. V. Forecast for the station [*Prognoz dlya stantsii*]. *Gudok* No. 496 (26995) of August 11, 2020. [Electronic resource]: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1531032&archive=2020.08.11>. Last accessed 19.01.2022.

17. Levin, D. Yu. Technological modernization of the transportation management system in railway transport. Diss. dok. (tekhn.) nauk [*Tekhnologicheskaya modernizatsiya sistemy upravleniya perevozkami na zheleznodorozhnom transporte. D.Sc. (Eng) thesis*]. Moscow, 2015.

18. Vasiliev, I. I. Graphs and calculations for organization of railway transportation [*Grafiki i raschety po organizatsii zheleznodorozhnykh perevozk*]. Moscow, Zheldorizdat publ., 1941, 576 p.

19. Levin, D. Yu. Operation of railways in market conditions [*Ekspluatatsiya zheleznykh dorog v rynochnykh usloviyakh*]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2019, Iss. 10, pp. 73–80. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41195841>. Last accessed 19.01.2022.

20. Levin, D. Yu. Management of the technology of the transportation process in railway transport [*Upravlenie tekhnologii perevozhnogo protsessa na zheleznodorozhnom transporte*]. Moscow, Infra-M publ., 2017, 286 p.

21. Levin, D. Yu. Transportation needs and opportunities for railways [*Potrebnosti v perevozkakh i vozmozhnosti zheleznykh dorog*]. Moscow, Infra-M publ., 2017, 245 p.

22. Levin, D. Yu. Operational work of railways: axioms and patterns [*Ekspluatatsionnaya rabota zheleznykh dorog: aksiomy i zakonornosti*]. Moscow, Infra-M publ., 2017, 330 p.

23. Levin, D. Yu. Organization of local work [*Organizatsiya mestnoi raboty*]. Moscow, TMC for education on railway transport, 2013, 612 p. ●

Information about the author:

Levin, Dmitry Yu., D.Sc. (Eng), Chief expert of JSC NIILAS, Moscow, Russia, levindu@yandex.ru.

Article received 21.09.2020, approved after reviewing 25.01.2021, updated 19.01.2022, accepted 24.01.2021.

Editorial note: The review article by professor, D.Sc. (Eng) Dmitry Levin is the author's generalisation presenting also a new understanding of the earlier works of the scientist. Given the author's expertise in developing the topic of railway operation, including that reflected in numerous publications, the work, in our opinion, is of great interest and practical value, especially that with the rapidly growing volumes of railway transportation, the problem of managing train formation is more than relevant.



Mathematical Methods for Validation of Data on Reliability, Operation and Maintenance of Locomotives



Igor I. LAKIN



Viktor A. MELNIKOV

**Igor I. Lakin¹,
Viktor A. Melnikov²**

¹ JSC Transmashholding (TMH), Moscow, Russia.

² LLC Clover Group, Moscow, Russia.

✉ ¹ i.lakin@tmholding.ru.

✉ ² Lordson@yandex.ru.

ABSTRACT

The objective of the article is to describe the method proposed by the authors and intended for validity check of initial data for managing reliability of locomotives and the entire locomotive facilities. It is shown that probabilistic-statistical methods which constitute the basis of Edward Deming's theory of enterprise variability allowing to control the quality of enterprises' products, including their reliability.

The averaged statistical data used in practices of railway transport and its locomotive economy are not homogeneous, representing what is called in popular publications «average temperature of hospital patients». The homogeneity of data is determined by their unimodality, i.e., the presence of a single process in the sample. Unsuccessful sampling leads to its bimodality and even multimodality.

The research method proposed in the article is check for unimodality of the initial data based on the consequence of the law of large numbers, according to which, with an increase in the number of data, homogeneous samples tend to one of the laws of distribution of random variable: to normal, exponential, lognormal or other known law. Therefore, and since any unimodal sample must meet

a goodness-of-fit test, the article proposes to apply Pearson's chi-square test (χ^2). The unimodality of the data is suggested to be estimated through the probability of compliance with the chosen law of distribution of a random variable considering the probability of more than 0,3 (30 %) to be sufficient.

Using the example of locomotive operation data and on-board microprocessor systems data, data are shown that cannot really be unimodal, as well as the data that require changing the sampling rules to achieve unimodality. For example, when considering the average daily runs of locomotives by series at specific home depots with participation in one type of traffic (main traffic, export, or shunting operations), their unimodality is achieved. An attempt to enlarge the data (to consider several series, several polygons, etc.) results in loss of unimodality.

The article considers the unimodality of data of MSU-TP on-board microprocessor control systems for diesel locomotives of 2TE116U series. The expected operating time for the positions of the driver's controller turned out to be multimodal data. Surprisingly, the current of the traction motors turned out to be unimodal, regardless of the driving position of the driver's controller.

Keywords: railway transport, locomotives, reliability, verification.

For citation: Lakin, I. I., Melnikov, V. A. Mathematical Methods for Validation of Data on Reliability, Operation and Maintenance of Locomotives. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2, (99), pp. 199–204. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-8>.

**The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.**

INTRODUCTION

The task of scientific organisation of production, quality control of technological processes was first solved in the late 19th–early 20th centuries by Frederick Taylor [1]. At the beginning of 20th century, the principles of product quality and cost management were scientifically and practically developed by Henry Gantt (the most famous is the «Gantt chart», although this is by no means the only one and not his main development). A qualitatively new stage in production management in the middle of 20th century is associated with the names of Walter Shewhart and Edward Deming, who introduced the obligatory application of the principle of continuous improvement (PDCA cycle) into management. Taking as a basis the thesis of constant variability of the production situation, E. Deming developed the theory of enterprise variability, making the practice of applying probabilistic-statistical methods in management mandatory [1].

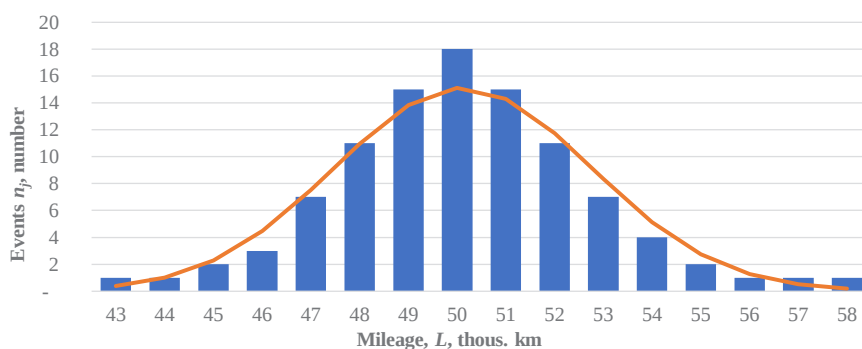
The development of the theory of E. Deming in relation to the domestic locomotive facilities in the second half of 20th century was carried out by an outstanding scientist, D.Sc., Professor Igor P. Isaev, who not only adapted the mathematical apparatus to the transport environment, but also practically implemented system in the Rybnoye locomotive depot [2]. I. P. Isaev developed a theory of application of probabilistic-statistical methods in the study of reliability of locomotives, which was developed by his students and followers [3]. Probabilistic-statistical methods have become an obligatory part of the educational process [4].

The current stage of development of the theory of reliability of locomotives is associated with development of computer technology (IT-technologies). D.Sc. (Eng) Igor K. Lakin headed the development of an automated control system (ACS) for locomotive facilities (ACST) [5] which is the basis of the control system for the locomotive divisions of JSC Russian Railways. As a development of ACST, I. K. Lakin and his students created ACS for maintenance and repair (MR) of locomotives called ACS «Network Schedule» (ACS NS) to manage MR in 85 service locomotive depots of the LocoTech group of companies [6; 7]. ACS NS encapsulates the scientific provisions of quality management, Lean Production, TQM, etc. [13–15], as a result, five Ph.D. theses and one doctoral dissertation were prepared by the developers.

Since July 2014, JSC Russian Railways has switched to a service system for MR of locomotives, in which service companies (representatives of manufacturers) receive income (revenue) not for the volume of MR performed, but for the useful mileage of locomotives (rubles/km). A reduction factor is provided if the reliability level (SLA) specified in the service agreement is not met. All newly purchased locomotives by JSC Russian Railways are supplied under a Life Cycle Contract (LCC), which establishes more stringent requirements for reliability of locomotives. Estimating maintenance costs 40 years ahead is a difficult task. The transition from the budgetary form of payment for maintenance and repair to the life cycle requires the use of probabilistic and statistical methods: it is necessary to predict the volume of maintenance and repair both within the framework of a preventive maintenance system and for over-cycle unscheduled work due to failures, the need for modernisation, etc. The role of variable management methods is increasing.

During the operation of locomotives, the work performed by them (in $t \cdot \text{km}$, $\text{kW} \cdot \text{h}$, million km, etc.) is recorded in the information systems of JSC Russian Railways [5]. At the same time, the on-board microprocessor control systems (MCS) of the locomotive, according to information from the sensors, records information about the operating modes of the equipment, and technical diagnostics are carried out [6; 7]. This information is the starting point for organisation of MR as a scheduled preventive maintenance with elements of predictive repair (taking into account the actual technical condition of the locomotives and the work performed by them).

When a locomotive enters a service locomotive depot (SLD), MR analyses the information accumulated during its operation, performs additional diagnostics using portable and stationary systems (vibration diagnostics, rim profile measurement, insulation resistance measurement, etc.). The results of a visual inspection, the driver's comments from the logbook are also used. All information is collected in an electronic diagnostic card, which is the basis for appointment of over-cycle work to eliminate failures and pre-failure states. An electronic work order is issued for each scheduled and over-cycle work, which records labour costs, materials and spare parts received from the warehouse, and in the future, it will integrate the



Pic. 1. An example of distribution of overhaul mileage, thousand km (columns – actual data, graph – theoretical distribution).

recordings on the tools and equipment used during maintenance and repair. The demurrage of a locomotive is recorded as for various operations. As a result, during the operation, and maintenance and repair of locomotives, a comprehensive database is formed throughout the entire life cycle of locomotives using paperless technology. It is important that the data are the result of operation and maintenance processes, and not the information entered manually.

Information about the life cycle of locomotives is needed not only to manage MR production processes, but also to analyse the effectiveness of organisation of operation and MR of locomotives. A modern interoperable system ACS for design, production, operation, and maintenance of locomotives generates a large amount of data (Big Data), the analysis of which is not possible without programmable analysis algorithms. But automated data processing has the risk of drawing false conclusions.

Mark Twain, in his book *Chapters of My Biography*, quoted the British Prime Minister «There are three kinds of lies: lies, damned lies and statistics». This well-known expression emphasises the presence of risks in formal mathematical processing of data. One of them is known as the «average temperature of hospital patients»: mixing dissimilar data. With an average temperature, the error is obvious. In the practice of locomotive divisions, averaged values are often used to assess the efficiency of operation, and maintenance and repair of locomotives: speed on a section, downtime for maintenance and repair and its waiting, failure rate by type of equipment, required frequency of maintenance and repair by type of equipment, etc. In this case, unimodality is not checked.

Therefore, the *objective* of the ongoing work study is to automate the process of checking statistical data for validity.

As a research *method*, verification of the distribution of the studied quantity for unimodality was chosen, which is possible due to the property of the law of large numbers [4]: with an increase in the sample, the probability of the occurrence of a particular value approaches a stable value.

RESULTS

The unimodal process takes the form of a standard distribution of a random variable: normal, exponential, lognormal, or others: unimodality can be estimated by the criterion of goodness-of-fit for testing hypotheses. Let us consider an example of the distribution of locomotives' mileage L between current repair-1 (Pic. 1 and Table 1).

Four samples were formed with the same distribution proportion, but with a different number of data $N = \{100, 1000, 10,000, 100,000\}$. The distributions have the same mathematical expectation $L_n = 50,12$ thousand km and almost the same standard deviation σ_n [4]:

$$L_n = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} L_{ni}, \quad (1)$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N_{n-1}} \sum_{i=1}^{N_n} (L_n - L_{ni})^2}, \quad (2)$$

where L_n – mathematical expectation of the sample $n \in N = \{100, 1000, 10\,000, 100\,000\}$;

L_{ni} – i -th mileage of the sample $n \in N = \{100, 1000, 10\,000, 100\,000\}$;

N_n – maximum quantity of data in the sample $n \in N$.

According to Pearson's goodness-of-fit test, the chi-square χ_n^2 is calculated for each sample $n \in N$:



Table 1

Examples of distributions of overhaul mileage [performed by the authors]

i	L_i , thous. km	Sample size actual N				Sample size theoretical N_t				
		100	1 000	10 000	100 000	$f(L_i)$	100	1 000	10 000	100 000
1	43	1	10	100	1 000	0,0040	0	4	40	395
2	44	1	10	100	1 000	0,0102	1	10	102	1 024
3	45	2	20	200	2 000	0,0230	2	23	230	2 298
4	46	3	30	300	3 000	0,0446	4	45	446	4 465
5	47	7	70	700	7 000	0,0751	8	75	751	7 513
6	48	11	110	1 100	11 000	0,1095	11	110	1 095	10 951
7	49	15	150	1 500	15 000	0,1382	14	138	1 382	13 823
8	50	18	180	1 800	18 000	0,1511	15	151	1 511	15 111
9	51	15	150	1 500	15 000	0,1431	14	143	1 431	14 308
10	52	11	110	1 100	11 000	0,1173	12	117	1 173	11 733
11	53	7	70	700	7 000	0,0833	8	83	833	8 333
12	54	4	40	400	4 000	0,0513	5	51	513	5 126
13	55	2	20	200	2 000	0,0273	3	27	273	2 731
14	56	1	10	100	1 000	0,0126	1	13	126	1 260
15	57	1	10	100	1 000	0,0050	1	5	50	503
16	58	1	10	100	1 000	0,0017	0	2	17	174
	L_n	50,12	50,12	50,12	50,12					
	σ	2,64	2,63	2,62	2,6					

Table 2

Probability of compliance with the normal law in χ^2 [performed by the authors]

	Sample size actual N			
N_n	100	1 000	10 000	100 000
χ^2	7	73	732	7 325
P_n	0,3	0	0	0

$$\chi_n^2 = \sum_{i=1}^{N_n} \frac{(L_{ni} - L_{theori})^2}{L_{theori}}, \quad (3)$$

where L_{theori} – theoretical number of hits into the range for normal distribution of a random variable, calculated by the distribution density function f_x [4] (see Table 1):

$$L_{theor} = \int_{x_{n1}}^{x_{n2}} f(x) dx, \quad (4)$$

The probability of compliance with the normal law P_n is determined from the Pearson's table. Table 2 shows the calculation results: only for $N = 100$ there is a significant probability of compliance with the normal law $P_{100} = 0,3$.

Four identical distributions have completely different probability of fitting the law: the probability of fitting is extremely sensitive to sample size. In the practice of the locomotive economy, samples will always be of different sizes and noisy even with large samples. Orientation to the minimum of them will reduce the amount of useful information. The Pearson's

criterion is effective and sensitive for strictly unimodal samples and is not suitable for encapsulation in ACS.

The considered example was checked with Kolmogorov–Smirnov criterion, according to which it is necessary to find the maximum difference between the actual L_{ni} and theoretical L_{theori} distributions:

$$\Delta_{max} = \text{Max}(f_{ai} - f_{ti}), \quad (5)$$

where $f_{ai} = N_i / N$;

$$f_{ti} = N_{ti} / N_t$$

N_i – number of actual hitting in the range i ;

N – empirical sample size;

N_{ti} – number of theoretical hitting in the range i ;

N_t – control sample size ($N_t = N$).

Next, it is necessary to calculate the indicator D , which for the normal law is:

$$D_\varphi = \Delta_{max} \cdot (N^{0,5} - 0,01 + 0,85 / N^{0,5}), \quad (6)$$

Table 3 shows the results of the calculation: with an increase in the sample, the probability of compliance decreases more slowly than according to the Pearson's goodness-of-fit criterion: with



Pic. 2. Distribution of operating time of diesel locomotive's DGUs by positions [performed by the authors].

Table 3

Probability of compliance with the normal law according to D_ϕ [performed by the authors]

N	100	1000	10000	100000
$\Delta_{\max}$	0,029	0,029	0,029	0,029
D	0,2910	0,9139	2,8885	9,1341
P_n	0,9999	0,3791	0,00000018	0

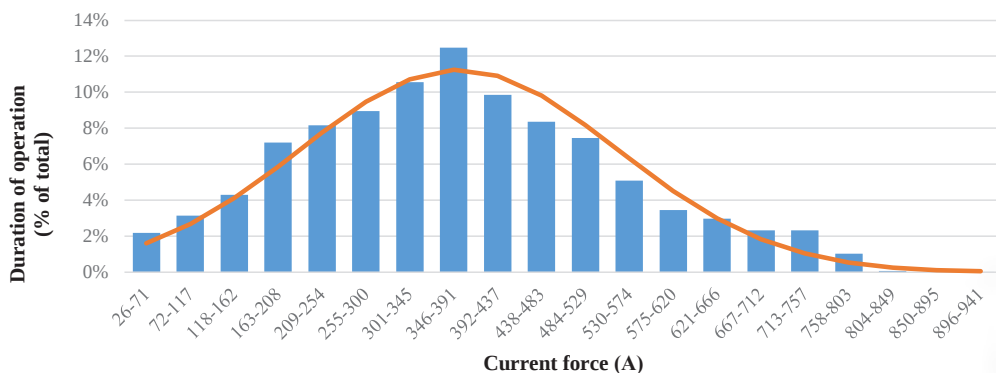
samples less than 1000, the unimodality check by D_ϕ is effective.

Checking the unimodality of data is implemented by the authors in their practices. Let us give examples of real data.

One of the important indicators of operation of locomotives is the average average speed when it is running through the section. Analysis of data from onboard microprocessor control systems (MCS) showed the presence of at least two peaks. For example, diesel locomotives of 2TE116U series on Oktyabrskaya railway showed there are three peaks – in the ranges of 18–25 km/h, 34–41 km/h and 50–57 km/h, on Privolzhskaya – two peaks: 42–49 km/h and 58–65 km/h, on Sverdlovskaya railway: 26–31 km/h, 68–73 km/h.

Interesting data were obtained by the authors on operation of the diesel generator set of diesel locomotives of 2TE116U series for 3164 days of operation (120 sections of locomotives were considered at three network segments). As expected, distribution of operating time by positions turned out to be multimodal (Pic. 2), but the current of traction motors turned out to be unimodal (Pic. 3).

In conclusion, it should be noted that the analysis of publications world-wide shows that in statistical materials on railway transport, insufficient attention is paid to checking unimodality of data, that affects the reliability [8–12]. However, in general, a few publications were devoted to the problem of checking data validity (e.g., [13–15]).



Pic. 3. TED current distribution for diesel locomotives of 2TE116U series [performed by the authors].

CONCLUSIONS

1. Automation of the process of managing the life cycle of locomotives in general and of their maintenance and repair (MR) in particular makes it possible to encapsulate mathematical control methods, including probabilistic-statistical ones, in software according to Edward Deming's theory of variability.

2. In probabilistic-statistical processing of data on operation of locomotives and their maintenance and repair, before making control decisions, it is necessary to check data for unimodality as belonging to a single process. In a bimodal or multimodal process, data should be divided into groups, thereby achieving unimodality.

3. It is proposed to check for unimodality in automated control systems (ACS) by checking the compliance of the hypothesis of unimodal distribution as of the presence of a significant probability that distribution of the considered parameter corresponds to one of the distribution laws of a random variable. Kolmogorov–Smirnov agreement criterion is preferable.

4. A comprehensive analysis of data on operation and maintenance and repair of parameters of diesel generator sets and traction motors of locomotives showed that data of one series of locomotives of one home depot with participation in one type of traffic (main traffic, export or shunting operations) have unimodality: local operating conditions, weight norms, profile and speed mode lead to loss of unimodality when trying to generalise data.

5. The revealed unimodality of the current of traction electric drives (TED) of diesel locomotives in traction mode and according to the totality of work at all traction positions of the diesel generator set makes it possible to take this fact into account when designing TED.

REFERENCES

1. Lakin, I. K., Suprun, V. N. The history of creation of quality management systems (QMS) and the features of their implementation in railway transport [*Istoriya sozdaniya sistem menedzhmenta kachestva (SMK) i osobennosti ikh vnedreniya na zheleznodorozhnom transporte*]. Krasnoyarsk, KF IrGUPS, 2006, 91 p.
2. Strelnikov, V. T., Isaev, I. P. Integrated management of quality of maintenance and repair of electric locomotives

[*Kompleksnoe upravlenie kachestvom tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta elektrovozov*]. Moscow, Transport publ., 1980, 207 p.

3. Gorsky, A. V., Vorobyov, A. A. Reliability of electric rolling stock [*Nadezhnost elektropodvizhnogo sostava*]. Moscow, Marshrut publ., 2005, 303 p.

4. Ventzel, E. S., Ovcharov, L. A. Probability theory and its engineering applications [*Teoriya veroyatnostei i ee inzhenernie prilozheniya*]. Moscow, Akademiya publ., 2000, 464 p.

5. Lakin, I. K., Smirnov, Yu. V., Timchenko, A. Yu. [et al]. Automated control system for locomotive facilities. ACST [*Avtomatizirovannaya Sistema upravleniya lokomotivnym khozyaistvom. ASUT*]. Moscow, Industry center for introduction of new equipment and technologies, 2002, 516 p.

6. Lipa, K. V., Pustovoi, V. N., Lyangasov, S. L., Lakin, I. K., Abolmasov, A. A., Lakin, I. I., Melnikov, V. A. [et al]. Monitoring of technical condition and modes operation of locomotives. Theory and practice [*Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya i rezhimov ekspluatatsii lokomotivov. Teoriya i praktika*]. Moscow, LocoTech publ., 2015, 212 p.

7. Lakin, I. K., Pustovoi, V. N., Abolmasov, A. A. Automated control system for operational life cycle of locomotives [*Avtomatizirovannaya Sistema upravleniya ekspluatatsionnym zhiznennym tsiklom lokomotivov*]. Proceedings of All-Russian scientific and practical conference with international participation «Operation and maintenance of electronic and microprocessor equipment of traction rolling stock». Krasnoyarsk, DCV of Krasnoyarsk railway, 2020, pp. 223–242.

8. Bonadero, A. Statistical methods and dynamic railway. *Ingegneria Ferroviaria*, December 2011, Vol. 66 (12), pp. 1087–1107.

9. Ghosh, Saptarshi; Banerjee, Avishek; Sharma, Naveen; Ganguly, Niloy; Bhattacharya, Saurav; Mukherjee, Animesh. Statistical Analysis of the Indian Railway Network: a Complex Network Approach. *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement*, 2011, Vol. 2, pp. 123–137. DOI: 10.5506/APhysPolBSupp.4.123.

10. Railway Statistics. Indian Railways. 108 p. [Electronic resource]: <http://122.252.243.98/ZRT11/statistics.pdf>. Last accessed 24.03.2022.

11. Reference Manual in Rail transport statistics. Eurostat. January 2021. [Electronic resource]: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/29567/3217334/Reference_manual_for_rail_transport_statistics%E2%80%9393version_10.4_%282021_edition%29.pdf/b152c85c-11d6-cff4-a1a8-d34bd4cac839?t=1610708187248. Last accessed 24.03.2022.

12. Rail transportation occurrences in 2020. Transportation Safety Board of Canada. [Electronic resource]: <https://www.bst-tsb.gc.ca/eng/stats/rail/2020/sser-sro-2020.html>. Last accessed 24.03.2022.

13. Yi, Mike. A Complete Guide to Histograms. Chartio. [Electronic resource]: <https://chartio.com/learn/charts/histogram-complete-guide/>. Last accessed 24.03.2022.

14. Unimodal Distribution: Overview. Statistics How To. [Electronic resource]: <https://www.statisticshowto.com/unimodal-distribution-2/>. Last accessed 24.03.2022.

15. What Is Statistical Process Control? Infinity QS. [Electronic resource]: <https://www.infinityqs.com/resources/what-is-spc>. Last accessed 24.03.2022. ●

Information about the authors:

Lakin, Igor I., Ph.D. (Eng), Head of the Direction for Technical Management of JSC Transmashholding (TMH), Moscow, Russia, i.lakin@tmholding.ru.

Melnikov, Viktor A., specialist, Senior Expert of LLC Clover Group, Moscow, Russia, melnikov.viktor@corp.itclover.ru.

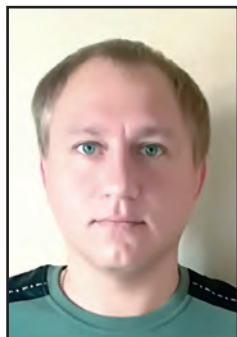
Article received 01.03.2022, approved 24.03.2022, accepted 31.03.2022.



Issues of Integration of Trans-Korean and Continental Railways



Taek Young LEE



Roman G. KOROL

Taek Young Lee¹, Roman G. Korol²

^{1,2} Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia.

✉ ² kingkhv27@mail.ru.

ABSTRACT

Since the 1990s, the Government of the Republic of Korea has pursued a systematic policy of connecting the railways of the Korean Peninsula to organise a Trans-Korean railway with access to the mainland railway network but has not achieved the implementation of this project. Differences in economic systems and infrastructure of two countries are deterrents to organisation of the Trans-Korean railway.

The paper considers main historical periods, reflecting the stages of reunification of the Trans-Korean railway with the possibility of organising a transcontinental transportation. For the Republic of Korea, the emergence of a Trans-Korean and continental railway transportation will allow reorienting container flow from sea and road transport to the railway in the Asia-Europe direction, which will significantly speed up and make the delivery of goods more stable. The predicted volume of container flow between Korea and Eurasia can reach 300,000 containers per year by 2040. The objective of this

study is to analyse the state, problems and trends in organisation of the Trans-Korean railway with an access in future to the transport network of the Asia-Pacific region. In this study, methods of analysis, synthesis and comparison are used.

Possible solutions for integration of Trans-Korean and continental railways are presented in five aspects. Long-term policies and plans drawn up based on consultations between the leadership of two Korean countries need support through revealing interests of international organisations and neighbouring countries. The strengthening and development of the railway infrastructure of the DPRK is possible with the help of joint projects with the Republic of Korea and neighbouring countries. The creation of a transcontinental railway and the development of technology for accelerated customs clearance of containers will allow the countries of the Korean Peninsula to reach a new level of political and economic cooperation.

Keywords: Trans-Korean railway, continental railway, transport infrastructure of the DPRK and the Republic of Korea.

For citation: Lee, T. Y., Korol, R. G. Issues of Integration of Trans-Korean and Continental Railways. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 205–214. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-9>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

INTRODUCTION

The Trans-Korean Railway on the Korean Peninsula has a long history of development, including the period of colonialism. The road was necessary for organisation of passenger transportation to Russia or China. Railway transportation was interrupted 75 years ago due to hostilities, the result of the war was the division of the country into the Republic of Korea and the DPRK. Since the 1990s, the Republic of Korea has held various strategic sessions for the connection to the mainland railway through the Trans-Korean railway. As of today, this project has not been implemented, in addition to various technical and infrastructural problems, the political situation is the most important part of resumption of the Trans-Korean railway transportation. In July 2021, President of the Republic of Korea Moon Jae-in and Chairman of the State Council of the DPRK Kim Jong-un agreed to resume the direct line of communication between Seoul and Pyongyang, and also agreed to help restore trust and strengthen bilateral relations. If the political situation on the Korean peninsula stabilizes and relations between two countries continue to improve, the unification of Korean railways can happen at any time, and integration with the mainland railway network is possible, so the preparation of infrastructure and the development of technology is a mandatory issue for the development of the Trans-Korean railway [1].

Thus, the *objective* of this study is to analyze the state, problems and development trends of the Trans-Korean railway with a promising entry into the transport network of the Asia-Pacific region.

RESULTS

Analysis of Political Decisions on the Issue of Reunification of the Trans-Korean Railway and Organization of Transcontinental Railway Transportation

The 1990s are considered the beginning of integration of the Trans-Korean and continental railways. Various discussions were held about connecting the Trans-Korean railway in the 1970s and 80s, but since the 1990s, with participation of Russia and the international community, discussions have begun on implementation of the continental railway project by connecting with the Trans-Korean railway.

The years 2000–2008 of the administration of Kim Dae-jung and Roh Moo-hyun are associated with progress in resolving the issue of unification of the Trans-Korean railway and integration with the continental railway. Due to the active cooperation between the governments of the Republic of Korea and the DPRK, cooperation between two countries was achieved in various transport areas, including road, sea, air and Trans-Korean railway transportation.

The Kim Dae-jung administration (1998–2003) interacted with the DPRK leadership on various issues of unification policy and tried not to interrupt the dialogue. On June 15, 2000, President of the Republic of Korea Kim Dae-jung and Chairman of the State Council of the DPRK Kim Jong-il presented a joint declaration at the first inter-Korean summit held in Pyongyang. There was no direct mention of development of the transport sector, but an agreement was reached on economic cooperation between two parties [4]. This allowed further negotiations to continue.

During the administrations of Kim Dae-jung and Roh Moo-hyun, there were 13 inter-Korean summits and subsequent meetings of the working groups of representatives of Republic of Korea and the DPRK, 10 negotiations in the military sector, 11 meetings on economic cooperation, 5 working meetings on development of railway and roads, 13 meetings were held on organisation of railway and road transportations.

2008–2017 years. This is the period of the administrations of Lee Myung-bak and Park Geun-hye, which can be characterized as a period of «stagnation» in the issue of connecting the Trans-Korean railways, the reasons were political differences and military conditions, so the discussion of inter-Korean relations was suspended.

In 2013, in a keynote speech at the Eurasia International Conference, Park Geun-hye's new administration officially launched the «Eurasian Initiative» aimed at bringing peace to the Korean Peninsula by uniting Eurasia as a single continent. Attention was focused on the need to create energy networks (Pic. 1), gas and oil pipelines, through the implementation of the Silk Road Express, which runs through Busan–DPRK–Russia–China–Central Asia–Europe.

2017–present. In 2017, the Moon Jae-in administration upon its formation proposed the «New Economic Map of the Korean Peninsula» and «New Northern Policy» projects based on cooperation between the countries of the Korean

Table 1

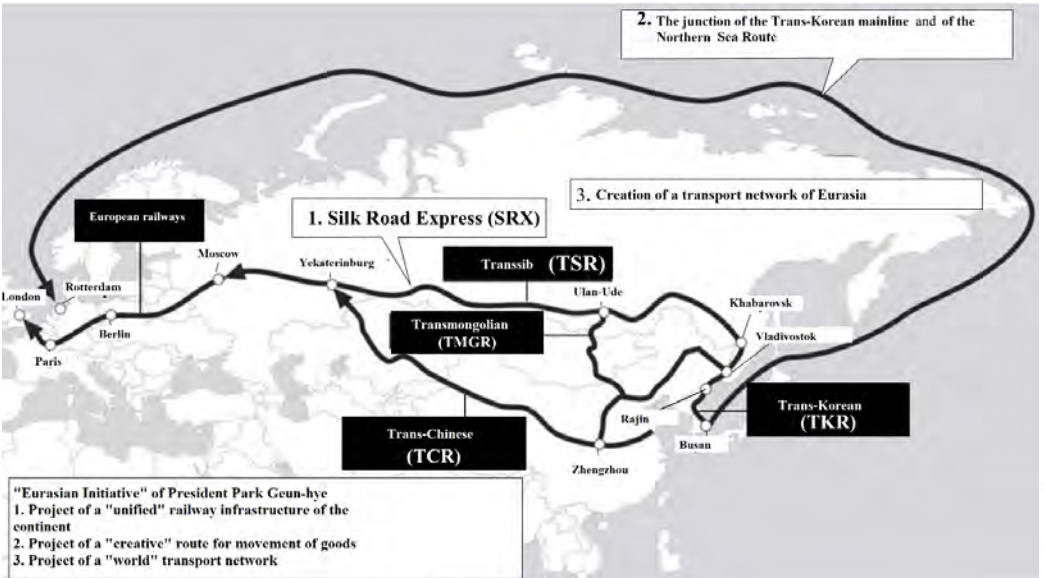
The main stages of organisation of Trans-Korean and continental railway transportation in the 1990s

Year	Participating countries	Main content
1991	Republic of Korea and Russia	A protocol on cooperation in the field of international multimodal sea and railway transportation between Republic of Korea and Russia was signed [2]
1992	Republic of Korea and DPRK	Adoption of agreements and understandings attached to them on reconciliation, immunity, exchange and cooperation. Junction of Gyeonggi Railway Line and Road between Munsan and Kaesong
1996	ESCAP Conference (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific)	Efforts are aimed at rebuilding railways in Republic of Korea and DPRK to create a northern route for the Trans-Asian Railway [3]

Table 2

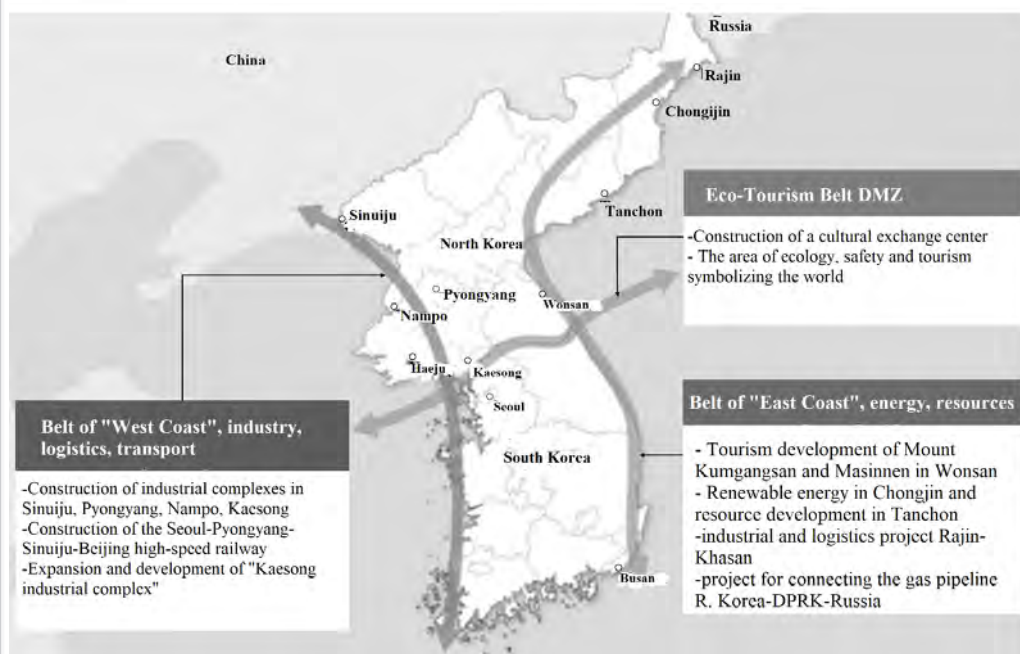
The main stages of organisation of Trans-Korean and continental railway transportation in 2000–2008 [2]

Year	Participating countries	Main content
2000	Republic of Korea and DPRK	Within the framework of the Inter-Korean Summit and the Joint Declaration of the Republic of Korea and the DPRK, they agreed to intensify exchanges and cooperation in the economic sphere between two parties The result of the First and Second Inter-Korean Ministerial Meetings was the signing of the Agreement on Railway and Road Connection of the Gyeonggi Line
2001	Republic of Korea and Russia	Agreed on the Iron Silk Road project, which connects Europe and Asia through the Korean Peninsula
2002	Republic of Korea and DPRK	Formalization of the project implementation along the Donghae line Start of construction of the Donghae railway line
2003	Republic of Korea and Russia	Agreement on joint research between Republic of Korea, DPRK and Russia
2004	Republic of Korea, DPRK and Russia	A trilateral meeting of railway experts of Republic of Korea, DPRK and Russia
2005	Republic of Korea and DPRK	Restoration work completed on a single-track railway
2007		Test train operation between Chongjin and Kumsangsan and organisation of cargo traffic between Republic of Korea and the DPRK on the Gyeonggi railway line Joint declaration for cargo railway transportation between Munsan and Bongdong. Discussing reconstruction of the Kaesong-Sinuiju railway and the Kaesong-Pyongyang expressway for shared use



Pic. 1. Project «Eurasian Initiative» [5].





Pic. 2. Project «New Economic Map of the Korean Peninsula» [6].

Peninsula and the northern regions in the field of transport and logistics. The New Northern Policy aims to strengthen cooperation projects that take into account the industrial and economic capacity of 14 countries in Northeast Asia, including Russia, Mongolia, China (three northeastern provinces) and the CIS countries.

The «New Economic Map of the Korean Peninsula» (Pic. 2) represents economic integration with the northern regions of the peninsula, through formation of three belts – on the east coast, west coast and the demilitarized zone [7]. The «New Economic Initiative of the Korean Peninsula» aims to provide new growth drivers for the Korean Peninsula and joint economic development with the northern regions through creation of three major economic belts. The presence of a railway connection between Republic of Korea and the DPRK makes it possible to consider the development of Eurasian cooperation, which extends beyond the Korean Peninsula to Russia and Europe.

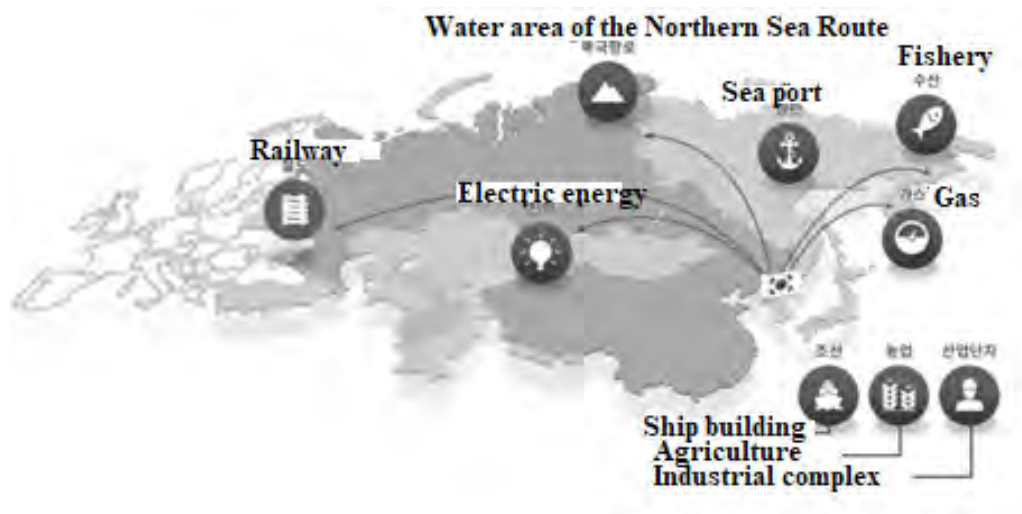
At the Eastern Economic Forum, held in Vladivostok in September 2017, President Moon Jae-in presented the 9 Bridges strategy, which includes nine areas (Pic. 3) of cooperation between Korea and Russia [9].

In January 2018, inter-Korean summit was held, which restored the mood of reconciliation on the Korean peninsula and made it possible to start a dialogue between two countries.

As inter-Korean relations improved, it became possible for Republic of Korea to join the OSJD. In addition, President of Republic of Korea Moon Jae-in proposed the creation of the «East Asian Railway Community» – an organisation of cooperation between countries, including the United States, with participation of six countries of Northeast Asia (Republic of Korea, DPRK, China, Russia, Mongolia and Japan). The East Asian Railway Community might be an international council that implements investment projects for development of infrastructure and economic cooperation in the railway transport of East Asia [7].

As a result of the inter-Korean summit held in September 2018, with the support of the United States, joint studies of the Trans-Korean railway in the DPRK section were carried out, and the foundation laying ceremony of the Gyeonggi line and the Donghae line was held. The Kaesong–Sinuiju section of the Gyeonggi Line (411,3 km) was surveyed in a day, and the Kungangsan–Dumangan section of the Donghae Line (783,4 km) was surveyed for 10 days.

In December 2007, a field study was carried out on the Kaesong–Sinuiju section of the Gyeonggi line, and over the past 10 years there have been infrastructural changes that will require additional investment to upgrade the Gyeonggi line. The Kungangsan–Dumangan section on the Donghae line is of great transport



Pic. 3. Strategy of «9 bridges» [8].

and logistics importance, and for the first time, after the division, railway transportation is carried out through it.

Analysis of the State of Transport Infrastructure

The DPRK geographically borders the Republic of Korea in the south, Russia and China in the north, so the connection of the Trans-Korean railway with a continental railway (Trans-Siberian Railway, Trans-China Railway and Manchurian Railway) depends on the state and capacity of the transport infrastructure of the DPRK. Unlike the Republic of Korea, where cargo transportation is concentrated on road transport, in the DPRK, cargo transportation is carried out by railway, and road transport is auxiliary. The development of the transport system of the DPRK was

influenced, namely, by natural conditions with many mountainous areas [7].

The length of roads in the DPRK is 26196 km [9]. The topography of the roads, due to the mountainous terrain, makes it difficult for vehicles to travel faster than 50 km/h, except on some highways. The road infrastructure of the DPRK is an additional tool for organising railway transportation, road transportation is mainly carried out over short distances (within 150–200 km) and is focused on interregional transportation. Road transport delivers goods between railway stations and regions where there is no railway, and also provides tourist and military transportation [9].

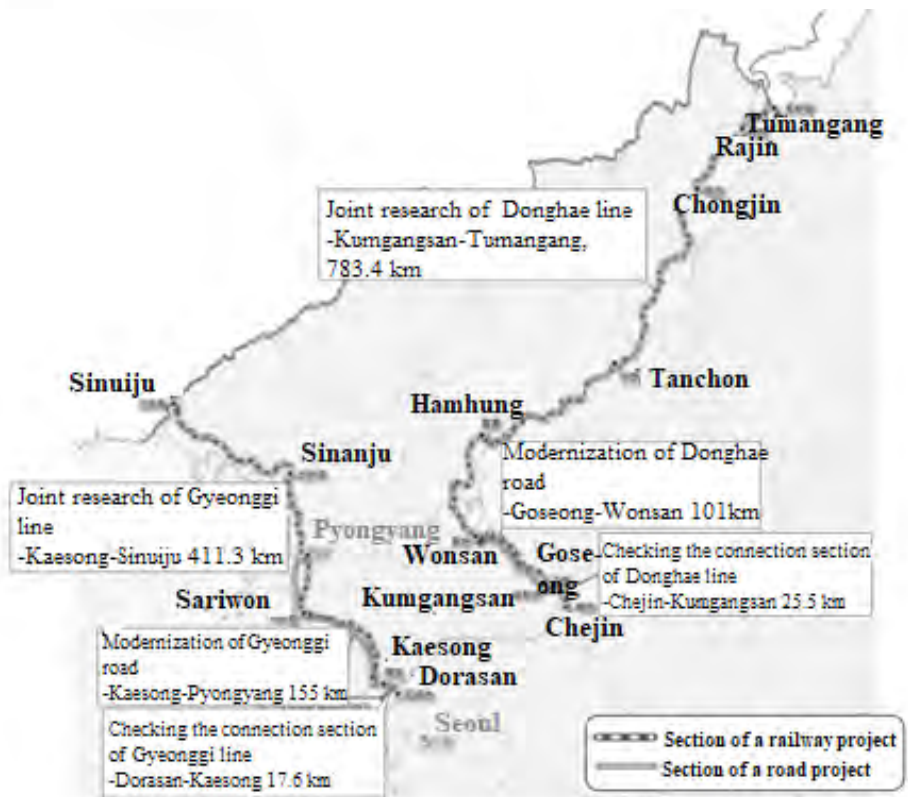
The total length of railways in the DPRK is 5295 km, which is about 1,3 times more than in the Republic of Korea [9]. Most of the DPRK railways use 1435 mm gauge, some

Table 3

Main stages of organization of Trans-Korean and continental railway transportation from 2017 to the present

Year	Participating countries	Main content
2017	Republic of Korea	New Northern Policy Initiative and New Economic Map of the Korean Peninsula [9]
		Republic of Korea announces «9 Bridges» strategy aimed at implementing joint projects with Russia [9]
2018	OSJD	Republic of Korea is OSJD member country
	Six countries of Northeast Asia and the USA	Proposal for organization of the «East Asian Railway Community»
	Republic of Korea and DPRK	Three meetings at the inter-Korean summit
		Joint study of railway and road infrastructure on the DPRK section of the Donghae and Gyeonggi lines
		Groundbreaking ceremony for the railway and road connection of the Donghae and Gyeonggi lines





Pic. 4. Inter-Korean transport cooperation projects agreed in 2018 [7].

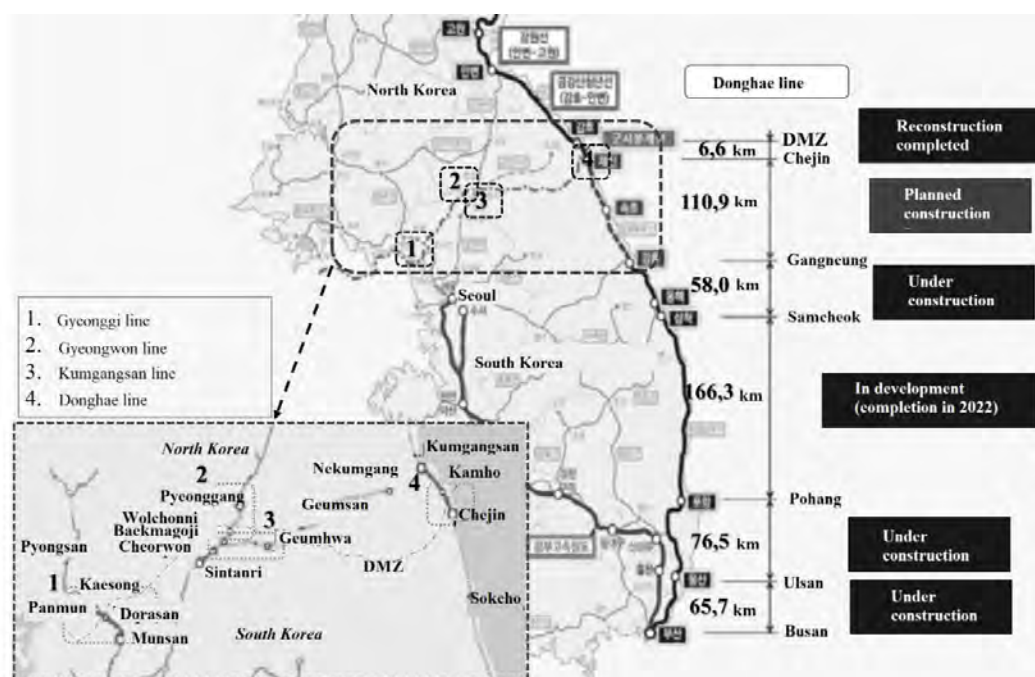
lines in mountainous areas use 762 mm gauge. In addition, on the Tumangan–Rajin section, where Russian trains operate, a gauge of 1520 mm and 1435 mm is installed [10]. According to some experts, DPRK has a mostly single-track railway system, and infrastructure capacity is insufficient. In some areas of the DPRK, wooden sleepers are used, and in the future, they could be a factor

preventing the increase in the speed of trains. Many tunnels were built during the Japanese colonial period (1910–1940s) and were left without maintenance, which led to severe corrosion of concrete [7]. Communication and signalling systems are mostly semi-automatic and require modernization [11].

Pic. 5 shows the railways of Republic of Korea and DPRK, which form the Trans-Korean railway.

Table 4
Characteristics of the transport infrastructure of Republic of Korea and DPRK

Characteristics by type of transport		Republic of Korea	DPRK
Railway transport	Total length, km	4148,1	5295,0
	Share of electrified lines, %	73,2	81,2
	Share of double-track sections of the total length, %	63,5	3,0
	Gauge width, mm	1435 mm – 100,0 %	762 mm – 9,8 % 1435 mm – 87,7 % 1520 mm – 2,5 %
	Main voltage	AC 25 kV	DC 3 kV
	Transportation	automatic	semi-automatic
	Average speed, km/h	70–100	15–50
Road transport	Total length, km	111314,0	26196,0
	The length of motorways, km	4767,0	658,0
	Share of road surfaces (without motorways), %	93,2	Less than 10



Pic. 5. Map of the state of the railway infrastructure of the Republic of Korea and the DPRK as part of creation of the Trans-Korean railway [12].

Since December 2007, the Gyeonggi Line, which connects Munsan station in South Korea and Panmun station in North Korea, has been dedicated to cargo transportation of the Kaesong Industrial Complex, which was closed in November 2008. Currently, the line between Munsan and Dorasan is undergoing electrical installation work on a 9,7 km section, and only some sections are open to traffic. On the west coast of the peninsula, the Gyeonggi line is connected to Seoul and the metropolitan area, with the line's existing capacity linked to the Gyeongbu line, which no longer has capacity reserve. Therefore, government negotiations are underway to build a high-speed railway between Seoul and Sinuiju to meet the demand for passenger transportation.

Rehabilitation work on the Gyeongwon Line between Baekmagoji and Wolchonni stations is currently on hold, while construction work to restore the section to Pyeongchang Station remains a long-term plan. Today, the restoration of the Kumgangsan line continues, but the priority remains with the project to connect the Gyeonggi and Donghae railway lines.

The Donghae line includes the Busan–Pohang double-track electrified section and the Samcheok–Gangneung double-track electrified section, as well as the Pohang–Samcheok single-track electrified section, and the

Gangneung–Chejin single-track section is under construction.

The Pyongi, Hambuk and Manpo railway lines have access to the Chinese railways, the Pyeongnae line is connected to the Russian railways.

In 2013, modernization of the Khasan–Rajin railway section (54 km) connecting the North Korean port of Rajin and the Russian border railway station Khasan was completed.

China is interested in development of transport infrastructure in the region of the northeastern border, this is reflected in the projects «Development of the Northeast of the PRC» and «One Belt, One Road» [14]. In February 2014, China formed an international consortium representing state-owned enterprises. As part of the activities of the consortium, a memorandum of understanding (MOU) was signed for implementation of high-speed rail transportation on the Kaesong–Pyongyang–Sinuiju direction [15].

SUGGESTION AND SOLUTIONS

1. Stabilization of inter-Korean relations. It is necessary to establish long-term relations between two countries of the Korean Peninsula, which will be the basis for planning the development of the peninsula's transport network. In Republic of Korea, when





Pic. 6. Map of railways of the DPRK [13].

administrations change, the policy of connecting railways with subsequent integration with continental railways also changes. There is no possibility now to conduct research and a detailed analysis of the state of the railway infrastructure, therefore, economic assessment of organisation of the Trans-Korean railway is not complete and in the future will have the effect on the increase in time and cost of connecting the Korean railways [16].

2. The need for international social cooperation. Republic of Korea needs economic and transport cooperation with neighbouring countries. Unlike the DPRK, which has rail links with Russia and China, Republic of Korea has no experience in international railway transportation. From the point of view of Republic of Korea, railway transportation is not only a path for economic development, it is a peaceful relationship between two countries and an opportunity for unification of the Korean Peninsula.

3. Modernization and development of the transport infrastructure. The priority development of the railway transport infrastructure is justified by the connection of the Trans-Korean railway with the Asian

transport network for organisation of continental routes. An urgent issue is construction of a second track on the existing single-track road in the DPRK. A double-track railroad is an important competitive advantage in logistics and passenger transportation. The construction of the second tracks should be carried out in stages, considering the financial burden, the capacity of the line, as well as existing and forecast train flows.

4. Connectivity of railways of the Republic of Korea and of the DPRK. Currently, of four railway lines in South Korea, the Gyeonggi Line, located on the West Coast of the peninsula, and the East Sea Line, are considered priority projects. The Gyeonggi line connects South Korean Seoul and Pyongyang (DPRK), with organisation of railway transportation, the demand for cargo and passenger transportation will be high. Therefore, it is necessary to build a passenger high-speed railway, cargo transportation will be carried out by public railways with appropriate cargo handling points. Seoul is the capital of the Republic of Korea, a metropolis that has an extensive metropolitan subway network, many suburban lines and high-speed lines. Under such conditions, the

Table 5

**Forecast of container railway transportation volumes between Korean Peninsula
and Eurasia (thousand TEU, %) [15]**

Direction	2020	2030	2040	Increase percentage	
				'20~'30	'30~'40
Korea → Eurasia	10,871	54,722	198,271	17,5	13,7
Eurasia → Korea	5,285	26,603	96,388	17,5	13,7
Total	16,156	81,325	294,659	17,5	13,7

organisation of cargo traffic is impossible, in the future development it is necessary to organise cargo terminals in the northern and southern parts of Seoul, which will function as points for import-export containers «Ui-wang ICD». The presence of container terminals in different parts of the metropolis will allow formation of container trains and feeder transportation, the terminal in the northern part of Seoul will be the operator for organising cargo railway transportation to the DPRK and China [17].

The Donghae line is located along the East coast of the peninsula and connects the South Korean port of Busan with the Russian Khasan station. Currently, a project is being implemented in Republic of Korea to strengthen the railway infrastructure from Busan station to the demilitarized zone. This route will allow organising transportation of containers from the seaport of Busan through the Trans-Siberian Railway with access to the European market. The task ahead is to replace in some sections of the single-track track structure with a double-track one, taking into account economic feasibility. Today, the price of sea freight and delivery time determine the competitiveness of a business, so construction of the Donghae double-track railway line is one of the main vectors for development of the country's economy.

5. Organisation of border traffic between countries. The competitiveness of railway transport in Asia depends on the speed of the customs clearance system. In the European Union, transport and goods freely cross borders; it is currently not possible to organise such a system for movement of goods between China, Russia, DPRK and Republic of Korea. At the same time, it is necessary to gradually reduce the time of customs clearance by improving the system and interaction between the border authorities of the participating countries. In the future, container transportation will be in demand, in which the customs inspection of the cargo is carried out in the port of Busan (RK)

and this will allow the container to follow in transit through Rajin (DPRK) and Khasan (RF).

CONCLUSIONS

The Trans-Korean Railway (TKR), as a project to connect the railways of the Republic of Korea and the DPRK, will be completed through integration with the continental railway. Despite the efforts of the international community, the railway on the Korean Peninsula is only at the level of discussion of this project. In the Republic of Korea, when the government changes, the policy of unifying the railways of two countries also changes, so it is necessary to ensure constant cooperation between the working groups and approve a long-term development program for the Trans-Korean Railway.

According to preliminary forecasts, by 2040, the demand for cargo transportation from Korean Peninsula to Europe will be up to 300,000 containers per year (Table 5), in order to process 200,000 containers with export cargo, it is necessary to send 7–8 trains to Europe every day, consisting of 50 cars. Due to the disproportion of import and export containers, there is a need for empty containers, it is assumed that the return of empty containers will be carried out by sea transport with a low freight rate [18].

Republic of Korea has no experience in organising international railway transportation, so it requires the involvement of Russian and Chinese experts in railway transport, the organisation of training and exchange of specialists from Korean transport companies, and the cooperation and support of the UN and OSJD is also necessary.

The project of unification of railways on the Korean Peninsula with subsequent integration into the Asian transport network is impossible without the survey and modernization of the railway infrastructure of participating countries. The development of technology for accelerated customs clearance of transit container flow between the Republic of Korea and neighbouring countries will allow redirecting significant



volumes of traffic from sea and road transport to railway transport.

Further studies of development of the railway infrastructure and port facilities of the Republic of Korea, taking into account the increase in container traffic, may be aimed at creating a simulation model for loading the existing transport system as well as for various options of development of transport infrastructure. Simulation data will make it possible to develop solutions for phasing and efficiency of implementation of measures aimed at strengthening the throughput and processing capacity of transport hubs [19].

REFERENCES

1. Lee, T. Y., Balalaev, A. S. Study of the existing freight traffic of the Busan transport hub. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*, 2020, Iss. 1, pp. 37–42. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43143181>. Last accessed 16.12.2021.
2. Sung Weon Yong. Current Status of ROK-DPRK-Russia Railway Cooperation and Prospect for its Development – Focusing on the «Rajin–Khasan Project». *The Korean Association of Slavic-Eurasian Studies*, 2018, Vol. 23 (1), pp. 230–234. [Electronic resource]: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART001232431>. Last accessed 16.12.2021.
3. Jin, Jang Won; Kwon, Tae Ho. The Strategies of Connecting Trans Korea Railway (TKR) to Trans Siberia Railway (TSR) in North East Asia. *The Journal of Asian studies*, 2015, Vol. 18 (2), pp. 121–122. [Electronic resource]: <https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART002001157>. Last accessed 16.12.2021.
4. Kim, Dong Hyuck. North Korean Railway Policy and Inter-Korean Cooperation. Doctor's thesis, 2019, pp. 173–183. [Electronic resource]: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0015049306&dbt=DIKO>. Last accessed 16.12.2021.
5. DongA.com-2013 [Electronic resource]: <https://www.donga.com/news/East/article/all/20131019/58316254/1>. Last accessed 16.12.2021.
6. The Kang Won Domin Illbo-2018 [Electronic resource]: <https://www.kado.net/news/articleView.html?idxno=909755>. Last accessed 16.12.2021.
7. Seo, Jong Won; Han, Eun Young; Choi, Seong Won; Yang, Ha Eun. Socioeconomic Effect Analysis on Inter-Korean Transportation Cooperation Projects. *The Korea Transport Institute*, 2019, Vol. 16, p. 12. [Electronic resource]: https://www.nkis.re.kr:4445/subject_view1.do?otpId=OTP_0000000000003277&otpSeq=0&popup=p. Last accessed 16.12.2021.
8. The Presidential Committee on Northern Economic Cooperation. [Electronic resource]: http://www.bukbang.go.kr/bukbang/vision_policy/policies/0004/. Last accessed 16.12.2021.
9. Lee, T. Y., Balalaev, A. S. Modern status and prospects for the development of automobile transport in the Republic of Korea. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*, 2018, Iss. 1, pp. 52–58. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35041457>. Last accessed 16.12.2021.
10. Song, Ji Eun. A Study on the Modernization Plan of North Korean Railway by Stages. Master's thesis, 2019, pp. 25–28. [Electronic resource]: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0015469936>. Last accessed 16.12.2021.
11. Park, Seok Sung; Jo, Young Je; Jeong, Kyung Young; Lee, Hak Jun. A Study on the Implementation Plan of North Korea Road Infrastructure Project. *Technique-yooshin*, 2019, Vol. 25, pp. 11–12. [Electronic resource]: <http://www.yooshin.com/upload/01-%EB%B6%81%ED%95%9C%EB%8F%84%EB%A1%9C-10~25-12.pdf>. Last accessed 16.12.2021.
12. Gayailbo-2020 [Electronic resource]: <http://www.gayailbo.com/news/articleView.html?idxno=6442>. Last accessed 16.12.2021.
13. Seo, Jong Won; Han, Eun Young; Yang, Ha Eun; Park, Min Cheol. An Analysis on Logistics Conditions and Freight Demand of International Corridors in Eurasia (II). *The Korea Transport Institute*, 2017, Vol. 10, p. 42. [Electronic resource]: https://www.nkis.re.kr:4445/subject_view1.do?otpId=KOTI00053147&otpSeq=0&popup=P. Last accessed 16.12.2021.
14. Wang, Sang Seok. A Study on the North Korea Transportation Infrastructure according to the Change of Sanctions against North Korea. Master's thesis, 2020, p. 10. [Electronic resource]: <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=DIKO0015529584>. Last accessed 16.12.2021.
15. Lee, Eon Kyung; Seo, Jong Won; Kil, Gwang Soo; Lee, Sung Woo [et al.]. A study to establish a complex logistics network connecting port-continental railways. *National Research Council for Economics, Humanities and Social Sciences*, 2018, p. 61, p. 146. [Electronic resource]: https://www.nkis.re.kr:4445/subject_view1.do?otpId=OTP_0000000000001960&otpSeq=0&popup=P#none. Last accessed 16.12.2021.
16. Macheret, D. A. Uncertainty of the Future as a Fundamental Problem of Transport. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 6 (85), pp. 6–19. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-06-19>.
17. Vladimirov, S. A. On Main Directions of the Global Transport System and Logistics. *World of Transport and Transportation*, 2016, Vol. 14, Iss. 3 (64), pp. 6–19. [Electronic resource]: <https://mirr.elpub.ru/jour/article/view/1945>. Last accessed 16.12.2021.
18. Fyodorov, E. A., Lyovin, S. B., Sultanov, E. S. Container Silk Road: Optimisation of the Transit Corridor. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 2 (75), pp. 166–177. [Electronic resource]: <https://mirr.elpub.ru/jour/article/view/1444>. Last accessed 16.12.2021.
19. Korol, R. G., Balalaev, A. S. Simulation of port railway station operation using probabilistic and statistical approach to change in incoming traffic parameters. *Transport Urala*, 2014, Iss. 3 (42), pp. 53–57. [Electronic resource]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22369722>. Last accessed 16.12.2021. ●

Information about the authors:

Taek Young Lee, Ph.D. student at the Department of Technologies of Transportation Processes and Logistics of Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia / Sejong-si, Republic of Korea, emyahoo21@nate.com.

Korol, Roman G., Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Technologies of Transportation Processes and Logistics, Director of the Institute of Control, Automation and Telecommunications (IUAT) of Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia, kingkhv27@mail.ru.

Article received 26.09.2021, updated 22.12.2021, approved 28.01.2022, accepted 10.02.2022.



**STEAM
LOCOMOTIVE
IS BACK, ISN'T IT? 216**

Probably yes, but in the framework of new technological cycle. Brief history of the idea about the electric-steam locomotive and its modern incarnation.



**FORGOTTEN
RAILS 222**

The paper tells the story of two small railways. Their destiny was not in any way unique, and those railways do not need renewal. But scrupulous study of those less remarkable on the country's map objects shows how closely tied is the history of the state, people and railroads.

**NEWS FROM
THE ARCHIVES 230**

Acute issues of railway management as seen 112 years ago. The third and final part of the official report of N. P. Verkhovsky on his book.

HISTORY WHEEL





REVIEW ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-10>

Thermotechnical Foundations for Creation of Fireless Locomotives Run on Stored Steam



Valentin N. BALABIN



Aleksey Yu. SERBULOV

Valentin N. Balabin¹, Aleksey Yu. Serbulov²

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia.

² LLC Belspetslesmash, Gomel, Belarus.

✉ ¹ vbbn2347@gmail.com.

ABSTRACT

The article deals with the problems of creating and using of locomotives run on stored thermal resources (steam) and intended for industrial enterprises. The objectives of their development and introduction are still relevant and consist in implementation of economical and environmentally friendly locomotives for non-public access roads.

Shunting operations are considered as an independent type of enterprises' activity that is not related to their main activity. The locomotives of transport workshops used today for this purpose consume diesel fuel, which significantly increases the logistics cost of goods and reduces the final profit.

The article considers one of the possible ways to make the thermal energy (steam) traditionally utilised for technological purposes, to perform other work, which from an energy-economic point of view will be done free of charge, since the cost of energy generation is already covered by the cost of products.

For internal and access roads of enterprises, a version of a fireless locomotive with a traction force of 90 kN (9 t) has been developed. This machine does not need fuel but uses process

steam obtained from stationary boilers of enterprises and accumulated in a high-pressure tank with thermal insulation.

The locomotive was created based on the 9P type 0-3-0 tank locomotive, which was common before. The boiler with a furnace was replaced by a steam storage boiler, which is a closed cylindrical tank with a high degree of thermal insulation.

The estimated time of operation of the machine on a single charge is 6–8 hours. The maximum estimated mass of the train on a straight section of the track at a speed of 30 km/h and a traction force of 83 kN·t is 3000 tons.

The use of this type of locomotive makes it possible to save diesel fuel in the amount of 0,75–1,0 t/day, reduce repair costs by 90 % compared to a diesel locomotive, reduce the cost of maintenance personnel, get the opportunity to use it in enterprises requiring increased explosive and fire safety.

An example of calculating the use of six locomotives at an oil refinery is given, which will give an annual saving of 1444 tons of diesel fuel, with a payback period of the locomotive itself of 3,2 years.

Keywords: steam power, steam battery locomotive, industrial transport, economic comparison.

For citation: Balabin, V. N., Serbulov, A. Yu. Thermotechnical Foundations for Creation of Fireless Locomotives Run on Stored Steam. World of Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 216–221. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-10>.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

INTRODUCTION

At present, the performance of shunting operations in railway industrial transport is considered as an independent type of activity. The locomotives of transport shops used for this purpose consume diesel fuel, which significantly increases the logistics cost of goods and reduces the final profit. It is desirable to eliminate unnecessary unproductive costs for shunting operations.

The limit values of diesel fuel consumption by diesel locomotives being in the range of 198–220 g/kW·h are decreasing extremely slowly and have almost reached their operating minimum. Thus, it is pointless to look for a solution within the framework of the existing system; another system is needed, in which, due to the complete energy connection of the elements among themselves, all costs are minimised. At the same time, it is desirable that the system consumes only one type of energy – the most profitable from an economic point of view.

HISTORY

The basic principles for creating such systems were outlined by Professor V. V. Dmitriev back in 1927 in the work «Modern achievements in the field of energy management in industries with high heat consumption per unit of processed product» [1].

This work states that the needs of production in electrical and thermal energy make it possible to arrange them in a special, from the point of view of energy, order, since the consumption rates of these types of energy per unit of produced product have already been established and can be taken as the basis for calculation.

Professor Dmitriev introduced the concept of «energy proportionality factor (EPF)», showing the ratio between the types of energy in production of a unit of product.

For most industries (including metallurgical, petrochemical and many others), EPF is more than 10, which indicates the predominant use of thermal energy, for example, in the form of steam [2]. It is further stated that if this steam, which is used for technological purposes, is somehow utilised to perform other work, then this work from an energy-economic point of view will be done free of charge, since the cost of steam is already covered by the cost of products.

With regard to industrial rail transport, it can be said that if steam energy is directed to shunting work and the unproductive diesel locomotives (in modern terms it concerns also their «carbon footprint») are removed, then the cost of energy will tend to zero.

This approach was implemented in Germany at the beginning of 20th century and gave such outstanding results that it is still being used with constant success. It is associated, first of all, with development of Roots steam accumulators for leveling the load curves of steam boilers with fluctuating steam consumption. If steam is introduced into a closed container filled with water, it will condense, simultaneously raising the temperature of water. As soon as the water temperature reaches the temperature of saturated steam at a given pressure, the flow of steam will stop. If after that the pressure in the tank is lowered, water will boil and give the next portion of the accumulated steam. The amount of steam given off is almost equal to the amount of incoming steam. In this case, the outgoing steam can be used for production of mechanical work.

If such a steam accumulator is installed on a railway vehicle driven by a known steam engine, then we get a locomotive running on a stored steam (or stored-steam locomotive, see, e.g. German term «Dampfspeicherlokomotive»). This machine will do work due to the energy of free steam. At the same time, the cost of shunting work will be practically negligible with high reliability and durability of the locomotive (up to 70 years – according to existing data from German sources [2]). The efficiency of such locomotives is so high that there were at one point over 1600 of fireless locomotives including those using steam storage.

Many years of expertise have helped to develop in Germany a type of shunting fireless locomotive¹ with the following characteristics:

- Axial formula – 0–3–0.
- Working (coupling) weight – 55 t.
- Work performed using one steam charge – 6000 t·km.
- Maximum train weight on a straight, horizontal track – 3000 t.

This locomotive can be used on non-public access roads and is a universal shunting

¹ Steam transport yesterday and today Ivan Trokhin, engineer. 2019 year. [Electronic resource]: <https://perevozki-stolitsa.ru/parovoj-transport-vchera-i-segodnya/>. Last accessed 18.03.2022.



ПАРОАККУМУЛЯТОРНЫЙ ЛОКОМОТИВ



ПАЛ 9П

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В Германии гидроаккумуляторные локомотивы строили следующие фирмы:

1. Borsig - 112 шт;
2. Maschinenfabrik Esslingen - 30 шт;
3. Panomag - 90 шт;
4. Sächsische Maschinenfabrik AG, vormals Richard Hartmann, Chemnitz - 11 шт;
5. Henschel - 230 шт;
6. Hohenzollern - 400 шт;
7. Maffei - 59 шт;
8. Krauss - 18 шт;
9. Krauss-Maffei - 12 шт;
10. Krupp - 74 шт;
11. LKM - Lokomotivbau Karl Marx, Babelsberg - 53 шт;
12. Raw "Helmuth Scholz" Meiningen - 202 шт;
13. Orenstein & Koppel - 301 шт.

Суммарно (Borsig 112 шт + Maschinenfabrik Esslingen 30 шт + Panomag 90 шт + Sächsische Maschinenfabrik AG, vormals Richard Hartmann, Chemnitz 11 шт + Henschel 230 шт + Hohenzollern 400 шт + Maffei 59 шт + Krauss 18 шт + Krauss-Maffei 12 шт + Krupp 74 шт + LKM - Lokomotivbau Karl Marx, Babelsberg 53 шт + Raw "Helmuth Scholz" Meiningen 202 шт + Orenstein & Koppel 301 шт) = 1592 шт.



Fig. 1. Data from the brochure describing the locomotive PAL 9P [developed by the authors].

locomotive, which simplifies its manufacture, maintenance and operation [3; 4].

A system consisting of a steam boiler, a technological consumer of steam and a stored-steam locomotive (or several) is called a transport and energy hub and changes cost items when performing railway shunting operations.

In addition, it becomes possible to accurately record the shunting work performed. A stored-steam locomotive consumes 0,37 kg of steam per 1 t•km [5], while there is no steam consumption when the locomotive is parked. Knowing the amount of steam consumed, one can accurately estimate the work done in t•km, and not in locomotive hours, which cannot be units of work (Historically, accounting for work in locomotive hours goes back to shunting steam locomotives, the boiler of which, working continuously, consumed a certain amount (up to 80 kg) of fuel per hour. Thus, in those years, accounting for the fuel consumed by locomotives was achieved).

In 1954, Murom and Kolomna plants designed and built a fireless steam locomotive BP1-01 [5, pp. 522–523].

To reduce steam consumption from the boiler, the locomotive had larger main tanks, which were charged with compressed air in parallel to filling the storage boiler with steam. Charging took 30–40 minutes.

The cyclical operation of the locomotive between steam fillings was 4–6 hours, depending on the shunting load. According to experiments, this locomotive could pull a train weighing 325 tons at a speed of about 15 km/h for a distance of up to 30 km [6].

The latest fireless steam locomotive was that of type BP1-02, which showed excellent results in the summer of 1955. During the tests, it moved trains of 1700 tons from the start, and it itself could move at a pressure in the boiler of 1 kgf/cm².

PAL-9P

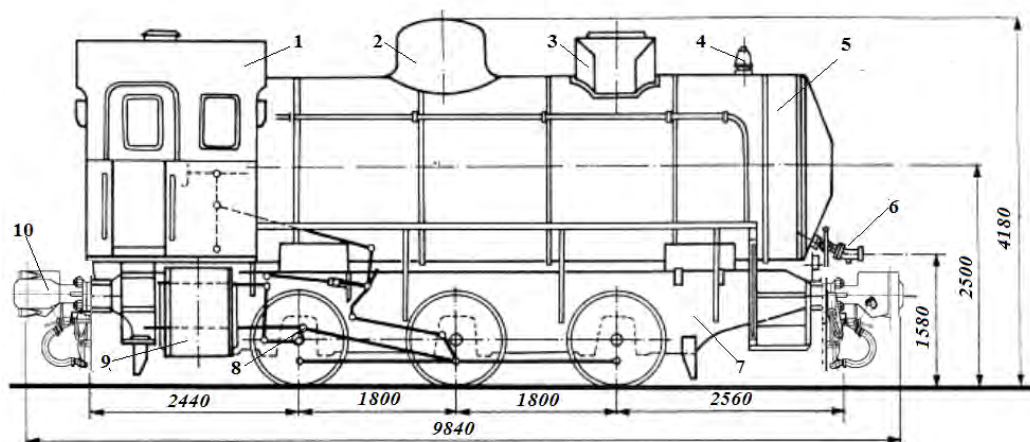
Technical Features

To reduce the cost of shunting work on non-public access roads (oil refineries, chemical industry plants, metallurgical, mining and processing and woodworking plants, thermal power plants, etc.),

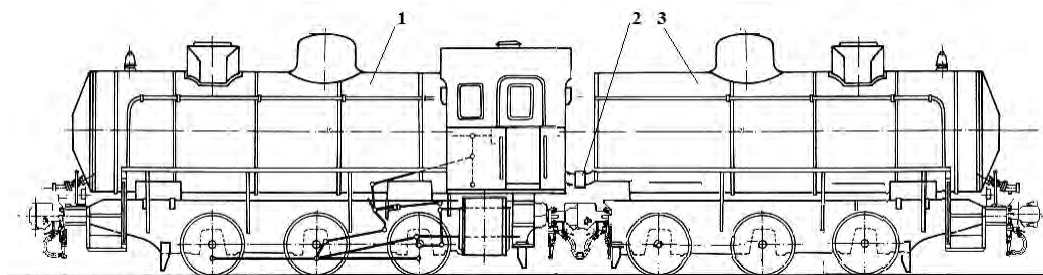
Technical features
(the locomotive complies with type 5 GOST 22339-88*,
size 1-VM, 02-VM according to GOST 9238-83)

Gauge, mm	1524
Boiler volume, m ³	21,0
Steam pressure, MPa (kgf/cm ²)	2 (20)
Mass of the locomotive in working condition, t	56,5
Traction force working, kN	90
Traction force when starting off, kN	125
Traction force, minimum, kN	83
Maximum speed, km/h	30
Maximum train mass on a straight line at a speed of 30 km/h and a traction force of 83 kN, t	3000
Length along the axes of automatic couplers, mm	9820
Wheel diameter, mm	1050
Minimum curve radius, m	40

* GOST 22339-88 Diesel locomotives, shunting and industrial. Types and basic parameters. [Electronic resource]: <https://docs.cntd.ru/document/1200011008>. Last accessed 21.04.2022.



Pic. 2. Scheme and overall dimensions of PAL-9P locomotive:
1 – control cabin; 2 – dry steamer; 3 – sandbox; 4 – safety valve 5 – steam accumulator – boiler; 6 – outfitting branch pipe; 7 – locomotive frame; 8 – driving mechanism; 9 – steam cylinder; 10 – automatic coupler [developed by the authors].



Pic. 3. A variant of PALt-9P tender locomotive:
1 – PAL-9P; 2 – connecting steam line; 3 – tender [developed by the authors].



Pic. 4. Fireless steam storage locomotive. DLM AG

[https://dlm-ag.ch/wp-content/uploads/2020/10/2020-10-07_Energy-Steam-and-Fireless-Technology-homepage.pdf].

a version of a stored-steam locomotive (PAL, from abbreviation in Russian) with a traction force of 90 kN (9 t). This machine does not need fuel, but uses process steam obtained from stationary boilers of enterprises and accumulated in a high-pressure tank with thermal insulation.

PAL-9P was created on the basis of the 0–3–0 type tank-engine 9P, which had been common before. The crew part and the steam engine were used without changes. The boiler with a furnace was replaced by a steam storage boiler, which is a closed cylindrical tank with a high degree of thermal insulation.

The scheme and overall dimensions of PAL-9P locomotive, developed by the authors of the article, are shown in Pic. 2.

A variant of PAL-9P tender locomotive with a double supply of working steam is shown in Pic. 3.

Fireless locomotives practically do not require maintenance and repair, while the locomotive itself is serviced by one driver.

The main disadvantage of this type of locomotives is a limited range.

A variant of Estimate of the Efficiency of PAL 9P Locomotive Operation at an Oil Refinery

Traditionally, the refinery is a large consumer of thermal energy, in particular of steam of high

parameters. Separately, of steam is consumed for its own energy needs – for steam pumps and compressors. Steam of industrial parameters (pressure 0,8–3,5 MPa) comes from external sources through the main steam pipelines. To provide consumers with steam of different pressures, a reduction or reduction-cooling unit is located in the central heating point.

Main characteristics of the refinery [7; 8]:

- Refining volume – 12 mln tons oil per year.
- Technological facilities – more than 30.
- Area of the enterprise – 286 hectares.

The annual weight of the transported cargo, taking into account the tare of tanks, is $1,4 \times 12\,000\,000 = 16\,800\,000$ t.

The daily weight of the transported cargo is $16\,800\,000 / 365 = 46\,027,4$ t.

The average path of cargo moving within the area of the plant is 3 km.

Daily cargo work is $3 \times 46\,027,4 = 138\,082,2$ t•km.

Energy consumption per 1 t•km when using diesel traction with an efficiency of 13 % – 0,35 kW•h/t•km.

The energy intensity of 1 kg of diesel fuel with a heat output of 10 500 ccal/kg is $10\,500 / 860 = 12,21$ kW•h.

The work performed on movement of cargo per 1 kg of diesel fuel is $12,21 / 0,35 = 34,9$ t•km.

The total fuel consumption of diesel locomotives per day, taking into account the operation of the diesel engine at idle, will be $138082,2 / 34,9 = 3956,5$ kg.

The required number of PAL-9P locomotives with four steam charges per day and work performed on one steam charge equal to 6000 t•km or 24,000 t•km per day (steam costs – $0,37 \times 24,000 = 8,880$ kg = 8,88 t/day) will be $138082,2 / 24,000 = 5,75$, or six locomotives.

The total consumption of process steam with a pressure of $20 \text{ kgf/cm}^2 - 6 \times 8,88 = 53,3$ t/day.

Annual savings in diesel fuel is $365 \times 3,9565 = 1444,2$ t.

1 kg of diesel fuel costs $51,85 \times 1,25 = 64,81$ rubles (prices are per litre).

The annual savings when using PAL 9P will amount to $1444200 \times 64,81 = 93,600,000$ rubles or 93,6 mln rubles.

The estimated cost of the locomotive at the current moment is 50 000 000 rubles, the payback period for six locomotives is $6 \times 50,000,000 / 93,602,212,5 = 3,2$ years (3 years 3 months) with a service life of 60–70 years.

THE HISTORY CONTINUES

The efforts to create modern steam locomotives applying steam storage continue also in other countries (e.g.^{2,3}). Pic. 4 shows an example of a stored-steam locomotive³.

CONCLUSIONS

As a result of the use of PAL-9P, it is possible to achieve the following positive results:

1. In comparison with locomotives running on diesel fuel, PAL-9P allows saving diesel fuel in the amount of 0,75–1,0 t/day per unit.

2. Repair costs reduced by 90 % compared to a diesel locomotive.

3. Reduced costs of maintenance personnel (the machine is serviced by one driver without an assistant).

4. Ability to use in dusty and polluted conditions without reducing the resource.

5. Possibility of use at the enterprises demanding high explosion and fire safety.

6. Environmental friendliness (exhaust gas consists of water vapour only).

REFERENCES

1. Dmitriev, V. V., Gakkel, Ya. M., Matveev, N. T. [et al]. Energy Problems in Industry. Collection of articles on electrical engineering, heat engineering and hydraulic engineering [*Problemy energetiki v promyshlennosti. Sbornik statei po elektrotehnike, teplotekhnike i gidrotehnike*]. Moscow-Leningrad, State Publishing House, 1927, 172 p.
2. Hytte, T. P. Handbook for engineers, technicians and students [*Spravochnik dlya inzhenerov, tekhnikov i studentov*]. 15th ed., rev. and enl. Vol. 3. Transl. from the 26th German ed. under total ed. by V. K. Zaporozhets, rbatov, N. L. Manuilov. Moscow-Leningrad, ONTI NKTP USSR. The main edition of the literature on mechanical engineering and metalworking, 1936.
3. Pokschewinski, K. Feuerlose Lokomotiven: Geschichte, Funktion und Einsatz der Dampfspeicherloks, Lokrundschau-Verlag, 2000, 167 p. ISBN-13 978-3931647100.
4. Röhl, F. von. Enzyklopädie des Eisenbahnwesens. Band 5. Berlin, Wien, 1914. 516 p. [Electronic resource]: <https://archive.org/details/enzyklopdiedes05rl>. Last accessed 24.03.2022.
5. Rakov, V. A. Fireless steam locomotives [*Bestopochnye parovozy*]. Locomotives of domestic railways 1845–1955. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Transport publ., 1995, 564 p. [Electronic resource]: https://www.studmed.ru/rakov-v-a-lokomotivy-otechestvennyh-zheleznih-dorog-1845-1955-gg-_c99cd510ffc.html. Last accessed 21.04.2022.
6. Gartman, E. A steam locomotive without a firebox [*Parovoz bez topki*]. Journal «Tekhnika – molodezhi», 1940, Iss. 10, p. 65.
7. Dobrova, A. V. Development of a steam supply system for an oil refinery from an autonomous source [*Razrabotka sistemy parosnabzheniya neftepererabatyvayushchego zavoda ot avtonomnogo istochnika*]. Ivanovo, ISEU publ., 2021, 55 p. [Electronic resource]: <https://elibrary.ispu.ru/product-pdf/razrabotka-sistemy-parosnabzheniya-neftepererabatyvayushchego-zavoda-ot-avtonomnogo>. Last accessed 21.04.2022.
8. Shageev, M. F., Akhmetov, E. A. [et al]. Research and development of recommendations on the mode of operation of the steam supply system at minimum steam consumption at petrochemical enterprises [*Issledovanie i razrabotka rekomendatsii po rezhimu raboty sistemy parosnabzheniya pri minimalnykh rashodakh para na neftekhimicheskikh predpriyatiyakh*]. Exposition oil-gas, 2009, Iss. 4 (4), pp. 42. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13091116>. Last accessed 21.04.2022.
9. Pismenny, V. L. Multi-mode steam-gas plant [*Mnororezhimnaya parogazovaya ustanovka*]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki, 2006, Iss. 7–8, pp. 43–48. [Electronic resource]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12138682>. Last accessed 24.03.2022.

² Dampflokwerk Meiningen (Meiningen Steam Locomotive Works) Website. [Electronic resource]: <https://www.dampflokwerk.de/en/>. Last accessed 24.03.2022.

³ Technology of fireless steam locomotives. Steam storage technology uses the ability of water to store large amounts of energy under pressure. Website of DLM AG. [Electronic resource]: <https://dlm-ag.ch/en/fireless-technology/>. Last accessed 24.03.2022.

Information about the authors:

Balabin, Valentin N., D.Sc. (Eng), Professor at Russian University of Transport, Moscow, Russia, vbbn2347@gmail.com.

Serbulov, Aleksey Yu., Chief constructor of LLC Belspetslesmash, Gomel, Belarus, asrb@inbox.ru.

Article received 13.02.2022, approved after reviewing 21.04.2022, accepted 28.04.2022.





ORIGINAL ARTICLE

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-11>

On the Edge of Meshchera. History of Forest Roads. Some Facts about the History of Construction of Railway Lines Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo. Part 1



Aleksey I. Fedyanin

Russian University of Transport, Moscow, Russia.

✉ lekha.fedyanin@yandex.ru.

Aleksey I. FEDYANIN

ABSTRACT

The article, based on the archives and other never published materials, discusses the history of design and construction of Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo railway lines, which belonged to Moscow–Ryazan branch of Moscow railway. The objective of writing the article is to clarify the circumstances of design, construction and operation of these lines, as well as to identify the reasons that led to their decline and closure in the mid-2000s. To achieve this objective, well-known publications in the press and the Internet were analyzed. In addition to using data from these sources, work was carried out to search for written sources on the issue under study in archival institutions in Moscow. Some documents are published for the first time.

The result of all the work carried out was establishment of the following previously unknown or questioned facts:

Krivandino–Ryazanovka railway line was built in 1943–1944, Sazonovo–Ryazanovka section was built later than the rest of the line. The purpose of Krivandino–Ryazanovka line according to the project and in the first years of its existence was transportation of firewood for heating of Moscow. The date of acceptance of Sazonovo–Pilevo line in full for servicing Kurovskaya distance of the track is January 1, 1978. From the northern neck of Pilevo station, the access road went to the construction yard of Meshcherskoye peat enterprise. According to Kurovskaya distance of the track, the broad gauge transshipment station of Meshcherskoye peat enterprise was called Torfyanaya.

The first part of the paper. The second part is scheduled for the next issue.

Keywords: railway line, Krivandino, Ryazanovka, Sazonovo, Pilevo, peat enterprise, Great Patriotic War, transport construction.

Acknowledgements: The author expresses his gratitude to the compilers of the book «Meshcherskaya Magistral» for an interesting work that became a source of inspiration for the work and personally to Vadim Mironov for reviewing and providing photographs; to the author of repeatedly mentioned sources [2–4] – «Website about the railway» S. D. Bolashenko for an informative resource with a lot of facts about the studied lines, some of which also served as catalysts for this work, and wishes him creative strength; researcher of narrow-gauge railways S. V. Kostygov for a lively description of the narrow-gauge railway of the Ryazanovskoye and Radovitsky Mokh peat enterprises and expresses the hope that someday he will nevertheless publish its full history, and this material will be somehow useful in this; Head of the Department of Electric Trains and Locomotives of MIIT (during the time of work on the article, the university managed to change several names, therefore, a constant and well-known abbreviation is used) Professor O.E. Pudovikov for assistance in drafting a request to the management of Moscow Railway for provision of the necessary documents that formed the basis of the article; to the track service of Moscow Railway and personally to the head of the service D. A. Korenkov, chief engineer P. Yu. Bogdanov for showing interest in the research topic and providing access to archival materials of the railway; SBI «CSA of Moscow» for preservation of the most important documents on the history of the considered lines; I would especially like to note the employees of the reading room of the Department for storage of scientific and technical documentation, their high professionalism, zealous performance of their duties and creation of a comfortable atmosphere when working with documents.

For citation: Fedyanin, A. I. On the Edge of Meshchera. History of Forest Roads. Some Facts about the History of Construction of Railway Lines Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo. Part 1. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 222–229. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-20-2-11>.

The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.

Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.

BACKGROUND

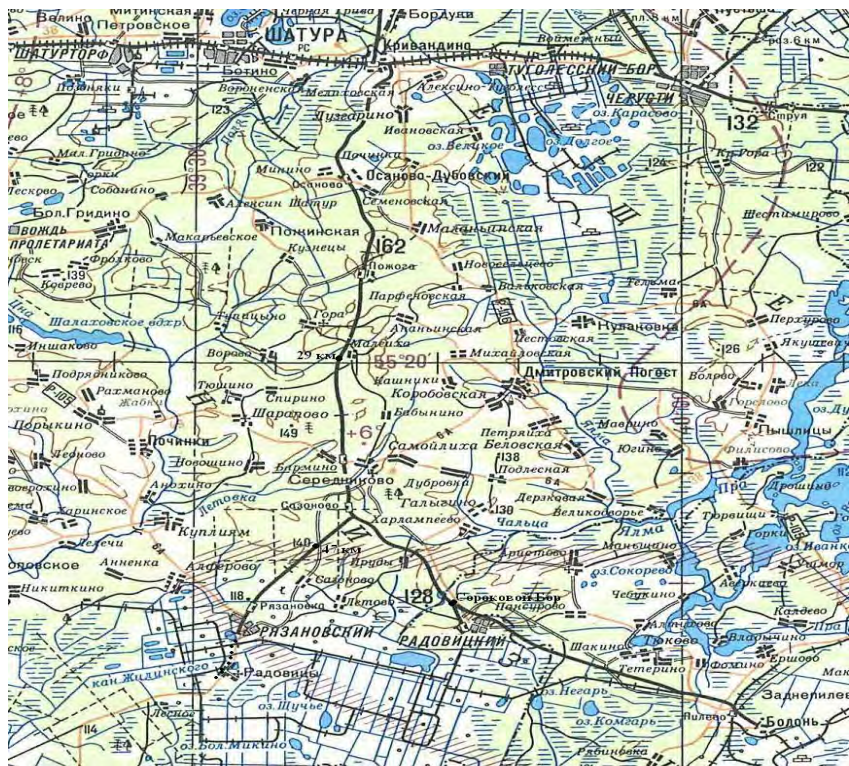
There are practically no publications about the history of creation of inactive lines in the press, which is easy to explain even by the term itself, denoting the nature of the work of these lines – inactive, that is, small.

In the east of Moscow region, a railway line departs south from Krivandino station of Moscow–Murom main line, which crosses Yegoryevskoye Highway and comes to Ryazanovskiy urban-type settlement and Ryazanovka station. A little before reaching the final point, near the settlement of Sazonovo, another one departs from the line – steeply to the right, to the southeast. This line approaches Sorokovoy Bor station near the village of Radovitsky, from which it turns north, skirting the village, and then again to the east and ends at Pilevo station already in Ryazan region. The described picture can be seen only on maps issued in the 2000s and earlier, while modern maps show only Krivandino–Ryazanovka section.

Only one printed source is known that mentions the considered lines [1]. It is dedicated to Ryazan–Vladimir narrow-gauge railway, it contains the following information: «The narrow-gauge railway brought these two sides

of the history of the region together; since 1952 peat trains rumbled along the bridges over Zhilinsky Canal. The peat deposits turned out to be so powerful that, in addition to narrow-gauge lines reaching a length of about 200 km, a branch from Krivandino was laid here in 1974 to transport peat to Shaturskaya GRES» [1, p. 140]. Thus, the purpose of one of the lines is transportation of peat, which can be assumed about another line passing nearby.

There is a source on the Internet [2], in which the page «Railway line Krivandino–Ryazanovka» [3] reports the following: «The length of the railway line Krivandino–Ryazanovka is 53 kilometers. The railway line runs through the territory of Shatursky and Yegoryevsky districts of Moscow region. From 1976 to 2008, the existing Sazonovo–Pilevo railway line adjoined Krivandino–Ryazanovka line at Sazonovo station. As of the end of 2009, Sazonovo–Pilevo line was mothballed, its future is unclear. As of 2019, it is completely disassembled. The decision to build this railway line was made in 1943 (Decree of the State Defense Committee No. 3599 dated June 17, 1943 «On construction of Krivandino–Radovitsy railway line») (RGASPI F. P-68, op. 2, d. 7, l. 20). Before the Great Patriotic War, the construction of this line was



Pic. 1. Railway lines Krivandino–Ryazanovka and Sazonovo–Pilevo on the map of 1987 [3].



not included in the immediate plans, which is indicated, in particular, by the fact that on the topographic map at a scale of 1:100,000, published in 1941, there is no designation of a railway under construction or projected, leading from Krivandino station in a southerly direction. The following fact speaks of how important this construction was: for speedy implementation of construction of Krivandino–Ryazanovka line, it was decided to dismantle Verbilka–Bolshaya Volga railway line. The Krivandino–Sazonovo section was put into permanent operation as part of the network of the People's Commissariat of Railways in 1944 (according to the reference book «Railway Stations of the USSR»¹, published in 1981). The date of commissioning of Sazonovo–Ryazanovka (Radovitsy) section into permanent operation has not been established with accuracy (from 1948 to 1951). This does not mean that Sazonovo–Ryazanovka section was built later – the date of commissioning for permanent operation may differ significantly from the date of opening of temporary traffic. In the first few years of operation of Krivandino–Ryazanovka railway line, its length was about five kilometers longer – there was a section from the current Ryazanovka station to the village of Radovitsy. The construction of the village near the village of Radovitsy began, but then it was decided to move it five kilometers to the north. A central settlement was built on this site, now known as Ryazanovka (the official name is Ryazanovskiy). The station near the village of Radovitsy, most likely, was called Ryazanovka – like the current station. Not later than 1952, a decision was made to move Ryazanovka station five kilometers to the north. The section from the «old» Ryazanovka station (near the village of Radovitsy) to the «new» station (at its current location) was then dismantled. In the 1950s or 1960s, a departmental access road of the broad gauge Sazonovo–Radovitsky Mokh was built. In 1976, the public line Sazonovo–Pilevo was opened, partially laid on the site of the access road Sazonovo–Radovitsky Mokh. Peat was the main cargo on Krivandino–Ryazanovka railway line from the moment it was opened until 2009. Mass loading of peat was carried out at Ryazanovka and Pilevo stations, where powerful, fully mechanized peat transfer complexes were located. Non-mechanized loading of peat was

also carried out at Sorokovoy Bor station. Until the early 1970s, peat was loaded at Osanovo station».

The same source on the page «Railway line Sazonovo–Pilevo» [4] contains the following information: «The length of the railway line Sazonovo–Pilevo is 33 kilometers. The railway line runs through the territory of Shatursky district of Moscow region and Klepikovo district of Ryazan region. To the south of Pilevo station there is a short access road to Meshchera station, owned by Meshchersky peat enterprise (about 1500 meters long). As of 2006, the railway line belongs to Moscow–Ryazan branch of Moscow railway. The railway line is single-track throughout, nowhere is it electrified. There is one intermediate station on the line – Sorokovy Bor. The starting point of the line is Sazonovo station, located on Krivandino–Ryazanovka line. The history of the line began with construction of an access road from Sazonovo station to the village of Radovitsky Mokh. It was built in the 1950s or 1960s. Sazonovo–Radovitsky Mokh line was a departmental one. The owner of the line is unknown. The main purpose of the line is to service a woodworking plant and other enterprises in the village of Radovitsky Mokh. In the 1970s, a decision was made to build Sazonovo–Pilevo line using part of Sazonovo–Radovitsky Mokh line. In the place from which Sazonovo–Pilevo line used the new alignment (instead of using Sazonovo–Radovitsky Mokh line), Sorokovoy Bor station was built. The previously constructed section from Sazonovo to Sorokovoy Bor was reconstructed. Radovitsky Mokh has become the terminus of a small branch. The railway line was built mainly for export of peat mined by Meshchersky peat enterprise. Meshchersky peat enterprise is located in the village of Bolon, near Pilevo station. According to the reference book «Railway Stations of the USSR» (published in 1981), the date of commissioning of the stations Sorokovoy Bor and Pilevo (broad gauge) is 1976. The uniqueness of Sazonovo–Pilevo line was that Pilevo station was actually «embedded» in the station of the same name of the narrow-gauge public railway (Ryazan–Vladimir narrow-gauge railway) that had existed since 1899».

I would like to make some comments on the first quote. Firstly, the text of the State Defense Committee Resolution says that the line is being built to supply Moscow with firewood and organize peat extraction, that is, the author of the source [2] claims that «The main cargo on

1 Arkhangelskaya, A. S., Arkhangelsky, V. A. Railway stations of the USSR. Moscow, Transport publ., 1981, 380 p.

Krivandino–Ryazanovka railway line since its opening (*highlighted by the author*) and until 2009 there was peat» is not entirely true. This will be confirmed below.

Secondly, in the full text of the State Defense Committee Resolution, available at the link in the source [2], one can read the following: «In order to provide Moscow with firewood from Radovitsky forest area and forests of local importance in Shatura–Radovitsy region and organize extraction of peat from peat of Radovitsky Mokh massif, the State Defense Committee decides:

a) To build a railway line Krivandino–Radovitsy with a length of 50 kilometers with the necessary sidings, station and loading tracks, water supply, track buildings and telephone communications, with the calculation of the passage of 8 pairs of trains per day.

b) To lead the route of the railway line in the direction that ensures the maximum development of all forests located between Shatura and Radovitsy. To begin railway construction in June and to open the working train traffic in September 1943.

c) To carry out construction of the specified railway line according to light technical conditions, without an approved technical design and estimates.

... 3. To oblige Moscow Regional Executive Committee (comrade Tarasov), Ryazan Regional Executive Committee (comrade Mamonov) and Moscow City Executive Committee (comrade Pronin) to mobilize from June 20, 1943, for duration of construction of Krivandino–Radovitsy railway line in Moscow Region – 3,000 workers and 500 carters with horses, along Ryazanskaya – 750 workers and 200 carters, in the city of Moscow – 1500 workers. To establish that the collective farmers mobilized for the specified construction, from August 15, 1943, are released from work on the construction site for harvesting.

4. To oblige the Committee for Higher School Affairs under the Council of People's Commissars of the USSR (comrade Kaftanov), together with the relevant people's commissariats, to send no later than July 15, 1943, 5000 students for construction of Krivandino–Radovitsy railway line for a period of 2 months, of which 2000 at the expense of the number provided by Resolution of the GOKO (as in the document – *author's note*) dated March 24, 1943 No. 3073 and 3000 additionally.

5. To establish that for workers and employees mobilized for construction of Krivandino–Radovitsy railway line and workers' settlements in accordance with this Resolution, wages are retained at their place of permanent work in the following amounts: 80 % of wages – for workers who have dependent disabled family members and 40 % of wages for all other workers and employees.

To keep for the students sent to construction of the railway line Krivandino–Radovitsy, the scholarships they receive for the entire period of their work on construction.

... 7. To permit the People's Commissariat of Railways to use the chord-bonus (as in the document – *author's note*) wage system in construction of Krivandino–Radovitsy railway line in accordance with the Resolution of the State Defense Committee dated January 3, 1942 No. 1095s. <...>

... 11. To oblige the People's Commissariat of Railways (comrade L. M. Kaganovich) to allocate 40 kilometers of rails with fasteners and turnouts for construction of Krivandino–Radovitsy railway line, for which the People's Commissariat of Railways is allowed to disassemble Verbilki–Bolshaya Volga railway line.

12. To oblige the People's Commissariat of Forests (comrade Saltykov) to ship in June 1943 for construction of Krivandino–Radovitsy railway line 10 kilometers of rails with fasteners due to the dismantling of logging tracks and to allocate 8 tractors».

As can be seen from this quote, a significant number of civilians were involved in construction, who did not work for free.

From the source [4], it is obvious that the history of Sazonovo–Pilevo railway line began with construction of an access road to the village of Radovitsky Mokh to service a woodworking plant and other enterprises. However, from the same source it follows that this settlement was built as a worker's settlement for a peat enterprise, which seems illogical. In this regard, it was necessary to find other information about the lines under consideration.

An appeal to the archive of Moscow Railway made it possible to establish the fact of transfer of all historical materials to the State Budgetary Institution «Central State Archive» of the city of Moscow (SBI «CSA» of Moscow). In the course of work in this organization, it was possible to find some information on the lines under consideration, which are presented below.



The Beginnings. War years

As already noted, Krivandino–Ryazanovka railway line was built in accordance with the State Defense Committee Resolution, which, among other things, ordered construction to be carried out without a technical project. However, such a project was nevertheless drawn up and has survived to this day – «The technical design of the railway branches of Krivandino–Radovitsky» [5]. It follows from this:

In accordance with the paragraph «Destination of the line», the railway line is intended for «...providing firewood to Moscow from the Radovitsky forest area and forests of local importance in Shatura–Radovitsy region and organization of peat extraction from Radovitsky Mokh peat massif (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 5) (Here and further spelling and punctuation preserved – *author's note*).

In the paragraph «Basic technical conditions adopted in the design of the branch» we read: «Krivandino–Radovitsy railway branch is designed for one normal gauge track according to the technical specifications for design of lightweight railways, using the railway design instructions in wartime conditions. The length of the branch is 50 km. The guiding slope is 12 ‰ in both directions. The placement of separate points was carried out for a given throughput, with the loading of firewood, in the first years of operation of the branch, on hauls along the entire length of the line. The upper structure of the track: rails – old-fashioned different types; ballast – sandy, 0,15 m thick under the sleeper on station tracks – 0,10 m; sleepers – untreated 1440 pcs. per km on curves with a radius of 300 m – 1600 pcs. Basic provisions for design of the railway branch of Krivandino–Radovitsy, approved by the Chief Engineer of STP comrade Efimov, and the instructions of Soyuztransproekt on design of artificial structures for the branch, are attached to this note in appendices №№ 2 and 3» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 9).

Regarding the direction of construction, the project [5] states the following:

«4. Choice of the main direction.

The Radovitsky forest area is the main point where the railway branch Krivandino–Radovitsy is brought.

At the same time, along the way, in its middle part, the projected line is laid in the direction that ensures the maximum development of all forests located between Shatura and the Radovitsky forest area.

The project for development of the Radovitsky forest area, as well as all the forest areas located between it and Shatura, is compiled by Moslesprom trust of the People's Commissariat of Forests, with which the direction of the line «...» was coordinated. The operation of Prudovsky forest dacha of the Radovitsky forest area served by the final section of the route (42–50 km) is tentatively calculated by Moslesprom in 2–3 years, after which it becomes necessary to build a new «mustache», the direction of which is determined by Moslesprom towards block No. 102.

This is the second direction of the line, we examined it in kind with a breakdown of the route on the ground, but construction is currently not being carried out and belongs to the future» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 9).

From the «Minutes of the meeting under the chief engineer of Moslesprom trust of the People's Commissariat of Forests of the RSFSR on the choice of the main direction of the railway branch projected by the People's Commissariat of Railways» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 72) it follows that the volume of available wood in the Radovitsky forest area is approximately 410 thousand m³.

To illustrate the above fragments, let's get acquainted with the scheme of the projected railway line (Pic. 2). It follows from it that the actual route of the line under consideration to Sazonovo (Lesnaya) station corresponds to that in the project. In accordance with the project, the construction continues in a southeast direction up to the 50th kilometer, and the continuation in a southwest direction towards the village of Radovitsy, that is, where the construction of Ryazanovskoye peat enterprise will later unfold, «belongs to the future». Therefore, the statement of the author of the source [3] «...This does not mean that Sazonovo–Ryazanovka section was built later – the date of commissioning for permanent operation may differ significantly from the date of opening of temporary traffic» can be considered refuted in terms of the non-simultaneity of the construction of Krivandino–Sazonovo and Sazonovo–Ryazanovka sections.

Also, it can be argued that at least the first kilometers of Sazonovo–Pilevo line were built not in the 50s–60s, as stated in [4], but earlier, in 1943.

Taking into account the subsequent development of the peat industry in Radovitsy region, the question arises: was it planned, when



Pic. 2. Plan of the route of the railway branch Krivandino–Radovitsy (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 8. Published for the first time).

designing Krivandino–Radovitsy line, to use it in the future for peat transportation?

The answer is contained in Draft [5]:

«5. The question of the further direction of the line to the Radovitsky peat massif.

The projected railway branch Krivandino–Radovitsy, in addition to developing the Radovitsky forest area and forests located in the area of the route, can and should also be used to organize the extraction of peat from the Radovitsky peat area



«Radovitsky Mokh», located directly behind the Radovitsky forest area, to the south of the latter.

However, this issue has not been developed to date, and Giprotorf refused to give its reasons ... to report.

In view of the above, further development of the question of the continuation of the line to the Radovitsky peat massif was terminated at this point.

«...»

It should be noted that when drawing up the general scheme for development of the Radovitsky forest area by the Roslesproekt of the People's Commissariat for Forests in 1938–1939 the question was raised about construction of the Radovitskaya narrow-gauge railway on the cooperative basis of Narkomles with the Main Directorate of the peat industry, but, ultimately, did not receive any permission, due to the lack of more or less definite outlines and considerations in Giprotorf on the location of peat enterprises based on development of the Radovitsky Mokh peat massif, as well as in view of clarification of the directions of the main cargo flows of peat and its products ...» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 10).

Here is the text of a letter from the Giprotorf Institute regarding construction of peat enterprises on the Radovitsky Mokh peat massif:

«To the head of the Mostransproekt expedition, comrade Kuchin.

To your letter dated 29/VII this year No. 49, we inform you that the project for organizing a peat enterprise based on the Radovitsky Mokh peat massif is not currently being drawn up, and therefore it is impossible to indicate the direction of the continuation of Krivandino–Lesnaya line to the final peat station. For drawing up considerations, please submit a plan of the route at a scale of 1:100,000.

August 2, 1943.

P/p Manager of Giprotorf – Varlamov. The chief engineer of Giprotorf – Nikolsky» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 73).

However, the draft also contains the following letter:

«15.XI.39

Glavtorf reports that according to the preliminary plan of the III Five-Year Plan, on the basis of the Radovitsky Mokh and Ryazanovka peat massifs, it is planned to build a plant for artificial peat dehydration with the projected power of 300 t. per year and a peat briquette plant with the projected power of 300 t. briquettes per year.

In 1940, it is planned to start drawing up design tasks: and technical projects for the specified tasks and raw materials base.

The directions of the main cargo flows from these peat massifs have not yet been finally established.

Therefore, Glavtorf does not consider it possible for itself to take part in the joint construction of Radovitskaya narrow-gauge railway until the end of technical projects and until the directions of the main cargo flows are clarified.

II / n.a. head of Glavtorf – Samsonov» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 73. Reverse side).

Consequently, the assertion of the author of the source [2] that the main cargo on Krivandino–Ryazanovka line from the moment of construction was peat can be considered reasonably refuted.

The Draft [5] reports the following on the operation technology of Krivandino–Radovitsky line: «The line itself is serviced by steam locomotives of O^a series, also assigned to the depot of Cherusty station.

Two shunting areas are provided on the branch: one area from station Krivandino to station Pozhoga and the second district from station Pozhoga to station Lesnaya, including the continuation of the branch up to 50 km. Each shunting area has its own locomotive with a drafting brigade.

The arrival of empty cars for loading on the branches is provided from Moscow by one-piece trains or separate groups with combined trains, the acceptance of these trains at the station Krivandino is planned to be produced on the additionally laid track No. 4.

After uncoupling of empty cars, their technical inspection and registration of acceptance and delivery, supply for loading onto the branch is carried out by the branch locomotive of the first shunting area.

The locomotive enters the head of the empty train, 38 conditional two-axle cars are unhooked, which corresponds to two loaded trains plying along the branch / 19 in each / and, with the locomotive forward, sends them to the station Pozhoga. Here it makes an uncoupling of all the cars, and returns to the station Krivandino behind the next cars.

The next coupler, in the amount of also 38 conditional two-axle cars, the steam locomotive upsets on the stage to the station Pozhoga, or to the last point – loading of this area, from where,

on the return journey, it arranges the cars at the places of loading.

According to arrangement of cars, the locomotive returns to the station Krivandino and at the designed dead end No. 13, is waiting for completion of loading.

Meanwhile, the steam locomotive of the second area, in the same order, displays the empty from the station Pozhoga at the station Lesnaya, some of them settle on the branches, and the rest, on the return journey, arranges for loading points on Pozhoga–Lesnaya haul. It itself returns to station Pozhoga and waits for the end of loading.

At the end of loading, both steam locomotives, each in their area, by consistent upset and coupling, collected 19 cars and, in two journeys, withdrew them to the stations: the first to station Krivandino, the second – to station Pozhoga.

After withdrawal of two loaded trains at station Krivandino and liberation of Krivandino–Pozhoga haul, the first locomotive leaves to the station Pozhoga for equipment, and the second locomotive takes one of its two ready-made trains to station Krivandino, after which it returns to the station Pozhoga. And the first locomotive, having passed the equipment, returns to the station Krivandino with the remaining laden train.

Remaining at station Krivandino unloaded four conditional cars are placed by the 1st steam locomotive for loading on Krivandino–Pozhoga haul and, upon completion of loading, they are brought to the station Krivandino.

This completes the full cycle of daily shunting operations, lasting, in total, about 20 hours.

To ensure a given capacity of eight pairs of trains per day, the places of loading from hauls are transferred to separate points, where the track development expands to the limits indicated on the drawing.

Reception of loaded trains from the branch to station Krivandino is made on a new track No. 5, where, with the help of parallel ramps, a sequential accumulation of branch trains weighing 570 tons is carried out up to a full train of the main line, weighing 1800 tons.

As can be seen from the ratio of weight norms of trains, three branch trains form one full-weight train of the main line.

The share of the first shunting locomotive also falls on shunting work at station Krivandino, which consists of:

- a) Possible sorting of empty cars into covered cars and platforms.
- b) Formation of a train for Moscow/selection by weight.
- c) Pushing off of individual cars/patients and local loading and unloading.

For this purpose, station Krivandino is provided with an extractor hood and a dead end for pushing off of the cars.

When the full train is ready, a train steam locomotive is sent from the station Cherusti, with which the train leaves for Moscow.

General regulation of the distribution of empty cars for supply to the places of loading and cleaning of loaded cars at the station Krivandino, is carried out by the branch manager located at the station Pozhoga, by telephone» (SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 17-18. Reverse side).

To be continued

REFERENCES

1. Berzin, A., Mironov, V. Meshchera main line [Meshcherskaya Magistral]. Vladimir, Posad publ., 2004, 190 p.
2. Website about the railway. [Electronic resource]: <http://infojd.ru>. Last accessed 28.03.2020.
3. Railway line Krivandino–Ryazanovka. [Electronic resource]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13196.html>. Last accessed 28.03.2020.
4. Railway line Sazonovo–Pilevo. [Electronic resource]: <https://kirillfedorov4.livejournal.com/13483.html>. Last accessed 28.03.2020.
5. Technical project of the railway branch Krivandino–Radovitsy. SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 229–232.

LIST OF ARCHIVAL DOCUMENTS

- Russian State Archive of Socio-Political History (RGASPI) F. P-68 op. 2 d. 71 l. 20.
- Central State Archive of the City of Moscow (SBI «CSA of Moscow») F. T. 51 op. 62 d. 232 l. 5–81.
- SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 157.
- SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 179.
- SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 245.
- SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 269.
- SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 4 d. 96 l. 19–22.
- SBI «CSA of Moscow» F. T. 51 op. 62 d. 269 l. 71. ●

Information about the author:

Fedyanin, Aleksey I., Ph.D. student of Russian University of Transport, Moscow, Russia, lekha.fedyanin@yandex.ru.

Article received 08.02.2021, enlarged and amended 26.01.2022, approved 14.02.2022, accepted 05.03.2022.





About the Book by N. P. Verkhovsky «Railway Confusion». Part 3



News from the archives

The final part of the article published in two previous issues.

Let us remind that in 1910 the experienced railway manager Nikolai Petrovich Verkhovsky presented in the 8th Department of the Imperial Russian Technical Society the book «Railway Confusion» written by him, dedicated to the comprehensive solution of a wide range of pressing issues of organising the work of railways.

In the third part published in this issue, the emphasis is on the functions of the so-called local government councils within the railways and under the auspices of administrators of railways, role of the divisions of the traffic control within the railway companies and on countering the thefts and misappropriations. The speaker also commented on the organisation of the railway companies regarding the staff, and summed up his report with his main thoughts about the importance of railways.

Punctuation and vocabulary of the author are preserved in the text as much as possible. This publication exhausts the content of the report of N. P. Verkhovsky. Nevertheless, the Journal will publish in forthcoming issues extracts from the discussion that followed the report. Some aspects of the debates are still relevant at least from the point of view of statement of the problems.

Keywords: history, Russian railways, education, staff, management.

Verbatim report of N. P. Verkhovsky and the conversation in 8th Department of I. R. Technical Society on December 2, 1910, under the chairmanship of A. N. Gorchakov.

Chairman. – Gracious sirs! The program of Nikolai Petrovich's report is placed on the agenda. As you can see, it is very extensive, at least in terms of the number of lines it occupies.

Organisation of railway management

Organisation of local government councils. – «Non-technician» complains

about the Council of Local Road Administrations, in which representatives of the State Audit Office and the Ministry of Finance paralyze the energy of the head of the road and deprive him of proper practical performance.

«Therefore», he says, «the immediate goal of the local reform of the railways should be to create such conditions for the activity of the head of the road, under which he would really be free and independent in his orders, only then can one reasonably make the broadest demands on him

For citation: About the Book by N. P. Verkhovsky «Railway Confusion». Part 3. World of Transport and Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 230–240. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-12>.

Acknowledgements. The editors express their gratitude to the staff of the library of Russian University of Transport for their help in preparing the material.

*The text of the article originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст статьи на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

and make him responsible for unsatisfactory performance».

I disagree with this conclusion.

Author's opinion about the councils. – I must make a reservation that, in general, in my opinion about the utility and the need for the councils, at least at this time, I completely disagree with both the «Non-Technician», and with all higher railway engineers, as well as with the commission of the State Duma.

Not embarrassed by the exclusivity and isolation of my view, going against the favorite dreams of the chiefs of roads, I take on the thankless task of proving the irrationality of abolishing the institution of the councils.

The council cannot paralyze the energy of the head of the road, if only he has it. An energetic, active, capable and authoritative head of the road, possessing spiritual power, will always be able to prove to the council the rationality of his demands. Only a leader deprived of moral strength, incapable and not authoritative, or if he does not have such negative qualities, but only a weak character, can lose moral influence on representatives of outside departments and fail to impress them. The latter the more easily impose their veto on the demands of the head of the road, the more pliant he is and the more frivolously he defends his proposals. The seriousness of the protest of the head of the road paralyzes the views of the representatives; they, for special opinions, with which they are obliged to motivate disagreements with the leaders of the road, will not find serious grounds for refusals and refrain from them.

The chiefs of roads, as chairmen of the councils, have such extensive powers as to give them, in cases of disagreement with the council, to suspend the execution of the decision of the council and appeal against it before the management committee, and in urgent cases they have the right to spend sums on their own responsibility. In such cases, of course, a sufficient supply of civic courage and self-righteousness is required. Questions are only decided collectively, but they are carried out by the sole authority of the head of the road.

The competence of the Councils. – Since the establishment of the Councils, I have served with six chiefs of roads, of which two really authoritative persons have always brought the Council to an agreement, although often after long disputes. «*C'est la force morale qui gagne les batailles*», said Napoleon.

The Council is in charge of economic and economic issues, which, with very rare exceptions, do not require haste: moreover, they can always be removed from the program for additions and changes and transferred to the next meeting. It is the official guardian of economy and economic conduct of business.

The head of the road himself is in charge of technical traffic and administrative orders without the participation of the Councils.

In the estimate of 1909, the expenditure for operation of all state-owned roads was given in the amount of 434 million, of which 41 million were allocated for new work alone. Somehow, it is even embarrassing for some persons to take on the sole responsibility for solving large monetary issues, not only in order to avoid mistakes, but even criticism – in a possible predilection.

Before the establishment of the Councils, complaints were constantly heard about various irregularities in the delivery of contracts, and there were even accusations of dishonesty. All this, with the establishment of the Councils, ceased, since for contractors of all kinds, the collegial decision of their affairs represents much greater guarantors of impartiality and justice than the sole one – by one head of the road according to the report of the head of the service. The practical, many-sided criticism to which economic questions are subjected in the Council protects them from the risk of hasty and subjective decisions.

The Councils saved the chiefs of roads from complaints and suspicions of dishonesty.

In almost all departments, financial, economic and economic issues are resolved in the presence, in the composition of many officials and with the participation of a representative of the State Audit Office. Why should an exception be made for the Department of Railways.

The Council without the participation of representatives of departments is one fiction that has no meaning, since not a single head of service will dare to object to an authoritative head of the road if he wishes to decide matters at his own discretion and under the pressure of his ferula. Such a family Council would be a ridiculous sham institution.

The question of the abolition of the Councils. – Last year in the State Duma the question of the abolition of the Councils was raised in the Duma, and they were defended only due to the persistent evidence of the Minister of Finance. Of their



composition, only one member from the Ministry of Railways was abolished, since the Minister of Railways and his comrade failed to defend their offspring, although they tried.

Unfortunately, the State Duma did not delve into the essence of the function of the Councils, identifying them with ordinary Councils, which have only advisory functions. In its own halls, harsh reviews and condemnation of the absolutism of the bureaucracy were heard, and the idea of collegial conduct of business was recommended, meanwhile, in this matter, it itself, apparently, unconsciously patronized absolutism and played into the hands of the desire for autocracy of the chiefs of roads.

The Duma sought to streamline and reduce the costs of the railways and began by wanting to abolish the collegiate institution, whose function is mainly to keep the railways from unproductive expenses, to defend the broad interests of the fiscal, against the claim to carry out the narrow interests of the Department of Railways.

In an effort to protect the state chest, it wanted to remove sentries from it.

Permanent member of the Ministry of Railways. – So far, one indispensable member from the Ministry of Railways has been reduced, which is done incorrectly, since this weakens the Ministry of Railways and the representation of its interests in the Management Council. The function of an indispensable member in the Council itself was almost exclusively pacifying, and as a neutral person who did not belong to the composition of those who spend public funds, representatives believed more than in management, and thus it was easier for the head of the road with the help of an indispensable member to conduct business and defend the interests of the road. Finally, the Minister of Railways often gave instructions to its permanent members for investigations of various kinds, and many permanent members presented detailed studies on the situation of various organisations on the roads and even made scientific investigations of the economic situation of the region of the roads in which they were part of the management. In many cases they earned their 6000 in good faith.

After the abolition of the credit for maintenance of permanent members and the abandonment of their positions, their absence from the Council was often very noticeable. Even the head of the Nikolaev road asked to leave the

representative of the Ministry of Railways for the performance of his duties without pay due to the fact that the indispensable member of the Council of the Nikolaev road was provided with a salary in another position, he willingly agreed to continue his service in the Council, which was allowed by the Minister and did not contradict the decision of the State Duma, since its credits have been destroyed, but the posts have been left.

Destruction of the Councils. – The Council is a young institution; its functions had to be developed, changed and supplemented, and not to destroy the very foundations of its existence. Inspired by the idea of cost reduction inspired by the State Duma, its speaker did not possess either the knowledge or the talent that would enable him to find really any significant articles for reduction, because of which it would be worth bothering the State Duma and break spears with the railway department. It limited itself to snatching out several posts from the general organisation of departmental institutions, without ascertaining their usefulness.

Another reduction in the cost of paying for posts, which constituted additional earnings for officials living in St. Petersburg and receiving double and triple salaries in combination, had its *raison d'être*, but the reduction in permanent members from the Ministry of Railways, that is, 120 thousand in a half-billion budget, is a trifle in financial success, as if tangible, but, in essence, bringing much greater losses that cannot be easily accounted for.

In the State Duma voices were heard about such insignificant reductions, which, by their insignificance, compromise the seriousness of the measures introduced into its life (member of the State Duma Nekrasov).

By destroying the Councils themselves, or even some representatives of the Department of Railways, the speaker, as an engineer of railways, played into the hands of his comrades in Kant, the very comrades whom he also smashed for their mismanagement, lack of system and abuse.

Inexplicable paradox. – There is some inexplicable paradox in this question. They accuse the local railway departments of mismanagement and abuse, and as a logical way out of this situation, the State Duma is recommended to abolish the Councils, as if they were founded, by their guardianship over the administration, to hinder the proper conduct of business. In my extreme understanding, such a conclusion is far from logic. The only logical

conclusion is to find and establish some defects in organisation of both institutions, that is, in the administrative and guardianship bodies. After all, the indicated abnormalities in the conduct of business existed in a more pronounced manifestation even before the Councils, where is the guarantor that the abolition of such an institution and the return to the old regime will have a beneficial effect on business?

One of the goals of the establishment of the Councils. – The establishment of the Council, among other things, was intended to bring together the services and departments in the person of the heads of services and departments, to mutually acquaint them with the activities of their colleagues, so that all leaders of the case were aware of the affairs of other services, thus achieving commonality and solidarity in the actions of the entire composition management, under the unifying and dominating influence of the head of the road, forming, as it were, a semblance of a cabinet in miniature, with the prime minister head of the road.

The project of the new organisation of the department. – According to rumors, in the project of the new organisation of the Department of Railways, the Councils were left with the participation of the chief controller and a member from the Ministry of Finance. If they go to the State Duma, with the organisation of representatives of departments not in the sense of bureaucratic screens, but in the sense of actual figures, then the question of their necessity will be finally resolved.

If, however, representatives of the State Audit Office and the Ministry of Finance are deprived of the right of veto and use only an advisory vote in the Council, these will be purely margarine Councils, devoid of any collegiate significance.

It is unlikely that the Auditor General and the Minister of Finance will agree to such an insignificant role of their representatives, dropping the prestige of these departments, not accustomed to props.

Representatives of these departments hold their banner high and are accustomed to always being real representatives who must be reckoned with, and not marginalized.

At present, the head of the road and the head of the service and departments must, with serious arguments, obtain the consent of representatives of departments to the measures they introduce to the Council, and so that their veto would not slow down the matter. With the abolition of the veto,

their deliberative voices will lose all meaning and significance, they will be the voice of one crying in the wilderness – and even worse, they will be listened to, but concretely show how much they are ignored, as if avenging their former strength. The situation will be ridiculous and insulting, and in any case unenviable for those who will have to be such representatives.

Participation in the Councils of chairmen of regional committees. – The project assumes the introduction of the chairmen of regional committees into the Management Councils, the event is almost fictitious, since in fact they are not able to fulfill their duty. There are three in Moscow, and two in St. Petersburg, local departments of state roads, therefore, the chairman of the regional committee will have to lose at least 2–3 days a week, devoting them to the activities of the Council, which, of course, it cannot do without prejudice to the committee's business.

The Eastern Committee, which has its residence in Samara, is too far from the road administrations included in its region, – Ashgabat at 3358 versts, Tomsk at 2559 versts, Perm at 1639 versts. Therefore, for one trip to these three departments, a whole month is required. Obviously, the chairman can visit the Councils of these departments no more than once a year, and such a visit, in order to take part in business, cannot have any business value.

Participation of representatives. – Invitation by the head of the roads, as the project suggests, to participate in the meetings of the Council of representatives of various public institutions, with the right of an advisory vote, in my opinion, cannot decisively have the slightest influence on the success of the management affairs. Obviously, the head of the road will invite his good acquaintances to the Councils, who will sing panegyrics to him and will not contribute anything significant to the economy of the road. Persons who could point out defects in road management will not be invited. In general, the introduction of participation in the Councils of the chairmen of regional committees, and outsiders, at the arbitrary invitation of the chiefs of roads, in my opinion, is a bad compensation – the removal of the right of veto from representatives of departments and the removal of permanent members from the Councils from the Ministry of Railways.

History of the question. – In order to clarify the actual state of affairs, it does not hurt to cast



a retrospective glance and look a little into the history of the railway business, which I will recall here in brief.

Inspection. – In the good old days, when the roads were still private and there was an inspection, which also interfered with the road managers (?), things went decently; why? – it's hard to say. But, in all likelihood, the matter itself was much simpler, and at the head of the roads stood people who had come to the fore in their organisational abilities.

The inspection was canceled, giving the manager inspector functions over the manager, or over himself, his hands were untied; but did it get any better?

Coal Committee. – Already in the eighties, difficulties in coal transportation, which independent road managers could not cope with, forced the Minister of Railways to apply for appointment of a special engineer with the highest authority to regulate coal transportation in the coal region. This engineer (V.M. Verkhovsky) organized coal transportation and organized the Kharkov Committee, which later became the prototype of the current regional committees.

Depersonalisation of rolling stock. – By the way, the same engineer, by virtue of the authority given to him, introduced depersonalisation of car rolling stock of all Russian broad-gauge roads, and the roads were finally spared from overloading goods at all transfer points, which represented an extreme difficulty in the speed of transporting goods and a lot of inconveniences that have long been recognized by all roads. But the administrations of various roads and the governors could not come to an agreement among themselves and did not decide on such a generally useful measure, the necessity of which was recognized by all. It took a sole power hand to cut at once this Gordiev knot, tightly tightened by obsolete and harmful traditions.

Such a statement of burning questions does not prove the independence of road managers and their ability to achieve solidarity among themselves in solving important basic issues and indicates the need not to leave them without authoritative employees (nannies).

General charter. – This commission developed the General Charter, which was put into effect in 1885, which laid the foundation for the regulation of the railway business and established the legal relations of the railways to their customers, i.e. passengers and cargo

owners. Road customers have the right to legally seek their losses through the court in case of violation by the roads of the rules for transportation and delivery of goods established by the General Charter, which became law.

Distribution bureaus. – Already in 1894, the formation of constant blockages of the station and the clutter of cars even of entire roads necessitated the establishment of distribution offices, which were not to the taste of the road chiefs and managers. Some of them did not even want to carry out the orders given by the heads of the distribution bureaus to send cars to the border stations.

But if the roads themselves could agree among themselves on the regularity of movement of laden cars, then there would be no need to invent special bureaus. Obviously, the existing defects in transportation, which independent chiefs and road managers were not able to eliminate by the solidarity of their actions and orders, caused an organisation that intruded into their competence.

Attorney's instructions. – Around the end of the eighties, the Minister of Railways approved an instruction for attorneys for judicial affairs of state-owned railways, developed by the railway department, which put the legal advisers of local departments in a position almost independent of the chiefs of roads. Obviously, this was done only because the chiefs of the roads, due to their tyranny, showed a tendency not to recognize the legal provision and not to take into account the opinion and conclusion of legal experts.

Such an event could not but damage the prestige of the chief of roads, but it was caused, on the one hand, by the tactless manifestation of tyranny of engineers who consider themselves universally educated and competent in solving even court cases, and on the other, to raise the authority of the legal consulate in the eyes of the chiefs of roads.

In the meantime, deficits, riots were crescendoing.

State control, councils and general assemblies. – Finally, state control was established, first subsequent, and then preliminary. Councils, general presences, and finally, in the last stage, regional committees were necessary.

District committees. – The last institution, more than any Council, tied the heads of roads, as well as managers, as they say, hand and foot, and, most importantly, tied them not in economic functions, but in purely administrative ones.

In view of the novelty of this extremely useful institution, the special sympathy for it by the Minister himself and the Railway Administration, who rightly place great hopes on it, they do not yet risk complaining about the constraint they have on the initiative of the heads of the roads; but that it really paralyzed their independence, so it does not require proof in its obviousness. In addition, the committees demand a lot of work from the roads, and the Councils only copies of reports that are typed in several copies on a typewriter and do not give extra work.

Management of private roads. – There are constant voices in the general and special press claiming that private roads are better managed than public ones. If this is true, is it not because the manager of a private road has incomparably less independence than the beginning roads. All orders, purchases and contracts with counterparties are made by the board, which is also a collegiate institution of three or four directors.

The board, having one road in its charge, establishes constant and direct communication with the administration and is aware of all the affairs of the road, and the manager consults the board on everything and asks for its permission. The appointment of all higher and even middle agents depends entirely on the will of the board, and without its consent, the manager of the road cannot dismiss any of the agents appointed by the board.

The head of the road is an authorised representative of the railway department, and the manager is only the clerk of his board.

The administration of state roads, having 40000 versts of roads in its charge, cannot communicate with the lines at all and is almost completely unaware of everything that happens on the lines. The role of the Board of private roads, in some way, is included in the functions of the Councils and an indispensable member from the Ministry of Railways on public roads.

In any case, if we consider the Councils as uninvited spies on the activities of state roads, then there are much more spies on private roads.

If the mediocrity of some road chiefs deprives them of the opportunity to fight with the members of the council, then the abolition of the latter can be mistaken for the patronage of mediocrity. Such a decision by the State Duma sins against the natural historical and economic evolution – the absorption of weak lifeless elements – by strong

viable ones. Only the triumph of absolutism glimpses in it.

It is impractical to squeeze real life into the framework of doctrinaire regulations; it won't fit in them. I am deeply convinced that in a few years the impracticality of abolishing the Councils of the former organisation will come out in bold relief and will have to, volens-nolens, move back.

Only one event can save the department from such a retrospective movement – this is a serious preparation of the chiefs of roads for their difficult activities and strict businesslike, without any influence of connections and recommendations, the selection of worthy engineers and figures who are outstanding for their talents, honesty, abilities and merits before the department and the railway deed: «*Da ist der Hund begraben*».

Railway revisions. – Having worked on the railways in the highest positions for 38 years (since 1871), I had to serve with 5 managers and 6 chiefs of roads and, unfortunately, I had to come to a conclusion that was not particularly flattering for most of them.

Attitude of managers and chiefs of roads to business. – In the old days, the roadmasters did business, or at least tried to do it quite rightly; their relationship to employees was distinguished by impartiality and even fatherly participation; in everything one could see, as it were, a consciousness of the seriousness of one's duties, there could be responsibility for one's actions, although at that time life and service were much simpler and freer, but on the other hand, everyone was somehow more conscientious about work and worked not out of fear, but for conscience (Good Old Time!!!).

Resolutions. – In recent years, such an attitude towards business and employees has been noticed, which, as it were, excludes any possibility of being liable. One has only to look at the resolutions imposed by some road chiefs on papers, reports and reports to be convinced that a lot of them are imposed on the assumption that they will never see the light of day and will not catch the eye of those who are superior or revise their activities. The assumption is absolutely correct, since none of the persons expelled from the road administration and the Ministry ever looks into internal correspondence. It is like a domestic affair, in which, as they say, the soul is wide open, and here its good and bad sides are most visible.



Office correspondence. – Meanwhile, all the senior officials of the administration and, of course, the chiefs of the roads themselves devote the greatest amount of their official time to correspondence, and it can serve as a characteristic criterion for the outlook and activities of the chief of the road and every senior employee; to look into it not only does not interfere, but it should. As long as the internal correspondence of the head of the road with the heads of services and the latter among themselves and internal office work are not subject to control or review, until then there will be no order on the roads.

I have in my portfolio many samples of various resolutions on very serious issues and cases that are not only in the field of order on the roads, but also in traffic safety, and are more suitable for humorous magazines than for serious business. Someday they will see the light and surprise it with their absurdity. During the audit, such correspondence will specifically show the unpreparedness of many senior employees and chiefs of roads to carry out the serious tasks assigned to them, and on the other hand, it will put forward capable people who for some reason remain in the shadows.

Permanent ministerial audits. – To lift the veil of such hiding places, an organisation is needed, something like senatorial audits, carried out periodically on all state roads, without any specific reason. High-ranking members of the Council of Ministers could be appointed to carry out such audits.

Audit method. – 20 public roads could be surveyed every four years, up to five roads per year. Of course, it is necessary to start the revision from those roads, behind which there are many defects.

The commissions of council members must include specialists from all services, so that the system of «rubbing points» does not take place and that the audit is carried out by the members personally, with knowledge of the matter and complete impartiality.

Persons with an impeccable past should be appointed as the chairman and members of the audit commission, so that neither society nor employees could suspect them of one-sidedness and predilection for persons within the scope of the audit. At the same time, the audit should be quite business-like – without any tendency to a police investigation.

The same audits could deal with complaints from employees and individuals about the road management.

Such an institution would have a beneficial effect on the reconciliation of society and the press with the railways and on the course of railway business, and at the same time would give the Minister a powerful key to the study of the railway *Terra incognita*, with all its ethnographic life and its features.

The dominant position of the traffic control service. – The traffic service is the only service that generates railway values, and the entire profitability of the road depends on the correct organisation of its activities.

Its main functions are to meet the needs of the population in transportation of passengers and goods, under the indispensable condition of the lowest costs and the greatest utilisation of rolling stock provided at its disposal.

The task is difficult, and its fulfillment depends entirely on the following conditions:

- 1) Successful selection of personnel, from the top to the bottom inclusive.
- 2) Funds provided to the service in relation to the reception, throughput and carrying capacity of the road.
- 3) Friendly cooperation of all other services, especially technical ones, in installation of permanent and temporary equipment necessary for performance and facilitation of the work of the service.

Traffic administrators. – For a long time, the positions of chiefs of the traffic service were occupied exclusively by practitioners who stood out for their diligence and ability to manage business and successfully use the rolling stock.

Thus, the traffic service, due to the lack of authority of its principles and the significant authority of the chiefs of the track, which were always engineers of the lines of communication, and subsequently the chiefs of traction, which were mostly headed by mechanical engineers, was relegated to the background and lost its real place.

Change of view on traffic service. – Recently, the view of the dominant position of the traffic service in the environment of other services has been revived again, and it is beginning to be given its due place. This is mainly facilitated by the realisation that the success of the business and profitability of the roads depend on sufficiency and convenience of the equipment necessary for correct

performance of the functions of movement, and on the diligence of its agents. The scarcity of roads forced everyone to pay serious attention to the correct operation, to elimination of unproductive costs, and mainly to productivity of rolling stock runs, its turnover and disposal. The damage caused to the state economy forced me to take up arithmetic and learn how to count, extending this calculation to all sectors available for accounting.

Raising the prestige of the traffic service was greatly helped by the Management Councils, in which the representatives of the traffic service were equal among three main services and *«began to dare to have their own opinion»*, and, moreover, quite openly and officially. They even have the right to submit dissenting opinions.

An authoritative position is won back by the heads of movement with their personal desire and energy: but this is not enough, it is necessary to regulate this issue and de jure put them in a dominant position. The cause itself and its interests beg for it; one must go with the current demands of the interests of agriculture, industry and trade, which in this case are in solidarity with the interests of roads.

Let's take even the domestic business of management: at the head, all services and departments have reports once, many times twice a week; only the head of traffic has a daily mandatory report, and in hot times, so his meetings with the head of the road are even more frequent and longer. This means that the whole essence of the matter is in the orders for movement, and the head of the road should be most interested in them. Finally, a lot of general orders in the interests of the traffic service must be made by the head himself or the manager of the road, and all of them are prepared only by the head of traffic and his office.

Nine-tenths of all the requests of the Ministry and the Road Administration, with which the head of the road is bombarded during the hot time of heavy traffic on the road, are entirely derived from the field of activity of the traffic service and the answers are given by the same head of traffic, in agreement with the head of the road, or at his direction.

The business trips of the chief inspector, senior and junior inspectors on the line are mainly focused on issues related to transportation of passengers and goods. Finally, a new vast organisation of the Central and Regional Committees is exclusively created for the vast

business of regulating transportation of goods throughout the Empire. It deals almost exclusively with traffic service functions.

All this shows how important the activity of this service is in itself, how much the activity of all other services is exclusively dependent on it, and how much they are obliged to try, by all their means, to contribute to successful fulfillment by the traffic service of its obligations that it concludes with road customers, as from a legal entity, and are binding.

Theft. – Now let's consider the issue of one of the main modern plagues – mass theft.

Theft is an element, a thousand-headed hydra, engulfing the entire railway business with tenacious tentacles. This is a poison that has been absorbed into the flesh and blood of the railway brethren. We intellectuals, to our shame, are deprived even of the possibility of blaming everything on our little brother. The latest major predatory tricks show that former senior employees are among the leaders and organizers. Stousy rumor even names people who are in the service and, moreover, in fairly high positions.

Nowhere in the world is theft so widespread as it is here. It is especially pronounced in two areas: in the commissariat and on the railways.

In the first, the treasury suffers directly and indirectly the population. In the second – on the contrary.

The losses inflicted on the treasury by embezzlement are too great to be overlooked, and serious measures must be developed to combat them.

Dismissal from service and bringing to justice, with the vastness of our road network, becomes only a local event, why should it be extended to the entire network by starting a special black book in which to enter the names of those dismissed with notes on their exploits and notify all departments about them, in order to avoid accepting them for service on roads remote from the former arena of their actions. Such subjects should not be returned to the railway. They should also lose the right to state pensions, if they have earned them, and to state surcharges on their pension contributions.

It seems to me that all the measures I have outlined in relation to raising the moral level and well-being of employees should help to eradicate the desire for theft among the employees themselves; then the theft should be significantly reduced, and the fight against them will become easier.





Freight artels of the Varyag Union. – There is one method and an extremely radical one, but its implementation requires a lot of work, perseverance and endurance with the direct participation of the Railway Administration and even the Ministry of Railways, and, perhaps, some other ministries.

My colleague on the Transcaucasian roads, Mr. Semyanyshyn-Ardatiev, came up with the bright idea to form a common artel of loaders both on railways and on steamships, under the firm of the Varyag Union. This artel should consist of all persons involved in the reception, storage, transportation, loading, reloading, unloading and delivery of goods of all kinds and speeds.

Thus, from the moment it enters the railway or steamship, the cargo must be under the control and protection of a responsible artel, which, according to an agreement concluded with the Railway Administration, or even with the Ministry of Railways, is fully responsible for its integrity and safety.

Such a huge common artel, spread over the whole of Russia, and taking into its strong hands

the entire commodity business of means of communication, will be the only reasonable and real measure to eliminate all theft and abuse in transportation of goods. Small artels are aimless: they themselves steal from each other.

An artel, consisting of heterogeneous elements and based on commercial principles, based on monetary gain, will be able to monitor its members so that they not only do not plunder the goods, but also protect them from strangers who are not involved in the artel. No one can see to the integrity of the cargo and to each individual member better than his own brother can. It is unprofitable to steal from each other; it is better to be content with an honest conduct of business and receive the due remuneration for work, and even dividends from the general income of the enterprise.

Having familiarized myself with the project of the «Varyag Union» and finding it quite expedient and the only measure that could save not only roads, but the entire population from mass theft, I submitted a note about it to the Minister of Railways and wrote an article «Freight artels», which was published in No. 3 of the journal «Ways

of Communication»¹. The editorial staff of this journal proposed an exchange of opinions on this issue, but now more than six months have passed, and so far no one has responded.

The inertia of the railway intelligentsia. – Is it really that the Russian railway intelligentsia is so inert that it is not interested in such a serious and burning issue, which, representing a huge black spot lying on the entire railway world, imposes on the railway authorities and the entire railway society a moral obligation not only to actively fight this evil, but and find all sorts of ways to deal with it.

Once such a method is indicated, it is necessary to disassemble it in detail from all sides, develop it in detail and decide whether it can be carried out or not. But to leave it unattended, to pass over in silence and not to offer our own, perhaps more practical and reasonable methods, is simply unforgivable in my deep conviction. A private institution, like the journal «Ways of Communication», offers its gratuitous services as an intermediary in the development of such a burning issue, and its efforts are silenced. If it is a sign of consent, then all the more it is necessary to declare it.

The logical conclusion from such an indifferent attitude to the general topic of the day, which oppresses all citizens of our vast fatherland and brings incalculable losses, is very unflattering. It may be thought that the modern predatory *status quo* is tempting, to the benefit of the railway world, which is why they are not taking any measures to curb it.

Is it possible that those stinking slops (pardon the expression) with which railroad workers are constantly doused do not yet represent sufficient incentive to arouse in them a sincere desire to work in the interests of streamlining the case, without postponing such work *ad calendas graecas*.

This is a matter of national importance; I think the State Duma should pay attention to it and render its powerful assistance to its implementation.

Although the program of the report includes many more issues that I touched upon in my book, but due to lack of time I will limit myself to listing them as urgent and necessary.

Reorganisation of the collection service, accounting reporting, increase in legal departments and change in the activities of commercial departments.

¹ See also «Zheleznodorozhnoe delo», 1902, p. 157.

General Activity

Easing antagonism between employees; regulation of free travel and use of service and protection cars; the fight against ticketless travel, the reduction of correspondence, the fight against the dominance of foreigners, the reform of the leasing of station buffets.

Technical Equipment of Railways

Gradual systematic rearrangement of station tracks in accordance with the functions of the station.

Gradual systematic restructuring of warehouses and platforms for loading and unloading goods and changing their types.

Organisation of large and small repairs of rolling stock on more rational grounds for traction and traffic services.

Gradual systematic distribution of different types of locomotives along the roads and destruction of types of locomotives and cars that do not correspond to modern technology.

Construction in the required quantity of a fleet of special cars – refrigerators for transportation of perishable goods over long distances.

Internal Organisation of Services

Elaboration and legalisation of a systematic system for changing sleepers and rails, and coefficients for the cost of repairing the upper track of railways and the number of workers per verst of the section.

Elaboration of special rules for accounting of tarpaulins, shields, animal bars, in order to avoid their loss along the roads, as well as the rules for their maintenance and repair.

Development of special rules for the repair of inventory of traffic services.

Development of special rules for sealing cars.

CONCLUSION

Finishing the report, I cannot but make a general conclusion.

The vastness and seriousness of the railway business does not for a moment allow me to look at my work as having exhausted all its features and needs. I pointed out only what I noticed and what, in my personal opinion, needs to be reorganized and streamlined. I have no doubt that there may be much more that has escaped my memory and that others will point out.

But, in any case, what I wrote about and what I pointed out, in itself shows what colossal work



still needs to be done in order to streamline the railway business in its entirety.

Indeed, in fact, it must be admitted that there is absolutely no branch of the railway business about which one could honestly say, hand on heart, that it is completely organised and does not require fundamental changes and significant additions.

Life moves forward, especially railway life, as a technical one, in our age to improve and invent movements with great speed, and additions and changes are constantly needed in it. But in the modern formulation of the railway business, what is needed is not changes and additions, but the development of fundamental foundations, precise rules and regulations, without which the work cannot continue correctly.

There are several roads, more or less arranged, with a mass of excellent and well-organized institutions, there are a lot of partial useful and properly arranged devices on all roads, but in order for the whole organisation to be noticeable any commonality, some guiding idea of integrity and solidarity, – it is imperceptible.

On the railways, business is conducted according to the Russian proverb: «Everyone is done in his own way». The internal routines for each road are different, rarely any of the chiefs of services, having visited other roads and looking at their orders, tries to instill them in its own road, despite the fact that he recognizes their advantages.

It is understandable if the majority seeks to take the post of head of a service or department not out of dedication to the cause, love and devotion to it, but only because of an advantageous position in material terms and honor among employees and society, and does not seek to introduce possible improvements, ordering things and improving them. And it is known that any stop in development of a business leads to its regression.

Our inertia has led to a regression that has penetrated all branches of the railway business. It is necessary to stir up this inertia, and if the authorities do not have the desire to work progressively, lovingly treating the matter, then such authorities should not be allowed to get involved in the matter even for a cannon shot. I began my conversation by expressing my credo that the main thing is in the leader, and, ending it, I confirm the same view.

We see that the highest authorities are striving for this, are working energetically; need to help them. Without joint activity, friendly help, the work of the authorities will be, if not powerless, then at least less productive, since an inert attitude towards such work is tantamount to an active brake, if not a boycott.

The good intentions of the current Minister to work hard to put the railway business in order make, in turn, to wish that his Ministry work would not be short-lived.

It is not superfluous to mention that frequent changes of ministers had an unfavorable effect on the course of the entire railway business. Before the department has time to get used to and adapt to the views and requirements of one minister, as with the appointment of another, new views and new requirements appear, most often completely opposite, so it is rather difficult to adapt to them right away.

In addition, a lot of time and labor is completely unproductive, in reshaping the old order, only in order to start a new Sisyphean work with new trends.

For a hundred years, from 1811 to 1909, there were 19 Ministers of Railways; only four of them managed the Ministry for a long time: Posiet for 14 years, Count Kleinmichel for 12, Duke of Wirtemberg and Prince Khilkov for 10 years each. The rest are from one year to 8 years. Five ministers held office for one year or less.

Even a professional genius in such a short time could not have done anything serious for the department.

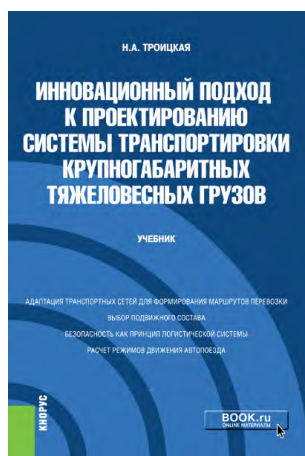
The current Minister is already the twentieth in the century of existence of the department; we wish him success in his work and continued leadership of the ministry.

Everything I have said shows what a colossal amount of work the Department of Railways has to do in order, one way or another, to lead to a successful solution of urgent problems and to carry out the organisation, reorganisation and improvement of the entire railway economy.

Modern railroad leaders, in my opinion, should take on the work and honor of such work. God is with them!

– Dixi et animam salvavi!!

End of Part 3
N. P. Verkhovsky
(Zheleznodorozhnoe delo [Rail Business],
1911, Iss. 21–22, pp. 50d–60d) ●



BOOK REVIEW

242

Textbook for transport employees is dedicated to heavy road haulage.



BIBLIO-DIRECTIONS

ABSTRACTS OF SELECTED D.SC. AND PH.D. THESES

244

- *Unsteady contact interaction of elastic shells and solid bodies*
- *Design and technological solutions for cable-stayed bridges with a reinforced concrete stiffening beam for Myanmar*
- *Interaction forces in the wheel-rail contact following a change in the tribological state of the rail surface*

NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

248

Newly published books and texts on transport.



Textbook on Transportation of Oversized Heavy Cargo



Valentin V. SILYANOV

Valentin V. Silyanov

International Association of Automobile and Road Education, Moscow, Russia.

✉ vvs@madi.ru.

Troitskaya, N. A. An innovative approach to design of a system for transporting oversized heavy cargo: Textbook [Innovatsionniy podkhod k proektirovaniyu sistemy transportirovki krupnogabaritnykh tyazhelovesnykh gruzov: Uchebnik]. Moscow, KnoRus publ., 2022, 234 p. ISBN 978-5-406-09189-0.

The problems of transportation of oversized heavy cargo are among the most difficult in the transport sector. This is due to a wide range of weight and size parameters of the transported goods. In this regard, the publication of the textbook «An innovative approach to design of a system for transporting oversized heavy cargo», developed by Professor of the Department of Automobile Transportation of MADI, D.Sc. (Eng) Natalia Troitskaya with the participation of Associate Professor of MADI, Ph.D. (Eng) M. V. Shilimova is relevant.

Keywords: logistics, organization of transportation, oversized heavy cargo, MADI, professional activities of drivers, legal documents to ensure safe transportation.

The textbook is based on a generalisation of many years of domestic and foreign experience in the field of scientific research, design and organisation of transportation of oversized heavy cargo (OHC). The results of participation of employees of the department of the Road transportation of MADI in design and implementation of the processes of transportation of OHC are reflected.

Approaches to analysis and classification of OHC, methods for constructing and transforming transport networks, formation of material and information flows, the principles for choosing vehicles and the possibilities of the transshipment process are considered.

The textbook pays great attention to the professional activities of drivers transporting OHC on the country's general transport network of roads. The emerging risks and methods for their elimination are also considered.

The content of the work covers all the most important aspects of designing a cargo transportation system from the standpoint of logistics and preventive measures at possible risk sites.

The main directions of creation of OHC transportation system are considered, taking into account their specifics and features.

The logistic principles of formation of OHC transportation system are considered. The specific features of such cargoes are revealed, taking into account the limitations of their parameters by mode of transport.

A list of legal documents to ensure safe transportation is given.

The principles of adaptation of transport networks to the specific parameters of these specific cargoes are revealed.

A methodology has been developed for forming routes in urban conditions, as well as

For citation: Silyanov, V. V. Textbook on Transportation of Oversized Heavy Cargo. World of Transportation, 2022, Vol. 20, Iss. 2 (99), pp. 242–243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-13>.

*The text of the review originally written in Russian is published in the first part of the issue.
Текст рецензии на русском языке публикуется в первой части данного выпуска.*

along intercity highways, including international traffic.

Particular attention is paid to the choice of specialised rolling stock for certain types of cargo. The world innovation trends are analyzed to create fundamentally new design solutions for the creation of efficient, reliable and safe vehicles for certain groups of OHC.

The book also reflects the security issues of transportation of such goods on a common transport network based on a logistics approach.

The authors paid particular attention to the need to develop preventive measures to reduce the degree of risks in design and transportation process.

We should not forget about the important role of weight and dimensional control of a vehicle with cargo throughout the transportation route.

Various approaches to organization of reloading operations are considered based on the analysis of the most common methods of reloading, and fundamentally new effective mechanisms for loading and unloading operations used in domestic and foreign practice are given.

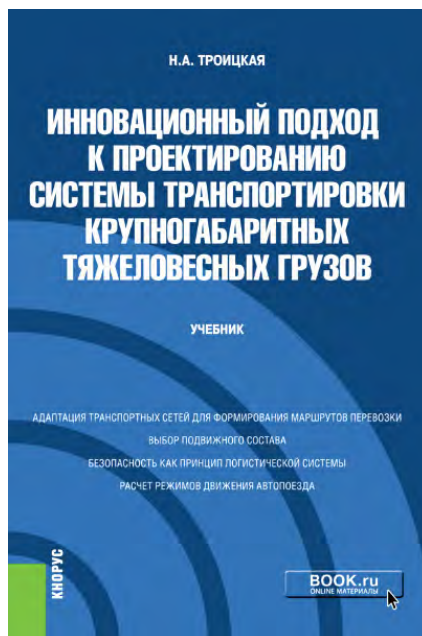
The system proposed in the work for assessing the professional qualities of drivers of specialized vehicles of heavy trucks is of particular interest.

For the first time the principles of selection of drivers by questioning are formulated.

The main possible sanctions are listed for violating the route and mode of transportation of OHC, for not having a permit for a specific route, or for exceeding the geometric and weight parameters of a road train with a load specified in the permit, for the driver, for the official responsible for transportation, and for the legal entity.

A technique for establishing rational modes of movement of a road train with OHC in the general traffic flow with identification of sludge places for passing a «pack» of cars at low speeds of a heavy truck is presented.

Attention when transporting OHC, according to the authors, should be paid to traffic safety as the main principle of building a transport system on the general road network of the city and in intercity traffic.



The textbook provides recommendations for improving the design process and practical implementation of OHC transportation.

Particular attention is paid to the following issues:

- Creation of a technically, economically and environmentally safe efficient route.
- Rationale for the choice of specialized rolling stock.
- Modernisation of the process of organizing transshipment operations in multimodal cargo transportation systems.
- Expansion of the field of implementation of logistics approaches using automated software systems.
- Creation of new normative documents regulating various aspects of the transportation process of OHC transportation.

The textbook «Innovative approach to design of a system for transporting oversized heavy cargo» meets all modern requirements for educational literature. The book is recommended by the Expert Council of educational-methodological department in the system of higher education and secondary vocational education as a textbook for the bachelor's and master's programs «System Analysis and Management».

Information about the author:

Silyanov, Valentin V., D.Sc. (Eng), Professor, President of the International Association of Automobile and Road Education (MAADO), Moscow, Russia, vvs@madi.ru.

Review received 28.04.2022, accepted 29.04.2022.

SELECTED ABSTRACTS OF D.SC. AND PH.D. THESES SUBMITTED AT RUSSIAN UNIVERSITIES

*The texts of the abstracts originally written in Russian
are published in the first part of the issue.*

*Тексты авторефератов на русском языке
публикуются в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-14>

Fedotenkov, G. V. Unsteady contact interaction of elastic shells and solid bodies. Abstract of D.Sc. (Physics and Mathematics) thesis [*Nestatsionarnoe kontaktnoe vzaimodeistvie uprugikh obolochek i sploshnykh tel. Avtoref. dis... doc. fiz-mat. nauk*]. Moscow, MAI publ., 2021, 38 p.

The rapid pace of development of modern modes of transport, aerospace, shipbuilding, automotive and aviation industries dictate increasingly high requirements for the accuracy of calculations of the stress-strain state of a structure under various types of non-stationary effects in contact interaction conditions. This area is currently among the least explored. The solution of such problems is complicated by the need to take into account the initial conditions, the mixed and nonlinear nature of the boundary conditions, and also, in some cases, the unknown in advance of the contact area, which depends on time. The heightened interest in these questions is explained, on the one hand, by the rather wide range of their practical application, and, on the other hand, by the openness of many questions in the theory of contact problems.

The objectives of the work are development of mathematical formulations of non-stationary contact problems for thin shells and elastic bodies, construction of methods and approaches to solving, creation and implementation of effective numerical-analytical algorithms for solving new non-stationary contact problems, obtaining and analyzing solutions to these problems in plane, axisymmetric and spatial formulations.

A mathematical formulation of non-stationary contact problems is given for thin cylindrical and spherical shells with and without a filler and an elastic half-space, taking into account the mobility

of the boundaries and the multiply connectedness of the contact area.

A method for solving such contact problems based on the use of influence functions has been developed and generalized, including an iterative process for determining the contact area. The effectiveness of the applied approach to the solution is proved due to a significant reduction in the dimension of the problems under study.

Non-stationary two-dimensional and spatial influence functions for cylindrical and spherical shells with and without filler are constructed and studied.

A solution is constructed for nonstationary two-dimensional contact problems with moving boundaries for cylindrical or spherical shells and an elastic half-space. Two approaches are proposed and implemented that are valid at the supersonic and arbitrary stages of contact interaction. A comparison is made and the agreement of the results obtained with the use of these approaches is shown.

Solutions of non-stationary contact problems for two cylindrical or spherical shells are obtained taking into account the elastic filler. An analysis of the influence of the presence of a filler on the process of contact interaction was carried out.

For an arbitrary time interval, an algorithm has been developed and implemented for solving a spatial nonstationary contact problem with moving boundaries for a cylindrical shell and an absolutely rigid impactor bounded by a smooth convex surface. The results of calculations were obtained and analyzed.

01.02.04 – Mechanics of a deformable solid body.

The work was performed and defended at Moscow Aviation Institute (National Research University).

Maung Maung Win Aung. Rational design and technological solutions for cable-stayed bridges with a reinforced concrete stiffening beam for the conditions of Myanmar. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [*Ratsionalnie konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya vantovykh mostov s zhelezobetonnoi balkoi zhestkosti dlya uslovii Myanmy. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk*]. Moscow, MADI publ., 2021, 25 p.

In recent years, in Myanmar, considerable interest has been paid to the use of cable-stayed

bridges, including those with a reinforced concrete stiffening beam, since this type of cable-stayed bridges, in terms of its structural, technological and economic indicators, is the most rational solution for road bridges of medium and large spans.

At present, there are no structural and technological solutions for cable-stayed bridges with reinforced concrete stiffening beams in Myanmar. Justification of the main ratios and general dimensions of cable-stayed bridges, taking into account structural and technological factors, as well as the study of the stress-strain state of their load-bearing elements, would make it possible to fully take into account all the specific features of operation of these structures for Myanmar conditions.

The objective of the thesis is to develop rational structural and technological solutions for cable-stayed bridges with a reinforced concrete stiffening beam in relation to the conditions of Myanmar based on a broad study of the stress-strain state of load-bearing elements, taking into account all the features of the bridge structure.

In the thesis, tasks were set and solved, using the methods of finite element analysis and computer modeling using the Midas/Civil software package, to develop rational structural and technological solutions for cable-stayed bridges with reinforced concrete stiffening beams in relation to the conditions of Myanmar. The analysis of the most widely used structural and technological solutions for cable-stayed bridges in Southeast Asia was preliminary carried out and the ranges of geometric parameters of constructed and operated bridges were determined. The most used technologies for construction of cable-stayed bridges in this region were also analyzed.

In this paper, the stress-strain state of cable-stayed bridges with a reinforced concrete stiffening beam in the elastic stage from the action of constant loads and live loads, as well as temperature and wind effects has been studied. A dynamic analysis of the cable-stayed bridge was performed with determination of the period of natural oscillations, as well as assessment of survivability of the cable-stayed bridge in case of a break in several cables. In the course of the study, a finite element design model of a cable-stayed bridge was developed for its detailed analysis and the most rational geometric parameters of cable-stayed bridges and arrangements of cables on them for Myanmar conditions were determined. Using Russian, American and European models, a study

was made of the effect of long-term processes in concrete (shrinkage and creep) on the behavior of cable-stayed bridges at various levels of environmental humidity. Also, a comparison of various technologies for construction of cable-stayed bridges was carried out and, using a staged computer analysis, the most effective technology for construction of cable-stayed bridges in Myanmar was determined.

The conducted studies allowed us to formulate the following conclusions:

- The use of computational models based on finite element methods is an effective means of conducting scientific and engineering analysis of structures of various systems in order to select the most rational for certain conditions of construction and operation. Comparative analysis of the results of calculation of cable-stayed bridges with a reinforced concrete stiffening beam using various software packages shows that calculations using the Midas/Civil software package provide fairly reliable results.

- An extensive analysis of existing studies and the results of computer modeling, allowed to establish for the conditions of Myanmar the most rational ratios of the main parameters of superstructures, reinforced concrete stiffening beams, pylons, which are given in the work (ratio between spans $L_j:L_{av}:L_2=(0,45-0,5):1:(0,45-0,5)$, main panel length 16–20 m, stiffening beam height $(1/15-1/18)L_{av}$, edge panel length $\{1/4-1/2\}$ from the length of the main panels, the height of the pylons $(1/5-1/7)L_{av}$).

- For Myanmar conditions, cable-stayed bridges with a reinforced concrete stiffening beam with a span of 100 to 500 m can be recommended as the most resistant to aerodynamic and other influences. Also, as a result of the analysis of the emerging forces and taking into account the aesthetic factor, it was found that the «fan» is the most rational layout of the cables. In addition, for cable-stayed bridges with one plane of cables, it is advisable to take a reinforced concrete stiffening beam of a box-shaped section, and with two planes of cables – box-shaped and slab-ribbed sections. The conducted comparative analysis of pylons of various shapes makes it possible to recommend the most rational area of application for each of them.

- The analysis of the results of computer modeling of the loading of the bridge structure according to Russian and American standards showed that the results of the calculation are quite close to each other, but in most cases, the largest



values are obtained from the Russian live load A14.

- When calculating according to Russian (SP 35.13330.2011), European (CEB-FIP 1990) and American (ACI) standards at 70 %, 80 % and 90 % humidity, the forces in the stiffening beam and cable-stayed bridge pylon change significantly. With an increase in humidity of the environment, the loss of forces in the shrouds slightly decreases. For the conditions of Myanmar, when designing, it is recommended to take a humidity value of no more than 70 %.

- The analysis of the results of numerical simulation confirmed that for the conditions of Myanmar the most rational is the technology of construction of cable-stayed bridges with reinforced concrete stiffening beams and guys according to the «fan» scheme, using the method of suspended balanced installation. Moreover, the use of the Midas/Civil software package makes it possible to simulate the stress-strain state of cable-stayed bridges during their construction, taking into account nonlinearity at all stages of construction.

05.23.11 – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels.

The work was performed and defended at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Parakhnenko, I. L. Research of the interaction forces in the «wheel–rail» contact following changes in the tribological condition of the rail surface. Abstract of Ph.D. (Eng) thesis [Issledovanie sil vzaimodeistviya v kontakte «koleso–rels» pri izmenenii tribologicheskogo sostoyaniya poverkhnosti relsov. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk]. St. Petersburg, PSTU publ., 2021, 25 p.

The length of curved sections on the Russian railway network is 33 % of the total length, of which 13 % falls on radii from 400 to 700 m. The friction resistance that occurs when the vehicle passes curves, especially of small radius, causes an increase in energy consumption, a violation of stability of the track geometry, and intense wear of wheels and rails. These problems are closely related to the longitudinal and lateral forces that arise in the «wheel–rail» contact. Force interaction is influenced by many factors, but it is worth highlighting the main ones – dynamic and tribotechnical. Dynamic depend on design,

technical condition of the track and rolling stock and the conditions of their interaction. Tribotechnical factors can be divided into tribological – the value of the coefficient of friction on the contact surfaces and technical – the state of the profiles of the «wheel–rail» set. Changing the tribological state of the surfaces of rail threads, that is, reducing the coefficient of friction in the wheel-rail contact zone (lubrication), is one of the main measures within the framework of the comprehensive resource-saving program «Development Plan of JSC Russian Railways until 2030», aimed at reducing wear of the set.

The use of resource-saving technologies is especially important with an increase in axial loads and speeds, the resource of superstructure elements up to 2,5 billion tons of missed cargo, a constant increase in prices for energy carriers, railway track elements and wheel sets. Reducing the resistance to movement of trains in curves, increasing the stability of the railway track, the resource of rails and wheels, and, consequently, the savings directly depend on the magnitude and constancy of the friction coefficient in the contact track – rolling stock.

Determination of the tribological state of the tread surfaces and the side surface of the rail head, which ensures the best interaction between the wheels of the rolling stock and the track gauge, reduces the force effect and thereby ensures the stability of the railway track and reduces the intensity of lateral wear of the rails in curved sections, is relevant for the entire railway network.

The development of new approaches to the strategy of lubricating the «wheel–rail» contact zone has been a popular direction in recent years. The presented work is development of scientific research in accordance with the Strategic Program for Ensuring Sustainable Interaction in the «wheel–rail» system adopted in JSC Russian Railways.

The objective of the thesis is to determine the influence of the tribological state of the rail tread surfaces on the interaction forces in the «wheel–rail» contact with various movement parameters (speed, axle load, train driving mode) and the outlines of the profiles of the wheel set and rails.

Experimental measurements of the friction coefficients on the side surface of the outer rail for different tribological states of the rail gauge were carried out, measurements were made on the tread surfaces of both threads. Values of friction coefficients were obtained for the dry state of rail threads – 0,4 and with the applied lubricant – 0,25.

The effect of the mode of driving a freight train on the forces of contact interaction is estimated. It has been established that the action of the traction force affects the change in longitudinal forces by an average of 6 %. The difference in the values of the lateral forces is on average no more than 7 %.

A significant influence of the tribological state of the rail tread surface on the longitudinal and lateral forces arising in the «wheel–rail» contact during the movement of a freight train with a load of 23,5 and 27 t/axle along curved sections of the railway track is revealed.

The functional dependences of the forces of interaction between the wheel and the rail are determined depending on the tribological state of the rail surfaces, speed of the freight train and the radius of the curves for the new and average network profile of the tribopair. The results obtained during the theoretical study are confirmed by comparison with experimental data. The convergence of the results within 15 % indicates the adequacy of the mathematical apparatus used.

The longitudinal forces arising from the movement of a freight train along curved sections of the railway track, when applying the «third body» to the tread surface of both rail threads, are reduced by 1,49 times (by 5,7 kN) at a speed of $V = 40$ km/h and by 2,21 times (by 5,6 kN) at $V = 80$ km/h in the curve $R = 380$ m. In gentle curves, the force decreases up to 1,5 times (up to 4,9 kN). The wear of tribopair profiles leads to an increase in longitudinal forces at all considered radii up to 3,3 times. The use of lubrication on the surface of the inner thread reduces the forces by an average of 11 % (3 kN), on the outer rail up to 17 % (5 kN).

The lateral impact of the wheel set on the track, in the unworn state of the tribopair, is less by 1,37 (4,5 kN)–1,47 (8,55 kN) times with a decrease in the friction coefficient on the surface of the inner rail in curves of a small radius. The use of lubricating the rolling surface of rail threads to reduce lateral forces in curves $R > 700$ m is not advisable. The lateral impact is reduced by the change in the profiles of the contact surfaces.

The influence of the coefficient of friction on the longitudinal and transverse vibrations of the vehicle has been established. The use of lubrication on the tread surface of the inner rail thread increases the length of the longitudinal wave up to 30 %, transverse up to 22 %, which helps to increase the stability of the railway track, reduce the wavy and lateral wear of the rail track.

A technique has been developed for selecting options for lubricating rail surfaces depending on the parameters of the curves. The values of the elevation of the outer rail thread, which ensure the minimum force interaction, are determined.

To substantiate the possibility of reducing the coefficient of friction on the running surfaces of the rails, the calculation of the main criteria for safety and uninterrupted movement was carried out – the stability of the wheel on the rail and the length of the braking distance. Lubrication of the surface of the inner thread reduces the possibility of «crawling» up to 1,87 times in small radius curves. In gentle curves with lubrication options, the stability of the wheel on the rail increases by 1,81 times. Lubrication increases the braking distance on the slopes by an average of 23 % (180 m).

The economic effect of reducing the coefficient of friction is calculated. The reduction in fuel and energy costs for train traction will be from 27,95 rubles per 1 km of the curved section, depending on the speed of movement during the lubrication of both threads and 10,55 rubles when lubricating the inner thread. Savings on the replacement of rails upon reaching the wear limit – 99420 rubles/km per year with lubrication of the inner rail and 88490 rubles/km per year with a decrease in the friction coefficient on both rail threads.

A variant of the tribological state of rail threads is proposed, which reduces the longitudinal and lateral forces – lubrication of the rolling surface of the inner rail thread. It is recommended to use this method on long ascents in curves with a radius of up to 1200 m during heavy traffic and on straight sections of the railway track, due to the presence of a deviation in the profile plan, to reduce the likelihood of train fluctuations.

Methods for applying material to the rail thread surface by equipment used on mobile lubrication facilities and developed lubricants providing a friction coefficient of 0,2–0,25 are considered. The use of this method is recommended after preliminary high-quality polishing of the rails, in order to eliminate defects in the surface of the rail threads that contribute to the accumulation of lubricant.

05.22.06 – Railway track, survey and design of railways.

The work was performed at Ural State University of Railway Transport, defended at Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.



NEW BOOKS ON TRANSPORT AND TRANSPORTATION

*the list of titles in russian is published
in the first part of the issue.*

*список на русском языке публикуется
в первой части данного выпуска.*

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-2-15>

Badetsky, A. P., Korovyakovsky, E. K., Medved, O. A. [et al]. Management of cargo and commercial work: Study guide [*Upravlenie gruzovoi i kommercheskoi rabotoi: Ucheb. posobie*]. St. Petersburg, PSTU publ., 2022, 65 p. ISBN 978-5-7641-1796-6.

Chernova, V. V. Operation of road machines, cars and tractors [*Eksploatatsiya dorozhnykh mashin, avtomobilei i traktorov*]. Moscow, Akademiya publ., 2022, 223 p. ISBN 978-5-0054-0325-4.

English-Russian dictionary of terms in the field of radio communications and telecommunications: (about 3000 terms) [*Anglo-russkiy slovar terminov v oblasti radiosvyazi i telekommunikatsii: (okolo 3000 terminov)*]. Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications; compiled by S. A. Moskalenko. Rostov-on-Don, RNIIRS publ., 2022, 76 p. ISBN 978-5-6047139-0-7.

Fedorovich, V. O., Kubrak, N. A., Fedorovich, T. V. Organization and management of a private fleet of freight cars. Economic approach: Monograph [*Organizatsiya i upravlenie privatnym parkom gruzovykh vagonov. Ekonomicheskii podkhod: Monografiya*]; under the general editorship of V. O. Fedorovich. Moscow, Infra-M publ., 2022, 172 p. ISBN 978-5-16-017546-1 (print).

Giller, A. A., Omelchenko, E. Ya., Lyman, A. B. [et al]. Arduino sensors and actuators for mechatronics and robotics: Study guide [*Datchiki i ispolnitelnye ustroystva Arduino dlya mekhatroniki i robototekhniki: Ucheb. posobie*]. Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University publ., 2022, 182 p. ISBN 978-5-9967-2433-8.

Karmanov, A. V., Orlova, K. P. Fundamentals of designing industrial safety systems (as part of the process control system for the oil and gas industry): Study guide [*Osnovy proektirovaniya sistem promyshlennoi bezopasnosti (v sostave ASU TP neftegazovoi otrasli): Ucheb. posobie*]. Moscow, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU), 2022. Electronic edition.

Korenkov, V. V., Ulyanov, S. V., Shevchenko, A. A., Shevchenko, A. V. Intelligent cognitive robotics: study-methodological guide: Study guide. Moscow, KURS publ., 2022. Part 1: Quantum cognitive computing technology, 555 p. ISBN 978-5-907352-51-3.

Krivko, E. V. Fundamentals of accounting for oil and gas during transportation in the system of main pipelines: Study guide [*Osnovy ucheta nefii i gaza pri transportirovke v sisteme magistralnykh truboprovodov: Ucheb. posobie*]. Khabarovsk, PNU publ., 2022, 142 p. ISBN 978-5-7389-3469-8.

Lisin, V. A., Cheboksarov, A. N. Modern car repair technologies: Study guide [*Sovremennye tekhnologii remonta avtomobilei: Ucheb. posobie*]; [electronic re-

source]. Omsk, Siberian State Automobile and Highway University, 2022.

Medvedev, V. M., Mironov, P. N., Simonov, V. L., Gavrilov, A. V. Integrated software development environment for on-board computers. Fundamentals of programming and the study of the object model: Study guide [*Integrirovannaya sreda razrabotki programmnogo obespecheniya dlya bortovykh TsVM. Osnovy programirovaniya i issledovaniya modeli obekta: Ucheb. posobie*]. Moscow, MAI publ., 2022, 75 p. ISBN 978-5-4316-0932-9.

Moroz, S. M. Methodology of research in the technical operation of vehicles: Textbook for universities: MADI [*Metodologiya issledovaniya v tekhnicheskoi ekspluatatsii avtomobilei: Uchebnik dlya vuzov: MADI*]. Moscow, Yurait publ., 2022, 185 p. ISBN 978-5-534-14089-7.

Palitsyn, A. V., Korotkov, A. N., Ivanov, I. I. Power plants with a piston internal combustion engine [*Energeticheskie ustanovki s porshnevnyimi DVS*]; under the general editorship of Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, D.Sc. (Eng), Professor A. V. Likhanov. Vologda-Molochnoe, Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin, 2020; Part 2: Theory and Practice. Part 2. V. A. Likhanov, A. A. Loparev, A. V. Palitsyn [et al], 2022, 283 p. ISBN 978-5-98076-359-6.

Pikovskiy, Yu. I., Ismailov, N. M., Dorokhova, M. F. Fundamentals of oil and gas geoeology: Study guide [*Osnovy neftegazovoi geoeologii: Ucheb. posobie*]. Under the scientific editorship of D.Sc. (Geography), Professor A. N. Gennadiyev. 2nd ed., rev. and enl. Moscow, Infra-M publ., 2022, 412 p. ISBN 978-5-16-017124-1.

Reeves, M., Fuller, J. The Imagination Machine: How to Spark New Ideas and Create Your Company's Future. Transl. from English A. Aksenova [et al]. Moscow, Prosveshchenie publ., 2022, 207 p. ISBN 978-5-09-089348-0.

Smetanin, V. G. Construction and design of vehicles: textbook: Study guide [*Konstruktsiya i proektirovanie avtotransportnykh sredstv: uchebnik: Ucheb. posobie*]. Moscow, Kurs publ., 2022. Part 1: Design features of automotive equipment [*Osobennosti konstruktsii avtotraktornoi tekhniki*]. Part 1, 2022, 295 p. ISBN 978-5-907352-44-5.

Ter-Mkrtychyan, G. G. Management of fuel vapors in cars with gasoline engines: Study guide [*Menedzhment toplivnykh isparenii v avtomobilyakh s benzinovymi dvigatelyami: Ucheb. posobie*]. Moscow, FSUE «NAMI», 2022, 190 p. ISBN 978-5-6045988-9-4.

Vegara, Zh. G., Sleptsov, V. V. Fundamentals of the theory of automatic control: Monograph [*Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya: Monografiya*]. Moscow, MIREA-Russian Technological University publ., 2022, 95 p. ISBN 978-5-7339-1610-1.

Zemenkov, Yu. D., Islamov, R. R., Kurbanov, Ya. M. [et al]. Operation of objects of pipeline transportation of oil and oil products: Study guide [*Ekspluatatsiya obektov truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov: Ucheb. posobie*]. Tyumen, TIU publ., 2022, Vol. 1, 312 p. ISBN 978-5-9961-2958-4.

Compiled by N. OLEYNIK ●



MILESTONES IN THE HISTORY OF THE MOSCOW COLLEGE OF TRANSPORT

The history of the Moscow College of Transport, which is now part of the Russian University of Transport, dates back to the second half of the 19th century.

1869 – a special meeting decided: to establish a railway school; to name it after Baron Andrei Ivanovich Delvig; to raise capital of at least one hundred thousand rubles; upon raising the capital to ask Baron Delvig to kindly draw up an initial project of the institution.

1872 – opening of the classes of the Delvig Railway School on Novaya Basmanaya Street. In the first year, 40 people attended classes at the school, created with charitable donations and with the assistance of private railway companies.

1878 – start of the academic year for 58 pupils in another new railway technical school opened in Moscow at the insistence of Baron Delvig.

1882 – the first graduation of rail workers trained in track facilities and artificial structures maintenance.

1920 – reorganisation of the Moscow-Paveletskaya courses created at the beginning of the 20th century into the Vocational School.

1925 – the successor of the Delvig Railway School – the Moscow Railway Construction Technical School named after A. A. Andreev conducted training in 5 specialties (maintenance and repair of the track; survey and construction of railways; artificial structures; construction; water supply).

1929 – reorganisation of the Vocational School into the Moscow Technical School of the

Steam Locomotive Facilities named after F. E. Dzerzhinsky.

1936 – merger of the Moscow Technical School named after A. A. Andreev with NCPS Electricity Technical School to become the Moscow Technical School of Railway Transport named after A. A. Andreev, located at Kuchin Lane, 14.

1940–41 – transformation of the Moscow Technical School of Steam Locomotive Facilities into the Moscow Technical School of Railway Transport named after F. E. Dzerzhinsky.

1949 – establishment of the All-Union Distance Learning Technical School of Railway Transport (later – the Moscow Economic and Technical College of Railway Transport).

1998 – establishment of a single Moscow College of Railway Transport, which united a number of educational institutions.

2002 – The Moscow College of Railway Transport named after F.E. Dzerzhinsky joins the Moscow College of Railway Transport.

2009 – Moscow College of Railway Transport becomes a structural subdivision of the Moscow State University of Railway Engineering (since 2017 – the Russian University of Transport).

2019 – The Moscow College of Railway Transport was renamed into Moscow College of Transport. ●

The historical review is continued with a short story on MCT current activity on the Journal's central spread.



**World of Transport
and Transportation**

Vol. 20, Iss. 2, 2022

Editor-in-Chief **Boris Lyovin**

For your letters:

Russian University of Transport,
World of Transport and
Transportation Journal,
9, str. 9, Obraztsova ul.,
Moscow, 127994, Russia.
Tel. +7(495)684 2877
e-mail: mirtr@mail.ru

Почтовый адрес редакции:

127994, Москва,

ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Российский университет

транспорта,

Издательство «Транспорт РУТ»

Тел.: (495)6842877

e-mail: mirtr@mail.ru



ISSN 1992-3252



9 771992 325778 >