

Вестник

Научно-исследовательского института
железнодорожного транспорта

ISSN 2223 – 9731 (Print)
ISSN 2713 – 2560 (Online)

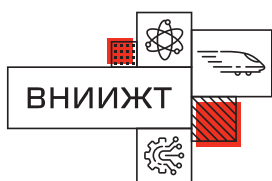
Издается с 1942 г.

Том 80, № 5, 2021

I Международная научно-практическая конференция

НАУКА 1520 ВНИИЖТ
ЗАГЛЯНИ ЗА ГОРИЗОНТ





Учредитель научно-технического журнала «Вестник ВНИИЖТ»

АО «Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)

РУБРИКИ ЖУРНАЛА

Технические средства железнодорожного транспорта:

- Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог
- Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте:

- Управление процессами перевозок
- Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Транспортное материаловедение:

- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- Материаловедение
- Трение и износ в машинах

Экономика и управление:

- Региональная и отраслевая экономика
- Логистика и управление цепями поставок

Журнал «Вестник ВНИИЖТ»

входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (решение ВАК от 28.12.2018 г.) по научным специальностям:

- 05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин
- 05.02.04 – Трение и износ в машинах
- 05.02.18 – Теория механизмов и машин
- 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- 05.16.09 – Материаловедение
- 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны ее регионов и городов, организация производства на транспорте
- 05.22.06 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог
- 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация
- 05.22.08 – Управление процессами перевозок



Статьи в журнале публикуются бесплатно

<https://www.journal-vniizht.ru>

- Научно-технический журнал (издается с 1942 г.)
- Периодичность: 6 номеров в год
- Учредитель — АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта».
- Свидетельство о регистрации
- ПИ № ФС77-35600 от 17.03.2009.
- Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
- Подписной индекс 70116
- ISSN 2223–9731 (Print), ISSN 2713–2560 (Online)
- **Редакционный совет**
- Виноградов С. А., председатель, канд. техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Косарев А. Б., зам. председателя, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Горячева И. Г., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН, ИПМех РАН, Москва, Россия,
- Дынкин Б. Е., д-р техн. наук, проф., РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия,
- Колесников В. И., д-р техн. наук, проф., академик РАН, РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия,
- Куммер С., д-р экономики, проф., Венский экономический университет, Институт транспорта и логистики, Вена, Австрия,
- Лапидус Б. М., д-р экон. наук, проф., Объединенный ученый совет ОАО «РЖД», Москва, Россия,
- Левин Б. А., д-р техн. наук, проф., РУТ (МИИТ), Москва, Россия,
- Махутов Н. А., д-р техн. наук, проф., член-корреспондент РАН, ИММАШ РАН, Москва, Россия,
- Мачерет Д. А., д-р экон. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Назаров О. Н., канд. техн. наук, ОАО «РЖД», Москва, Россия,
- Розенберг Е. Н., д-р техн. наук, проф., АО «НИИАС», Москва, Россия,
- Смольянинов А. В., д-р техн. наук, проф., УрГУПС, Екатеринбург, Россия,
- Сюэвей Ли, д-р наук, проф., Пекинский объединенный университет, Пекин, КНР,
- Ушкалов В. Ф., д-р техн. наук, член-корреспондент НАН, Институт технической механики НАН, Днепр, Украина,
- Фокс-Рабинович Г. С., д-р техн. наук, Университет Макмастера, Гамильтон, Канада,
- Шенфельд К. П., д-р техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Эсвельд К., проф. железнодорожной инженерии, Делфтский технологический университет, Делфт, Нидерланды
- **Редакционная коллегия**
- Косарев А. Б., главный редактор, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Римская О. Н., зам. главного редактора, канд. экон. наук, доцент, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Глюзберг Б. Э., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Гогричани Г. В., д-р техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Ерофеев М. Н., д-р техн. наук, проф., ИМАШ РАН, Москва, Россия,
- Захаров С. М., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Коган А. Я., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Кучумов В. А., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Мирошниченко О. Ф., д-р экон. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Мугинштейн Л. А., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Савин А. В., д-р техн. наук, доцент, РУТ (МИИТ), Москва, Россия,
- Сирина Н. Ф., д-р техн. наук, доцент, УрГУПС, Екатеринбург, Россия,
- Фёдоров С. В., д-р техн. наук, проф., КГТУ, Калининград, Россия,
- Шур Е. А., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Анохов И. В., канд. экон. наук, доцент, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Сиротенко И. В., канд. техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия

Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

Вестник ВНИИЖТ | Том 80, 5/2021
DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5>

СОДЕРЖАНИЕ

Contents 250

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте

Перспективные подходы к прогнозному моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути и их применение при создании цифровых двойников
О. А. Суслов, В. И. Федорова 251–259

Технические средства железнодорожного транспорта

Восстановление поверхности выпускного клапана методом плазменного напыления в сравнении с электродуговым и газопламенным методами
Д. И. Балахонов, И. А. Макаров, М. В. Яранцев 260–268

Рациональная реконструкция постов секционирования контактной сети переменного тока на разъединителях
Л. А. Герман, Е. А. Донской, С. А. Капустин 269–275

Повышение энергетической эффективности вспомогательных машин электровоза переменного тока
Ю. М. Кулинич, С. А. Шухарев, А. В. Гуляев 276–284

Экономика и управление

Подготовка кадров в области цифровой логистики и управления цепями поставок
А. А. Пархаев, М. И. Мехедов, А. В. Хомов, И. В. Анохов 285–292

Формирование показателей работы железнодорожного транспорта для расчета производительности труда
О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинская 293–300

ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра

Железнодорожная наука: итоги I Международной научно-практической конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт»
А. Б. Косарев, О. Н. Римская, И. В. Анохов, А. В. Заручейский, Н. М. Горшков 301–314

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.
Адрес учредителя, издателя, редакции журнала «Вестник ВНИИЖТ»: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., 10.
Тел. (495) 602-80-37, 602-81-10.
Подписано к печати 22.10.2021.
www.journal-vniizht.ru
© АО «ВНИИЖТ», 2021

Формат бумаги 60×90 1/8.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 8,5.
Тираж 300 экз. Заказ 519.
Отпечатано издательско-полиграфическим предприятием ООО «ИПП «КУНА», 125167, Москва, Ленинградский пр., д. 47, стр. 4. Тел. (495) 795-02-97.
Цена свободная.

VNIIZHT Scientific Journal

Vol. 80, 5/2021

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5>

Contents

Automation and control of technological processes in railway transport

Prospective approaches to predictive modeling
of degradation processes of track superstructure elements
and its application in creating digital twins
by O. A. Syslov, V. I. Fedorova 251–259

Technical means of railway transport

Resurfacing the exhaust valve by plasma spraying versus
electric arc and gas flame methods
by D. I. Balakhonov, I. A. Makarov, M. V. Yarantsev 260–268

Rational reconstruction of sectioning posts of AC catenary
at disconnectors
by L. A. German, E. A. Donskoy, S. A. Kapustin 269–275

Increasing the energy efficiency of auxiliary machines
of AC electric locomotive
by Yu. M. Kulinich, S. A. Shukharev, A. V. Gulyaev 276–284

Economics and management

Personnel training in digital logistics and supply chain
management
by A. A. Parkhaev, M. I. Mekhedov, A. V. Khomov,
I. V. Anokhov 285–292

Formation of performance indicators of railway transport
for calculating labor productivity
by O. F. Miroshnichenko, A. E. Oginskaya 293–300

VNIIZHT: yesterday, today, tomorrow

Railway Science: Results of the I International Scientific
and Practical Conference “Research 1520 VNIIZHT:
Look Beyond the Horizons”
by A. B. Kosarev, O. N. Rimskaya, I. V. Anokhov,
A. V. Zarucheytskiy, N. M. Gorshkov 301–314

Editorial Board:

Alexander B. Kosarev
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Olga N. Rimskaya
Cand. Sci. (Econ.), Associate Prof.,
JSC “VNIIZHT”, Moscow,
Russian Federation

Boris E. Glyuzberg
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
JSC “VNIIZHT”, Moscow,
Russian Federation

Georgiy V. Gogrichiani
Dr. Sci. (Eng.), JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Mikhail N. Erofeev
Dr. Sci. (Eng.), Prof., IMASH RAN,
Moscow, Russian Federation

Sergey M. Zakharov
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Alexander Ya. Kogan
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Vladislav A. Kuchumov
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Olga F. Miroshnichenko
Dr. Sci. (Econ.), Prof., JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Lev A. Muginshtein
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Alexander V. Savin
Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof.,
RUT (MIIT), Moscow, Russian
Federation

Nina F. Sirina
Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof.,
UrGUPS, Yekaterinburg,
Russian Federation

Sergey V. Fedorov
Dr. Sci. (Eng.), Prof., KGUT,
Kaliningrad, Russian Federation

Evgeniy A. Shur
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Igor' V. Anokhov
Cand. Sci. (Econ.), Associate Prof.,
JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Igor' V. Sirotenko
Cand. Sci. (Eng.),
JSC “VNIIZHT”, Moscow, Russian
Federation

Editorial office: 10, 3rd Mytischinskaya,
129626 Moscow, Russian Federation
Tel.: +7 (495) 602 8037, 602 8110..

Passed for printing 22.10.2021.
Circulation 300 copies.
Format 60×90 1/8.

Print: JSC “IPP “KUNA”.
Tel.: +7 (495) 795 0297.
E-mail: info@paradiz.ru

VNIIZHT Scientific Journal

is published six times per year
First published in 1942
www.journal-vniizht.ru

ISSN 2223–9731 (Print)
ISSN 2713–2560 (Online)

**A peer reviewed scientific
and technological journal**
Languages: Russian, English

Publisher:

JSC Railway Research Institute (JSC “VNIIZHT”),
Moscow, Russian Federation
www.vniizht.ru

Advisory Board:

Sergey A. Vinogradov,
Chairman, Cand. Sci. (Eng.), Director General
of JSC “VNIIZHT”, Moscow, Russian Federation

Alexander B. Kosarev,
Deputy Chairman, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
JSC “VNIIZHT”, Moscow, Russian Federation

Irina G. Goryacheva,
Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Academician of the RAS,
Head of laboratory for tribology, Institute for
Problems in Mechanics of the RAS, Moscow, Russian
Federation

Boris E. Dynkin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honored President of
International association of transport universities of
Asian-Pacific countries (IATU APC), Rostov state university
of railway engineers (RGUPS), Rostov-on-Don, Russian
Federation

Vladimir I. Kolesnikov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of the Russian
Academy of Sciences, Rostov state university of railway
engineers (RGUPS), Rostov-on-Don, Russian Federation

Sebastian Kummer,
Univ. Prof. Dr. (Econ.) of Vienna University of Economics
and Business, Head of Institute of Transport and Logistics,
Vienna, Austria

Boris M. Lapidus,
Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chairman of Joint Scientific
Council RZD, Chairman of International Board on Railway
Research (IRRB) of UIC, Guest professor of Stockholm
School of Economics, Moscow, Russian Federation

Boris A. Levin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, President of the Russian University
of Transport (RUT (MIIT)), Moscow, Russian Federation

Nikolay A. Makhutov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding member of the
RAS, Head of the scientific school “Safety and security
of critically and strategically important objects of
infrastructure” of Research Institute for Machine Science
named after A. A. Blagonravov of the RAS (IMASH RAS),
Moscow, Russian Federation

Dmitriy A. Macheret,
Dr. Sci. (Econ.), Professor, JSC “VNIIZHT”, Joint Research
Council of JSC “RZD”, Moscow, Russian Federation

Oleg N. Nazarov,
Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of technical policy department
JSC “RZD”, Moscow, Russian Federation

Efim N. Rozenberg,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, First deputy Director General
of JSC Design & Research Institute for Information
Technology, Signaling and Telecommunication on Railway
Transport (JSC “NIIAC”), Moscow, Russian Federation

Alexander V. Smolyaninov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of department “Wagons” of Ural
State University of Railway Transport, Yekaterinburg,
Russian Federation

Li Xuewei,
Dr. Sci., Professor, Vice-President of Engineering Union
of China Transport system, Party Member of CPC group
of Ministry of Education (Beijing Union University, China)

Victor F. Ushkalov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, corresponding member of the
National Academy of Science of Ukraine, division head of
Statistics for kinetics of material system of the Institute of
Technical Mechanics, Dnepr, Ukraine

Herman S. Fox-Rabinovich,
Dr. Sci. (Eng.), Chief researcher of McMaster University
Engineering, Hamilton, Ontario, Canada

Konstantin P. Shenfeld,
Dr. Sci. (Eng.), Executive director of JSC “VNIIZHT”,
Moscow, Russian Federation

Coenraad Esveld,
Prof., Dr. of railway engineering of Delft Technical
University, General Director of “Esveld Consulting
Services”, Delft, Netherlands

© JSC Railway Research Institute, 2021

E-mail: journal@vniizht.ru

Перспективные подходы к прогнозному моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути и их применение при создании цифровых двойников

О. А. СУСЛОВ, В. И. ФЕДОРОВА

Научный информационно-аналитический центр акционерного общества «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (НИАЦ АО «ВНИИЖТ»), Санкт-Петербург, 196128, Россия

Аннотация. Использование объема информации, поступающей с различных систем, предназначенных для управления перевозочным процессом и планирования его работы, с учетом современных экономических требований и ресурсных ограничений невозможно без применения цифровых технологий. Цифровые двойники в настоящее время являются наиболее перспективным инструментом для решения задач управления технически насыщенными многоуровневыми активами, к которым относится железнодорожный транспорт. Путевое хозяйство — один из наиболее дорогих активов, и вопросы организации управления техническим обслуживанием железнодорожного пути стоят очень остро, поскольку напрямую связаны с безопасностью движения поездов, поэтому разработка цифрового двойника железнодорожного пути является приоритетной задачей для путейской науки. Цифровой двойник железнодорожного пути должен содержать в себе элементы технологии BigData в виде массивов диагностических данных, поступающих в режиме онлайн с мобильных и стационарных средств диагностики, массив паспортных данных об устройстве пути, а также набор моделей, способных эти данные преобразовать в матрицы «состояние—действие», пригодные для принятия организационно-технических решений по управлению путевым комплексом, начиная от уровня линейных предприятий и заканчивая сетевыми задачами. В статье представлены модели, которые могут быть приняты в качестве фундамента для построения цифровых двойников железнодорожного пути. Также приведены результаты верификации и апробации предложенных моделей в программном комплексе «Нейроэксперт-Путь».

Ключевые слова: цифровой двойник; железнодорожный путь; верхнее строение пути; прогнозирование деградации железнодорожного пути

Введение. Освоение потребных объемов перевозок в установленные сроки с заданным уровнем безопасности, надежности и экономической эффективности — это основная задача железнодорожной инфраструктуры. Возможные варианты освоения перевозок могут включать в себя комплекс мероприятий по повышению массы и/или длины поезда, осевой нагрузки, пропускной способности станционных горловин и прочие мероприятия, приводящие к увеличению маршрутной скорости грузовых поездов.

Для выбора оптимальной схемы овладения заданными объемами перевозок необходимо проведение комплексного технико-экономического анализа, включающего в себя увязку способа повышения провозной и пропускной способности с изменением режимов работы и нагруженности элементов пути, тягового и грузового подвижного состава, контактной сети, схем и графиков организации движения поездов [1]. Реализация данного подхода с требуемым качеством, сроками и комплексностью решений невозможна без применения современных цифровых технологий моделирования анализа и прогнозирования работы всех элементов железнодорожной инфраструктуры.

Понятие «цифровой двойник» и его состав для железнодорожной инфраструктуры. Современные тенденции развития цифровых технологий, связанных с управлением активами (asset management), к которым относится в том числе и железнодорожная инфраструктура, последние 10 лет сосредоточены на применении подхода цифровых двойников, когда создается виртуальный объект, обладающий свойствами, аналогичными его реальному прототипу [2, 3]. В [4] предложено следующее понятие цифрового двойника: цифровой двойник — это виртуальное адаптивно изменяющееся отображение физического объекта/процесса, которое учитывает функциональные особенности и физические связи всех его составных частей, сопровождает его на всем жизненном цикле (от этапа проектирования до этапа утилизации), позволяет изучать текущее состояние физического объекта/процесса и прогнозировать его изменения в будущем на микро- и макроуровнях с помощью мультифизического, многомасштабного, вероятностного моделирования и на основе собранных в режиме реального времени данных с установленных систем мониторинга, а также за счет обратной связи с физическим объектом/процессом выдавать управляющие воздействия. Это определение наиболее точно описывает все задачи, которые



Алгоритм построения цифрового двойника [4, с. 96]

Algorithm for constructing a digital twin [4, p. 96]

должен решать цифровой двойник железнодорожной инфраструктуры, и свойства, которыми он должен обладать:

1) наличие в составе цифрового двойника математической модели объектов железнодорожной инфраструктуры, позволяющей моделировать его фактическое состояние и прогнозировать его изменение во времени;

2) отображение работы объектов железнодорожной инфраструктуры на всех этапах жизненного цикла;

3) необходимость сбора в режиме реального времени диагностических данных о состоянии и воздействии на объекты железнодорожной инфраструктуры (применение технологии BigData);

4) наличие обратной управляющей связи «цифровой двойник — реальный объект».

В общем виде цифровой двойник железнодорожной инфраструктуры может быть декомпозирован на следующие цифровые двойники объектов и процессов:

- железнодорожного пути;
- инфраструктуры вагонного подвижного состава;
- локомотивной инфраструктуры;
- инфраструктуры контактной сети и тягового энергоснабжения;
- систем и процессов организации и управления движением поездов.

Столь широкий спектр объектов цифровизации требует расстановки приоритетов по выбору первичных задач, и с позиции затратности и потенциальной максимальной эффективности можно отметить блок путевого хозяйства как наиболее ресурсоемкий и поэтому первичный с точки зрения создания его цифрового двойника — цифрового двойника железнодорожного пути (далее — ЦДП). В общем виде алгоритм создания цифрового двойника приведен в [4, с. 96] (см. рисунок).

Разработка семейства моделей для прогнозирования изменения состояния элементов верхнего строения пути и геометрии рельсовой колеи. Ядром ЦДП должно являться семейство цифровых моделей следующего типа:

- модели расчета параметров взаимодействия в системе «колесо—рельс»;
- модели расчета напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути;
- деградационные модели расчета изменения состояния элементов верхнего строения пути и геометрии рельсовой колеи.

В качестве примера решения задачи разработки семейства моделей, формирующих ядро ЦДП, выбрана деградационная модель расчета изменения состояния элементов пути и геометрии рельсовой колеи. Основным соотношением, положенным в деградационную модель, свойства которой значимо не меняются в процессе анализируемого времени эксплуатации, является следующее выражение [5]:

$$D'_i = \sum_i d_i n_i, \quad (1)$$

где D'_i — ресурс i -го элемента или узла верхнего строения пути по какому-либо отказу или неисправности, исчерпанный за период эксплуатации t ; d_i — мера исчерпания ресурса i -го элемента или узла верхнего строения пути в одном цикле нагружения (нагруженность элемента или узла); n_i — число циклов нагружения, воспринимаемое i -м элементом или узлом верхнего строения пути в процессе эксплуатации.

В свою очередь, для определения прогнозного срока службы элемента или узла может быть использовано следующее выражение:

$$[n_i] = \frac{[D_i]}{d_i}, \quad (2)$$

где $[n_i]$ — нормативное (прогнозное) число циклов нагружения, допускаемое для восприятия i -м элементом или узлом до его перехода в нерабочее или предотказное состояние; $[D_i]$ — нормативное (прогнозное) значение ресурса i -го элемента или узла по какому-либо отказу.

Переход от числа циклов нагружения к показателям времени службы или пропущенного тоннажа осуществляется в зависимости от вида элемента или узла с учетом того, что является для данного элемента (узла) циклом нагружения — проход одиночной оси поезда или тележки подвижного состава.

Остаточный ресурс i -го элемента или узла верхнего строения пути определяется, в свою очередь, следующим выражением:

$$\Delta D_i = [D_i] - D'_i. \quad (3)$$

Таким образом, для решения задачи определения срока службы i -го элемента или узла верхнего строения пути по какому-либо отказу или неисправности необходимо разработать алгоритм для получения показателей d_i и $[D_i]$. Основные узлы и элементы, принятые для прогнозирования, — рельсы, узлы креплений, шпалы, балластный слой, основная площадка земляного полотна. Основные целевые прогнозы определяются для неисправностей и отказов, связанных с исчерпанием ресурса в процессе эксплуатации, т. е. зависящих от циклического воздействия подвижного состава на рассматриваемые элементы и узлы.

Нагруженность элемента или узла по какому-либо отказу или неисправности определяется значением d_i . Основной фактор, определяющий значение нагруженности, — это нагрузка от подвижного состава, передаваемая на рельс и далее на все остальные эле-

менты и узлы верхнего строения пути, а значение d_i является функцией от нагрузки.

Целевой прогноз необходимо осуществлять для следующих отказов и неисправностей:

- выход рельсов по дефектам контактно-усталостного схождения;
- выход из строя узлов креплений;
- выход шпал из строя;
- накопление неисправностей по перекосам, просадкам, уровню;
- накопление неисправностей по ширине колеи;
- накопление неисправностей по рихтовке;
- накопление неисправностей в балластном слое и основной площадке земляного полотна.

В современной практике теории надежности, например, для изделий из металлов и иных изделий, обладающих свойствами сплошного тела, основным показателем повреждаемости является значение σ^2 , где σ — это напряжение в цикле. В свою очередь, напряжения являются функцией от сочетания сил, передаваемых на объект, и его размеров, поэтому в общем случае выражение для определения значения величины нагруженности элемента или узла верхнего строения пути можно представить в виде

$$d_i = \left[f(F, \sigma)^2 \right]^{\frac{\lambda}{2}}, \quad (4)$$

где F, σ — вектор сил или напряжений, действующих на элемент или узел в одном цикле нагружения; λ — степенной коэффициент, учитывающий условия работы и физические характеристики элемента.

С учетом имеющихся результатов исследований [5–9] можно представить следующие показатели повреждаемости для элементов верхнего строения пути и накопления неисправностей:

— повреждаемость для элементов верхнего строения пути:

- рельсов

$$d_{\text{pc}} = \left\{ \left[\frac{(\bar{\sigma}_{\text{к.н}} + \bar{\sigma}_{\text{к.в}})^2}{2} + \left[\frac{(\hat{\sigma}_{\text{к.н}})^2 + (\hat{\sigma}_{\text{к.в}})^2}{4} \right] \right\}^{\frac{x_{\sigma+}}{2}} + \left\{ \left[\frac{(\bar{\sigma}_{\text{к.н}} - \bar{\sigma}_{\text{к.в}})^2}{2} + \left[\frac{(\hat{\sigma}_{\text{к.н}})^2 - (\hat{\sigma}_{\text{к.в}})^2}{4} \right] \right\}^{\frac{x_{\sigma-}}{2}}; \quad (5)$$

- креплений

$$d_{\text{скр}} = \left[(\bar{P}_{\text{шп}})^2 + (\hat{P}_{\text{шп}})^2 \right]^{\frac{x_{P(\text{скр})}}{2}} + \left[(\bar{H}_{\text{шп}})^2 + (\hat{H}_{\text{шп}})^2 \right]^{\frac{x_{H(\text{скр})}}{2}}; \quad (6)$$

- шпал

$$d_{\text{шп}} = \left[(\bar{P}_{\text{шп}})^2 + (\hat{P}_{\text{шп}})^2 \right]^{\frac{x_{\text{шп}}}{2}}; \quad (7)$$

– накопление неисправностей:

- по ширине колеи

$$d_{\text{ш.к}} = \left[(\bar{P}_{\text{шп}})^2 + (\hat{P}_{\text{шп}})^2 \right]^{\frac{x_{P(\text{ш.к})}}{2}} + \left[(\bar{H}_{\text{шп}})^2 + (\hat{H}_{\text{шп}})^2 \right]^{\frac{x_{H(\text{ш.к})}}{2}}; \quad (8)$$

- по перекосам, просадкам, уровню

$$d_{\text{п, пр, ур}} = \left[(\bar{\sigma}_{\text{балл}})^2 + (\hat{\sigma}_{\text{балл}})^2 \right]^{\frac{x_{\text{балл}}}{2}}; \quad (9)$$

- по рихтовке

$$d_{\text{рихт}} = \frac{\left[(\bar{H}_{\text{шп}})^2 + (\hat{H}_{\text{шп}})^2 \right]^{\frac{x_{P(\text{рихт})}}{2}}}{\left[(\bar{P}_{\text{шп}})^2 + (\hat{P}_{\text{шп}})^2 \right]^{\frac{x_{H(\text{рихт})}}{2}}}; \quad (10)$$

- в основной площадке земляного полотна

$$d_{\text{опзп}} = \left[(\bar{\sigma}_{\text{опзп}})^2 + (\hat{\sigma}_{\text{опзп}})^2 \right]^{\exp\left(\frac{\sigma_{\text{опзп}}^{\text{макс.вер}}}{[\sigma_{\text{опзп}}]}\right)}; \quad (11)$$

- в балластном слое (накопление загрязненности балласта)

$$d_{\text{загр}} = \left[(\bar{\sigma}_{\text{балл}})^2 + (\hat{\sigma}_{\text{балл}})^2 \right]^{\exp\left(\frac{\sigma_{\text{балл}}^{\text{макс.вер}}}{[\sigma_{\text{балл}}]}\right)} + \left[(\bar{\sigma}_{\text{опзп}})^2 + (\hat{\sigma}_{\text{опзп}})^2 \right]^{\exp\left(\frac{\sigma_{\text{опзп}}^{\text{макс.вер}}}{[\sigma_{\text{опзп}}]}\right)}, \quad (12)$$

где $\bar{\sigma}_{\text{к.н}}$ — среднее значение кромочных напряжений (наружная кромка подошвы рельса), МПа; $\bar{\sigma}_{\text{к.в}}$ — среднее значение кромочных напряжений (внутренняя кромка подошвы рельса), МПа; $\hat{\sigma}_{\text{к.н}}$ — среднеквадратическое отклонение значений кромочных напряжений (наружная кромка подошвы рельса); $\hat{\sigma}_{\text{к.в}}$ — среднеквадратическое отклонение значений кромочных напряжений (внутренняя кромка подошвы рельса); $\bar{P}_{\text{шп}}$ — среднее значение вертикальной силы, действующей на шпалу, кН; $\hat{P}_{\text{шп}}$ — среднеквадратическое отклонение значений вертикальных сил, действующих на шпалу; $\bar{H}_{\text{шп}}$ — среднее значение горизонтальной силы, действующей на шпалу, кН; $\hat{H}_{\text{шп}}$ — среднеквадратическое отклонение значений горизонтальных сил,

действующих на шпалу; $\bar{\sigma}_{\text{балл}}$ — среднее значение напряжений в балласте под шпалой, МПа; $\hat{\sigma}_{\text{балл}}$ — среднеквадратическое отклонение значений напряжений в балластном слое под шпалой; $\bar{\sigma}_{\text{опзп}}$ — среднее значение напряжений на основной площадке земляного полотна, МПа; $\hat{\sigma}_{\text{опзп}}$ — среднеквадратическое отклонение значений напряжений на основной площадке земляного полотна; $x_{\sigma+}, x_{\sigma-}$ — соответственно степенные коэффициенты, учитывающие влияние изгиба (полусумма кромочных напряжений) и кручения (полуразность кромочных напряжений) на значение повреждаемости рельсов; $x_{P(\text{скр})}, x_{H(\text{скр})}$ — соответственно степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальных сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости скреплений; $x_{\text{шп}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние вертикальной силы, действующей от рельса на шпалу, на значение повреждаемости шпал; $x_{P(\text{ш.к})}, x_{H(\text{ш.к})}$ — соответственно степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальных сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости для ширины колеи; $x_{\text{балл}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние напряжений в балласте под шпалой, на значение повреждаемости балласта (перекос, просадка, уровень); $x_{P(\text{рихт})}, x_{H(\text{рихт})}$ — соответственно степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальных сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости для накопления неисправностей в плане (рихтовка); $\sigma_{\text{опзп}}^{\text{макс.вер}}$ — максимально вероятное значение напряжений на основной площадке земляного полотна, МПа; $\sigma_{\text{балл}}^{\text{макс.вер}}$ — максимально вероятное значение напряжений сжатия в балласте под шпалой в подрельсовой зоне, МПа; $[\sigma_{\text{опзп}}]$ — допускаемые напряжения на основной площадке земляного полотна; $[\sigma_{\text{балл}}]$ — допускаемые напряжения сжатия в балласте под шпалой в подрельсовой зоне.

$$\bar{P}_{\text{шп}} = \frac{\bar{P}_{\text{к.в}} l_{\text{шп}}}{2}; \quad (13)$$

$$\hat{P}_{\text{шп}} = \frac{\bar{P}_{\text{к.в}} l_{\text{шп}}}{2}; \quad (14)$$

$$\bar{H}_{\text{шп}} = \frac{\bar{Y}_{\text{к.г}} l_{\text{шп}}}{2}; \quad (15)$$

$$\hat{H}_{\text{шп}} = \frac{\hat{Y}_{\text{к.г}} l_{\text{шп}}}{2}; \quad (16)$$

$$\bar{\sigma}_{\text{балл}} = \frac{\bar{P}_{\text{шп}}}{S_{\text{шп}}}; \quad (17)$$

$$\hat{\sigma}_{\text{балл}} = \frac{\hat{P}_{\text{шп}}}{S_{\text{шп}}}, \quad (18)$$

где $\bar{P}_{\text{к.в}}$ — среднее значение вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс, кН; $\hat{P}_{\text{к.в}}$ — среднеквадратическое отклонение значений вертикальных сил, передаваемых от колеса на рельс, кН; $\bar{Y}_{\text{к.г}}$ — среднее значение горизонтальной силы, действующей от рельса на шпалу, кН; $\hat{Y}_{\text{к.г}}$ — среднеквадратическое отклонение значений горизонтальных сил, действующих от рельса на шпалу, кН; $l_{\text{шп}}$ — длина шпалы, м; $S_{\text{шп}}$ — площадь сечения шпалы, см².

тическое отклонение значений вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс; $\bar{Y}_6$ — среднее значение боковой силы, передаваемой от колеса на рельс, кН; $\hat{Y}_6$ — среднеквадратическое отклонение значений боковой силы, передаваемой от колеса на рельс; k_v — относительная жесткость пути в вертикальном направлении, m^{-1} ; k_r — относительная жесткость пути в горизонтальном направлении, m^{-1} ; $l_{\text{шп}}$ — расстояние между осями шпал, см; $S_{\text{шп}}$ — площадь опирания полупалы на балластный слой, cm^2 .

Значения $[D_i]$ могут быть определены на основе математического моделирования, результатов лабораторных исследований или статистического анализа работы конструкции в реальных условиях эксплуатации.

Общий алгоритм определения значения $[D_i]$ следующий:

1) задаем значение d_i , характеризующее появление рассматриваемого отказа или неисправности для i -го элемента или узла. При выполнении математического моделирования или лабораторных исследований значение d_i задается в модели или на стенде на основе имеющихся данных о вертикальных или боковых силах и напряжениях. При выполнении статистического анализа фактических отказов нагруженность на анализируемом участке определяется на основе натурных измерений воздействия подвижного состава или по результатам моделирования, учитывающего особенности участка;

2) определяем число циклов нагружения, при котором наступил отказ или неисправность для i -го узла или элемента. При математическом моделировании или лабораторных экспериментах расчеты или испытания проводим до наступления состояния, соответствующего отказу; при статистическом анализе фактических отказов число циклов определяется на основе данных о пропущенном тоннаже с учетом типов обращающегося подвижного состава, осевых нагрузок и грузонапряженности по следующей формуле:

$$[n_i] = \frac{T_i}{P_i}, \quad (19)$$

где T_i — тоннаж, пропущенный по участку наблюдений до появления рассматриваемого отказа или неисправности для i -го элемента, млн т брутто; P_i — средняя осевая нагрузка на участке наблюдений $\left(P_i = \sum_{j=1}^m P_j \gamma_j\right)$, где

P_j — осевая нагрузка подвижной единицы j -го типа, тс; γ_j — доля подвижных единиц j -го типа в общем поездопотоке;

3) на основе полученных значений d_i и $[n_i]$ определяется значение $[D_i]$:

$$[D_i] = d_i [n_i]. \quad (20)$$

По результатам полученных массивов значений $[D_i]$ для различных отступлений и отказов в узлах и элементах верхнего строения пути формируется доверительная статистика значений $[D_i]$ для дальнейшего применения при прогнозировании. Для учета влияния изменения состояния пути во времени и корректировки значения $[D_i]$ для конкретных участков при моделировании должны быть использованы данные диагностики и накопления неисправностей этих участков.

Основная задача прогнозных расчетов — получение временных или иных оценок длительности эксплуатации пути до появления отказа (неисправности) узла или элемента, который необходимо устранить. Исходными данными для прогнозирования являются значения d_i и $[D_i]$.

Значение d_i характеризует условия эксплуатации конструкции, значение $[D_i]$ — свойства конструкции. Прогнозные расчеты выполняются в следующей последовательности:

1) на основе анализа эксплуатационных условий участка методами математического моделирования или натурных измерений определяются значения боковых и вертикальных сил и напряжений на рассматриваемом участке, действующих на путь от подвижного состава. На основе полученных результатов определяются значения d_i для прогнозируемого отказа или появления неисправности в i -м узле или элементе;

2) на основе значений $[D_i]$ и d_i определяется число циклов $n_i = [D_i]/d_i$, которое будет воспринято i -м узлом или элементом до появления в нем рассматриваемого отказа или неисправности пути.

Значения n_i переводятся во временные или физические оценки (пропущенный тоннаж), позволяющие выполнить прогнозирование даты проведения работ по устранению неисправностей или отказов.

Срок эксплуатации до появления отказа или неисправности (лет) рассчитывается по следующей формуле:

$$t_i = \frac{n_i P_i}{10^6 \Gamma_i}, \quad (21)$$

где Γ_i — грузонапряженность на рассматриваемом участке, млн т-км в год.

Тоннаж, пропущенный до появления отказа или неисправности, определяется по формуле

$$T_i = \frac{n_i P_i}{10^6}. \quad (22)$$

Вторая задача прогнозирования — определение количества выходов из строя элементов верхнего строения пути или количества появления отказов пути на заданном этапе эксплуатации — m_i^k , шт./км в год

$$m_i^k = [a_i (d_i n_i)^5 + b_i (d_i n_i)^4 + c_i (d_i n_i)^3 + s_i (d_i n_i)^2 + e_i (d_i n_i) + f_i], \quad (23)$$

где $a_i, b_i, c_i, s_i, e_i, f_i$ — степенные коэффициенты к функции аппроксимации кривой надежности для i -го вида отказа или выхода из строя элемента верхнего строения пути; k — расчетный год эксплуатации.

Коэффициент готовности определяется по формуле

$$K_{\text{готов}}^k = 1 - \sum m_i^k \gamma_i^m, \quad (24)$$

где γ_i^m — весовой коэффициент для рассматриваемой неисправности или выхода элементов верхнего строения пути из строя, $1/(\text{шт./км в год})$.

Выражения (1–24) описывают деградационную модель и модель расчета напряженно-деформированного состояния пути. Для работы этих моделей необходима модель определения параметров взаимодействия в системе «колесо—рельс». В современной практике можно выделить ряд подходов, реализующих возможность такого моделирования, которые описаны М. Ф. Вериго, А. Я. Коганом [10] и Ю. С. Роменом [11], кроме того, такие данные могут быть получены по результатам натурных измерений или мониторинга воздействия подвижного состава на путь системами типа «НЕБА», WILD, LASCA [12]. Возможна также комбинация подходов, когда данные, полученные в ходе моделирования и натурных экспериментов, объединяются в единую базу данных, которая используется для обучения нейросетевой модели, позволяющей определять показатели взаимодействия пути и подвижного состава [13].

Валидация, верификация и апробация моделей для прогнозирования изменения состояния элементов верхнего строения пути и геометрии рельсовой колеи. В период 2018–2021 гг. была выполнена реализация этого семейства моделей в веб-версии программного комплекса «Нейроэксперт-Путь» (язык программирования — Python), а также проведена первичная верификация и валидация результатов его работы. Веб-версия включает в себя следующие блоки:

- блок 1. Построение расчетной модели железнодорожного пути с необходимой степенью детализации по имеющимся данным средств диагностики и базам паспортных данных (климатические условия, план, профиль, состояние пути, тип рельсов, шпал, креплений, балласт);

- блок 2. Формирование эксплуатационных условий — учет данных вагонопотока (типы вагонов, загрузка вагонов, техническое состояние, скорости движения) и поездопотока (масса обращающихся поездов);

- блок 3. Определение параметров взаимодействия в системе «колесо—рельс» для расчетной модели железнодорожного пути (блок 1) в заданных эксплуатационных условиях (блок 2);

- блок 4. Расчет напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути на основе данных силовой динамики взаимодействия;

- блок 5. Формирование данных о силовой нагрузженности характерных элементов, сечений, точек верхнего строения пути;

- блок 6. Прогнозирование деградации состояния элементов верхнего строения пути во времени и пространстве (расчет остаточного ресурса, надежности, прочности, устойчивости, безопасности движения, уровней рисков, затрат на обслуживание).

Верификация и валидация программного кода расчетных блоков 3, 4, 5 выполнялась путем проведения сравнительных расчетов, выполненных при одинаковых исходных данных в ранее верифицированных программных комплексах «ВЭИП 2.0», «Универсальный механизм» [14, 15] и по утвержденной методике оценки воздействия подвижного состава на путь [9]. Верификация и валидация программного кода расчетного блока 6 выполнялась на основе сравнения результатов прогнозирования с данными, полученными по наблюдениям за накоплением неисправностей и отказами реальных участков пути Куйбышевской железной дороги и Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» (Щербинка). В ходе расчетов силового воздействия и напряженно-деформированного состояния элементов пути были получены значения погрешности от 2 до 5 %, погрешность прогнозных расчетов деградации пути, выхода из строя элементов и накопления неисправностей геометрии рельсовой колеи составила от 8 до 15 %. Полученные значения подтверждают возможность применения разработанных моделей и реализующего их программного кода в качестве основы для дальнейшего формирования ЦДП.

Результаты расчетов представляются как в графическом, так и текстовом виде. В таблице представлен пример выходной информации по результатам работы блока 6. Данные таблицы могут быть использованы в дальнейшем для детального планирования работы путевого хозяйства на участке расчета, а также служить контрольными показателями для оценки фактического состояния пути и качества выполнения ремонтных работ и работ по текущему содержанию.

**Прогнозные значения накопления неисправностей верхнего строения пути
(горно-перевальный участок, средняя нагрузка на ось — 23,6 тс)
Predicted values of the accumulation of malfunctions of the track superstructure
(mountain-pass section, average axle load — 23.6 tf)**

Наименование показателя	Значение показателя								
Год эксплуатации	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общий пропущенный тоннаж, млн т брутто	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440
Количество дефектных рельсов, шт./км	0,445	0,826	1,724	3,568	7,301	0,445	0,826	1,724	3,568
Количество остродефектных рельсов, шт./км	0,049	0,092	0,192	0,396	0,811	0,049	0,092	0,192	0,396
Количество негодных узлов скреплений, шт./км	0,933	8,723	0,933	30,064	0,933	46,057	50,565	0,933	0,933
Количество негодных шпал, шт./км	0,613	5,736	0,613	19,776	0,613	30,305	33,277	0,613	0,613
Количество отступлений по ширине колеи, шт./км:									
2 степени	0,301	0,771	0,301	0,771	0,301	0,301	0,771	0,301	0,301
3 степени	0,100	0,257	0,100	0,257	0,100	0,100	0,257	0,100	0,100
4 степени	0,025	0,064	0,025	0,064	0,025	0,025	0,064	0,025	0,025
Количество неисправностей геометрии рельсовой колеи в профиле, шт./км:									
2 степени	7,287	12,255	7,287	12,255	7,287	7,287	12,255	7,287	7,287
3 степени	2,550	3,726	2,550	3,726	2,550	2,550	3,726	2,550	2,550
4 степени	0,956	1,398	0,956	1,398	0,956	0,956	1,398	0,956	0,956
Количество неисправностей геометрии рельсовой колеи в плане, шт./км:									
2 степени	0,921	1,445	0,921	1,445	0,921	0,921	1,445	0,921	0,921
3 степени	0,307	0,482	0,307	0,482	0,307	0,307	0,482	0,307	0,307
4 степени	0,307	0,482	0,307	0,482	0,307	0,307	0,482	0,307	0,307
Загрязненность щебня, %	19,410	27,037	29,510	30,628	32,023	19,410	27,037	29,510	30,628
Количество негодных скреплений, %	0,012	0,112	0,012	0,385	0,012	0,590	0,648	0,012	0,012
Количество негодных шпал, %	0,031	0,294	0,031	1,013	0,031	1,552	1,705	0,031	0,031
Число шпал с выплесками, %	1,941	2,704	1,941	3,063	1,941	1,941	2,704	1,941	1,941
Затраты на текущее содержание, тыс. руб./км в год	155,240	1220,840	243,917	1520,650	564,273	448,145	1492,490	243,917	350,306
Признак проведения ремонта*	—	В	—	В	РС	—	В	П	КРН
Индекс предотказа	0,161	0,252	0,177	0,338	0,245	0,236	0,321	0,177	0,199
Частота отказов, шт./км в год	0,074	0,156	0,217	0,461	0,836	0,074	0,156	0,217	0,422
Доля затрат текущего содержания от уровня амортизации, %	0,064	0,503	0,101	0,627	0,233	0,185	0,615	0,101	0,144
Суммарные затраты на техническое обслуживание, тыс. руб./км	155,240	1220,841	243,917	1520,652	11291,690	448,145	1492,495	2792,037	22179,050

* В — выправочный ремонт, РС — средний ремонт со сплошной заменой рельсов, П — подъемочный ремонт, КРН — капитальный ремонт первого уровня.

* В — renewal repair, РС — medium repair with continuous replacement of rails, П — raising repair, КРН — overhaul of the first level.

Заключение. 1. В современных экономических условиях планирование является основой для организации управления активами в любой отрасли, и в первую очередь на железнодорожном транспорте как стратегически важном объекте народного хозяйства.

2. Техническая сложность и огромное количество объектов и подсистем, формирующих железнодо-

рожную инфраструктуру, требуют взаимосвязки при планировании их работы, что с учетом современных тенденций развития средств и методик управления активами наиболее продуктивно осуществлять с применением подхода цифровых двойников, а путевое хозяйство является приоритетным направлением их внедрения.

3. На основе определения понятия «цифровой двойник» была выполнена декомпозиция железнодорожной инфраструктуры и выделены основные требования к виртуальной части ЦДП, а также определен состав расчетных и прогнозных моделей, необходимых для реализации в рамках его создания.

4. В результате анализа имеющихся наработок в области моделирования железнодорожного пути, а также ранее проведенных исследований по вопросам прогнозирования его работы определены теоретические основы работы расчетных прогнозных моделей и выполнена их программная реализация. Кроме того, были проведены верификационные и валидационные исследования разработанного программного обеспечения, показавшие удовлетворительные результаты.

5. Выходные формы и массивы данных, полученные в ходе моделирования, могут быть использованы для планирования работы линейных предприятий путевого комплекса и оценки качества текущего содержания железнодорожного пути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулый И. М. Подход к экономической оценке инвестиционных проектов развития железнодорожной инфраструктуры // Транспорт Российской Федерации. 2021. № 1–2 (92–93). С. 12–14.
2. Розенберг И. Н., Шабельников А. Н., Ольгейзер И. А. Разработка платформы цифровых двойников инфраструктурных объектов // Железнодорожный транспорт. 2019. № 9. С. 26–29.
3. Цифровая железная дорога — ERTMS, BIM, GIS, PLM и цифровые двойники / В. П. Куприяновский [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. Т. 13. № 3. С. 129–166.
4. Шевченко Д. В. Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 2. С. 91–99. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-91-99>.
5. Коган А. Я., Абдурашитов А. Ю. Прогнозирование отказов рельсов по дефектам контактно-усталостного происхождения // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2014. № 4. С. 3–7.

6. Карпушенко Н. И. Надежность связей рельсов с основанием. М.: Транспорт, 1986. 150 с.

7. Повышение надежности и эффективности работы железнодорожного пути в условиях роста осевых нагрузок подвижного состава: межвуз. сб. науч. тр. / Новосибирский ин-т инженеров ж.-д. транспорта; под ред. Н. И. Карпушенко. Новосибирск: НИИЖТ, 1989. 80 с.

8. Лысюк В. С., Каменский В. Б., Башкатова Л. В. Надежность железнодорожного пути / под ред. В. С. Лысюка. М.: Транспорт, 2001. 286 с.

9. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22 декабря 2017 г. № 2706/р. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EJP&n=713998#104D91STIWx6Fon4> (дата обращения: 15.08.2021 г.).

10. Вериги М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 560 с.

11. Ромен Ю. С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методы расчета и испытаний. М.: ВМГ-Принт, 2014. 210 с.

12. Ададуров А. С., Тюпин С. В., Лапин А. М. Техническая диагностика колесных пар: современные методы и средства выявления дефектов // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2013. № 4 (24). С. 32–35.

13. Сивицкий Д. А. Анализ опыта и перспектив применения искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения (Вестник СГУПС). 2021. № 2 (57). С. 33–41. DOI: [10.52170/1815-9265_2021_57_33](https://doi.org/10.52170/1815-9265_2021_57_33).

14. Программный комплекс «взаимодействие экипажа и пути 2.0»: св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2020618358 Рос. Федерация / М. А. Хлудеев [и др.]; заявитель АО «ВНИИЖТ». № 2020617354; заявл. 15.07.2020; опубл. 24.07.2020.

15. Языков В. Н. Численное моделирование динамики поезда в режиме реального времени // Вестник Брянского государственного технического университета (Вестник БГТУ). 2015. № 2 (46). С. 123.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СУСЛОВ Олег Александрович,

д-р техн. наук, технический эксперт, НИАЦ, АО «ВНИИЖТ»

ФЕДОРОВА Вероника Игоревна,

канд. техн. наук, начальник отдела, НИАЦ, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 01.09.2021 г., принята к публикации 23.09.2021 г.

Для цитирования: Суслов О. А., Федорова В. И. Перспективные подходы к прогнозному моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути и их применение при создании цифровых двойников // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 5. С. 251–259. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-251-259>.

Prospective approaches to predictive modeling of degradation processes of track superstructure elements and its application in creating digital twins

O. A. SYSLOV, V. I. FEDOROVA

Scientific Information and Analytical Center of the Joint Stock Company Railway Research Institute (NIAC JSC “VNIIZHT”), St. Petersburg, 196128, Russia

Abstract. It's impossible to use digital technologies without using the amount of information coming from various systems de-

signed to manage the transportation process and plan its work, taking into account modern economic requirements and resource

constraints. Digital twins are currently the most promising tool for solving the problems of managing technically rich multi-level assets, which include railway transport. The track facilities are one of the most expensive assets, and the issues of organizing the management of the maintenance of the railway track are very acute, since they are directly related to the safety of train traffic, therefore, the development of a digital twin of the railway track is a priority task for track science. A digital twin of a railway track should contain elements of BigData technology in the form of arrays of diagnostic data coming online from mobile and stationary diagnostic tools, an array of passport data about the track device, as well as a set of models that can convert this data into matrices “state—action”, suitable for making organizational and technical decisions on the management of the track complex, starting from the level of linear enterprises and ending with network tasks. The article presents models that can be taken as a foundation for building digital twins of a railway track. The results of verification and approbation of the proposed models in the “Neyroekspert-Put” software package are also presented.

Keywords: digital twin; railway track; track superstructure; railway track degradation forecasting

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-251-259>

REFERENCES

1. Guly I. M. *Podkhod k ekonomicheskoy otsenke investitsionnykh projektov razvitiya zheleznodorozhnoy infrastruktury* [Approach to the economic assessment of investment projects for the development of railway infrastructure]. Transport of the Russian Federation, 2021, no. 1–2 (92–93), pp. 12–14.
2. Rozenberg I. N., Shabel'nikov A. N., Ol'geyzer I. A. *Razrabotka platformy tsifrovyykh dvoynikov infrastrukturykh ob"ektov* [Development of a platform for digital twins of infrastructure facilities]. Zheleznodorozhnyy transport, 2019, no. 9, pp. 26–29.
3. Kupriyanovskiy V. P., Alen'kov V. V., Klimov A. A., Sokolov I. A., Zazhigalkin A. V. *Tsifrovaya zheleznaya doroga — ERTMS, BIM, GIS, PLM i tsifrovye dvoyniki* [Digital railway — ERTMS, BIM, GIS, PLM and digital twins]. Modern Information Technologies and IT-education, 2017, Vol. 13, no. 3, pp. 129–166.
4. Shevchenko D. V. *Metodologiya postroeniya tsifrovyykh dvoynikov na zheleznodorozhnom transporte* [Methodology for constructing digital twins in railway transport]. VNIIZHT Scientific Journal, 2021, Vol. 80, no. 2, pp. 91–99. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-2-91-99>.
5. Kogan A. Ya., Abdurashitov A. Yu. *Prognozirovanie otkazov rel'sov po defektam kontaktno-ustalostnogo proiskhozhdeniya* [Prediction of rail failures based on defects of contact-fatigue origin]. Vestnik VNIIZHT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 4, pp. 3–7.
6. Karpushchenko N. I. *Nadezhnost' svyazey rel'sov s osnovaniem* [Reliability of connections between rails and base]. Moscow, Transport Publ., 1986, 150 p.
7. Karpushchenko N. I. *Povyshenie nadezhnosti i effektivnosti raboty zheleznodorozhnogo puti v usloviyakh rosta osevykh nagruzok podvizhnogo sostava. Mezhev. sb. nauch. tr.* [Improving the reliability and efficiency of the railway track in conditions of increasing axle loads of rolling stock. Interuniversity collection of scientific papers]. Novosibirsk, NIIZhT Publ., 1989, 80 p.
8. Lysyuk V. S., Kamenskiy V. B., Bashkatova L. V. *Nadezhnost' zheleznodorozhnogo puti* [Reliability of the railway track]. Moscow, Transport Publ., 2001, 286 p.
9. *Methodology for assessing the impact of rolling stock on the track under the conditions of ensuring reliability*. Approved by order of JSC Russian Railways dated December 22, 2017 No. 2706/r. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=713998#IO4D9ISTIWx6Fon4> (retrieved on 15.08.2021) (in Russ.).
10. Verigo M. F., Kogan A. Ya. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava* [Interaction of track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 560 p.
11. Romen Yu. S. *Dinamika zheleznodorozhnogo ekipazha v rel'sovoy kolee. Metody rascheta i ispytaniy* [Dynamics of a railway carriage in a rail track. Calculation and test methods]. Moscow, VMG-Print Publ., 2014, 210 p.
12. Adadurov A. S., Tyupin S. V., Lapin A. M. *Tekhnicheskaya diagnostika kolesnykh par: sovremennyye metody i sredstva vyavleniya defektov* [Technical diagnostics of wheelsets: modern methods and means of detecting defects]. Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog, 2013, no. 4 (24), pp. 32–35.
13. Sivitskiy D. A. *Analiz opyta i perspektiv primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setey na zheleznodorozhnom transporte* [Analysis of the experience and prospects of using artificial neural networks in railway transport]. The Siberian Transport University Bulletin, 2021, no. 2 (57), pp. 33–41. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_57_33.
14. Khludeev M. A., Vasil'yev S. L., Gonik M. M., Mikhaylov S. V., Khomyakov S. V., Yaroshchuk D. I., Kogan A. Ya. *Programmnyy kompleks "vzaimodeystvie ekipazha i puti 2.0"* [Software complex “Carriage and track interaction 2.0”]. Sv-vo o gos. registratsii programmy dlya EVM No. 2020618358 Ros. Federatsiya; opubl. 24.07.2020 [Certificate of state registration of the computer program No. 2020618358 Russian Federation; publ. 24.07.2020] (in Russ.).
15. Yazykov V. N. *Chislennoe modelirovanie dinamiki poezda v rezhime real'nogo vremeni* [Numerical simulation of train dynamics in real time]. Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2015, no. 2 (46), p. 123.

ABOUT THE AUTHORS

Oleg A. SUSLOV,

Dr. Sci. (Eng.), Technical Expert, NIAC, JSC “VNIIZHT”

Veronika I. FEDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department, NIAC, JSC “VNIIZHT”

Received 01.09.2021

Accepted 23.09.2021

■ E-mail: Suslov.Oleg@vniizht.ru (O. A. Suslov)

For citation: Syslov O. A., Fedorova V. I. Prospective approaches to predictive modeling of degradation processes of track superstructure elements and its application in creating digital twins // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (5): 251–259 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-251-259>.

Восстановление поверхности выпускного клапана методом плазменного напыления в сравнении с электродуговым и газопламенными методами

Д. И. БАЛАХОНОВ, И. А. МАКАРОВ, М. В. ЯРАНЦЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «ДВГУПС»), Хабаровск, 680021, Россия

Аннотация. В условиях современной экономической нестабильности различных секторов промышленности для народно-хозяйственного комплекса важным является вопрос улучшения технологии ремонта деталей силовых агрегатов, при этом разработка технологических приемов по восстановлению контактных поверхностей деталей должна производиться в условиях предприятий и быть доступной. В статье сравниваются наиболее распространенные методы восстановления поверхности деталей, такие как газопламенное, плазменное напыление и электродуговая наплавка. Изученный опыт различных специалистов, работающих в данном направлении, позволил реализовать эти методы восстановления с применением шихты на основе минерального вольфрамоносителя, бора и углерода. Исследован процесс легирования получаемых покрытий, где вольфрам имеет форму триоксида вольфрама (WO_3) и вольфрамата кальция ($CaWO_4$). Произведен сравнительный анализ методов восстановления поверхности конуса выпускного клапана дизельного двигателя Д49. Приведены результаты микро- и макроанализа структур полученных покрытий и основного металла восстанавливаемой детали, результаты анализа химического состава, оценка микротвердости и адгезионной прочности сцепления полученных покрытий с поверхностью основного металла. Обоснована перспективность применения методов газотермического восстановления поверхности деталей по отношению к методу электродуговой наплавки. Последующие исследования будут направлены на установку восстановленных деталей в двигатель внутреннего сгорания локомотива, их эксплуатацию в реальных условиях, оценку надежности и долговечности. Исследования в данном направлении позволят улучшить качественные показатели восстановленных поверхностей деталей силовых агрегатов подвижного состава.

Ключевые слова: клапан дизеля Д49; восстановление поверхности; газотермическое напыление; газопламенное напыление; электродуговая наплавка; плазменное напыление; шеелитовый концентрат

Введение. Основными требованиями, предъявляемыми к современным дизельным двигателям тягового подвижного состава, являются повышенная надежность и работоспособность при различных режимах работы в условиях высокой термической и динамической нагрузки на детали [1, 2].

Поддержание в исправном состоянии всех элементов шатунно-поршневой группы и газораспреде-

лительного тракта двигателя с соблюдением всех технологических размеров и допусков — первостепенная задача, решаемая в циклах технического обслуживания и ремонта. Каждая деталь из указанных групп имеет свои нормы межремонтного пробега и до полной выработки положенного ресурса может потребовать непланового ремонта.

На данный момент применяемые при деповском ремонте методы восстановления поверхностей деталей двигателя внутреннего сгорания не позволяют достичь изначального уровня качества, что приводит к снижению как надежности, так и долговечности всего механизма.

Подобного рода проблемы могут быть нивелированы или решены полностью с применением более современного технологического подхода к вопросу ремонта [3–8]. Одним из таких подходов является применение плазменного напыления [9] для локального нанесения специального состава на основе минеральных компонентов при восстановлении контактных поверхностей деталей.

Результаты экспериментов по восстановлению поверхности запорного конуса выпускного клапана тепловозного дизельного двигателя Д49 позволяют провести сравнительный микро- и макроанализ плазменного напыления и применяемых на сегодняшний день методов восстановления, таких как автоматическая электродуговая наплавка и газопламенное напыление.

Основным критерием для оценки качества покрытия является его адгезионная прочность τ_0 относительно поверхности напыляемой детали. В свою очередь, данный показатель для электродугового и газопламенного методов напыления лежит в пределах от 20 до 50 МПа. В случае применения плазменного метода напыления показатель адгезии должен составлять от 30 до 60 МПа [10].

Процессы восстановления поверхностей деталей двигателей внутреннего сгорания широко известны и представлены во многих работах [3, 4, 6, 11–13]. Результаты экспериментов показывают перспективность

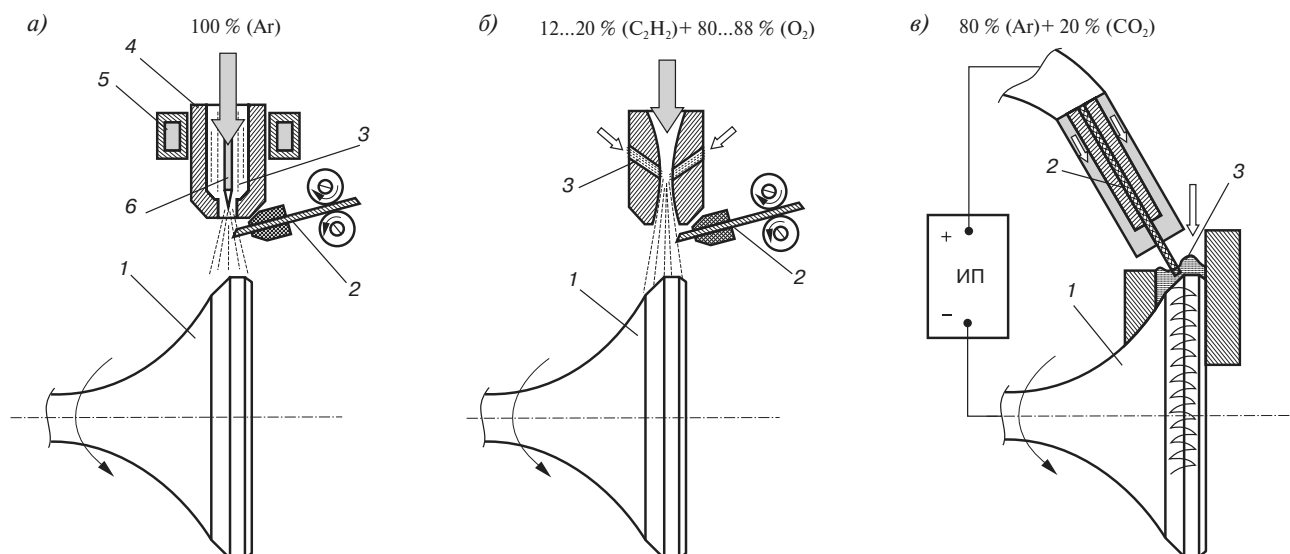


Рис. 1. Схема восстановления пояса запорного конуса клапана:
а — плазменное напыление: 1 — клапан; 2 — подача проволоки; 3 — подача шихты; 4 — анод; 5 — система охлаждения; 6 — катод;
б — газопламенное напыление; *в* — электродуговая наплавка: 1 — клапан; 2 — подача проволоки; 3 — подача шихты.

ИП — импульсный преобразователь

Fig. 1. Reconstruction of the valve closure cone course:

a — plasma spraying: 1 — valve; 2 — wire feed; 3 — batch routing; 4 — anode; 5 — cooling system; 6 — cathode;
б — flame spraying; *в* — electric arc surfacing: 1 — valve; 2 — wire feed; 3 — batch routing.

ИП — pulse converter

подобных решений, а также позволяют проанализировать некоторые возможные недостатки, к которым зачастую относятся: шлакообразование, перегрев детали, низкий показатель адгезии, разнородность материала по отношению к основанию и т. д.

Методика и материалы. Для обоснования перспективности применения методов газотермического восстановления поверхности деталей по отношению к методу электродуговой наплавки приведены результаты экспериментов, проводимых с ремонтпригодными выпускными клапанами дизельного двигателя Д49, эксплуатируемого на магистральном локомотиве серии 2ТЭ10МК. Схематически методы восстановления поверхности запорного конуса клапана представлены на рис. 1. Рассматриваемые газотермические методы напыления имеют принципиальные отличия от электродуговой наплавки при ремонте деталей подвижного состава. Важно отметить, что для достижения наилучшего показателя адгезионной прочности покрытия к поверхности подложки необходимо учитывать температуру процесса, давление (скорость движения частиц при газотермических методах) и время взаимодействия частиц с подложкой.

Для нанесения покрытия указанными методами клапан был предварительно отчищен от нагара, измерена геометрия запорного конуса и величина биения клапана с последующей механической обработкой. Восстанавливаемые поверхности перед нанесением покрытия были обезжирены. Стержень

клапана установлен в патрон токарного станка, в устройстве для поперечной подачи режущего инструмента закреплен механизм установки и дистанцирования горелки — держак.

Режим вращения детали для каждого метода нанесения покрытия подобран экспериментально. Так, для электродуговой наплавки частота вращения не превышала 10 об/мин, а для методов плазменного и газопламенного напыления составляла до 1000 об/мин. Для более точного регулирования частоты вращения применялся импульсный преобразователь.

Выпускной клапан изготовлен из жаропрочной высоколегированной стали, химический состав которой согласно справочным материалам и предварительной проверке на соответствие сведен в табл. 1. Важно отметить, что при производстве клапанов для дизельных двигателей Д49 используется сталь жаропрочная, высоколегированная различных марок, например 45Х14Н14В2М, 40Х10С2М и др. Различия в составе сталей заключаются в наличии таких химических элементов, как W, Ti, Cu и др.

Определение показателя адгезионной прочности сцепления полученных покрытий с поверхностью основного металла производилось стандартным методом на сдвиг с применением цилиндрического пуансона и матрицы.

Пористость полученных покрытий определяли методом гидростатического взвешивания. Анализ микротвердости производился с использованием сертифицированного оборудования ПМТ-3 по методу

Таблица 1

Химический состав стали выпускного клапана и сварочно-наплавочной проволоки, содержание в масс. %

Table 1

Chemical composition of the steel of the outlet valve and welding-surfacing wire, content in mass. %

Химические элементы	Марка стали	
	45X14H14B2M	12X18H10T (проволока $D = 2$ мм)
C	0,4...0,5	0,12
Si	до 0,8	0,8
Mn	до 0,7	2
Ni	13...15	11
S	до 0,02	0,02
P	до 0,035	0,035
Cr	13...15	19
Mo	0,25...0,4	—
Ti	—	1
Cu	—	0,3
W	2,0...2,8	—
Fe	64,75...69,8	67

Виккерса при нагрузке $F = 50$ кгс и времени выдержки 10...15 с. Значение микротвердости для стали марки 45X14H14B2M составляли 285...290 HV.

Химический анализ полученных покрытий производился с применением сертифицированного лабораторного искрового оптико-эмиссионного спектрометра фирмы Hitachi High-Tech модели Foundry-Master Smart с диапазоном длин волн 165...700 нм.

Общеизвестно, что наличие вольфрама в составе стали приводит к повышению показателя твердости и красностойкости сплава. Наличие этого элемента при восстановлении поверхности пояска обязательно, так как вольфрам входит в состав основного металла клапана. Также важно учитывать содержание остальных химических элементов, входящих в состав стали, применяемой для восстановления.

Электродуговая наплавка, газопламенное и плазменное напыление производились с автоматиче-

ской подачей проволоки в высокотемпературную зону. Важно отметить, что для восстановления поверхности запорного конуса выпускного клапана сложно подобрать готовое решение по сварочно-наплавочной проволоке, так как существующий на рынке ассортимент имеет существенные отличия по химическому составу в сравнении с составом стали клапана. Ввиду этого было принято решение дополнительно производить ввод шихты в процессе наплавки и напыления. Для указанных технологических процессов применялась проволока марки 12X18H10T диаметром 2 мм с досыпкой шихты разработанного состава, включающего в том числе шеелитовый концентрат (табл. 2).

Процесс подготовки шихты сопровождался ее механоактивацией при смешивании трех компонентов в следующем соотношении: концентрат — 50...90 %, бор — 10...50 % и углерод (графит) — 5...10 %. Размер фракции составлял 100...350 мкм.

Восстановление поверхности выпускного клапана методом электродуговой наплавки. В ходе электродуговой наплавки восстановленная поверхность клапана поэтапно претерпевала следующие операции: нормализацию с последующим остыванием на воздухе, зачистку поверхности, отделение сегментов и подготовку шлифов с последующим травлением исследуемой поверхности (рис. 2).

Скорость вращения восстанавливаемой детали в процессе наплавки составляла 8...10 об/мин, ток дуги 84 А, температура детали в процессе наплавки достигала 550...680 °С и контролировалась пирометром. Важно отметить, что нагрев детали неравномерен и указанные значения справедливы только для зоны контакта дуги.

Электродуговую наплавку производили проволокой марки 12X18H10T с добавлением шихты на основе шеелитового концентрата. Высокотемпературная зона наплавки защищалась газовой смесью 80 % Ag и 20 % CO₂. Такое условие необходимо для стабилизации процессов перехода легирующих элементов из шихты в получаемое покрытие.

Проведенный микроанализ шлифа (рис. 2, а) показал наличие четко выраженной границы раздела фаз основного металла поверхности клапана и наплавляемого слоя (рис. 2, б). Выявлены отдельные образования

Таблица 2

Фазовый состав шеелитового концентрата

Table 2

Phase composition of scheelite concentrate

Содержание химических соединений в концентрате, масс. %																
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	As	TiO ₂	WO ₃	SO ₃	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	CO ₂
7,96	0,78	5,29	0,72	0,02	19,8	2,45	0,18	0,17	4,9	0,45	0,25	55,4	0,1	0,48	0,62	0,43

Таблица 3

Химический состав покрытия и основного металла выпускного клапана после электродуговой наплавки

Table 3

Chemical composition of the coating and base metal of the outlet valve after arc weld

Спектр	Химические элементы, масс. %											
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Cu	W	Fe
1	0,43	0,4	0,5	11	0,01	0,02	12	0,4	—	—	2,25	72,99
2	0,47	0,2	0,48	10,24	0,01	0,01	11,2	0,34	—	—	2,16	74,89
3	0,33	1,66	0,43	9,54	0,02	0,01	8,64	0,21	—	0,01	3,41	75,74
4	0,41	0,98	0,47	8,85	0,02	0,01	8,96	0,4	0,01	0,01	3,25	76,63
5	0,46	1,22	0,43	9,76	0,01	—	9,54	—	0,01	—	2,93	75,64

основного металла в наплавленном слое, шлаковые включения и поры.

Глубина перехода и проплавления поверхности клапана в среднем составила 800 мкм и зависела от скорости и времени процесса наплавки.

Общее наличие пор в полученном покрытии составило 3...11 %, что может свидетельствовать о недостаточной защите поверхности при наплавке в смеси газов $Ag + CO_2$, увеличенной скорости процесса наплавки, недостаточном или избыточном содержании бора и углерода в шихте. Такие показатели пористости получены в результате использования экспериментально подобранного состава шихты (10 % — бор, 10 % — углерод, остальное — шеелитовый концентрат) и снижения скорости вращения клапана, что, в свою очередь, приводит к увеличению нагрева детали и снижению качественных характеристик стали.

Анализ химического состава наплавленного слоя и основного металла клапана представлен в табл. 3. Спектры 1 и 4 соответствуют основному металлу клапана, спектры 2 и 5 — покрытию, спектр 3 получен на границе раздела фаз.

Химический анализ показал, что состав основного металла клапана остается преимущественно прежним, а при приближении к границе раздела фаз изменяется. Содержание углерода в основном металле составляет в среднем 0,42 масс. %, на границе раздела фаз — 0,33 масс. %, в покрытии — 0,46 масс. %. В процессе эксперимента удалось достичь содержания вольфрама в наплавленном слое 2,16...2,93 масс. %. Микротвердость наплавленного слоя составила 310 HV (получено при нагрузке $F=50$ кгс и времени выдержки 10...15 с), микротвердость основания — 290 HV по Виккерсу. Проведенный анализ адгезионной прочности покрытия к основному металлу показал значение в 370 МПа, разрушение происходило не по границе раздела фаз, а в сторону основного металла.

Важно отметить, что в процессе восстановления выпускного клапана сложно избежать термических деформаций (рис. 2, а), приводящих к напряжению в покрытии и у границ раздела фаз, а также выгибанию тарелки клапана.

Дальнейшее использование клапана после электродуговой наплавки может быть нецелесообразным

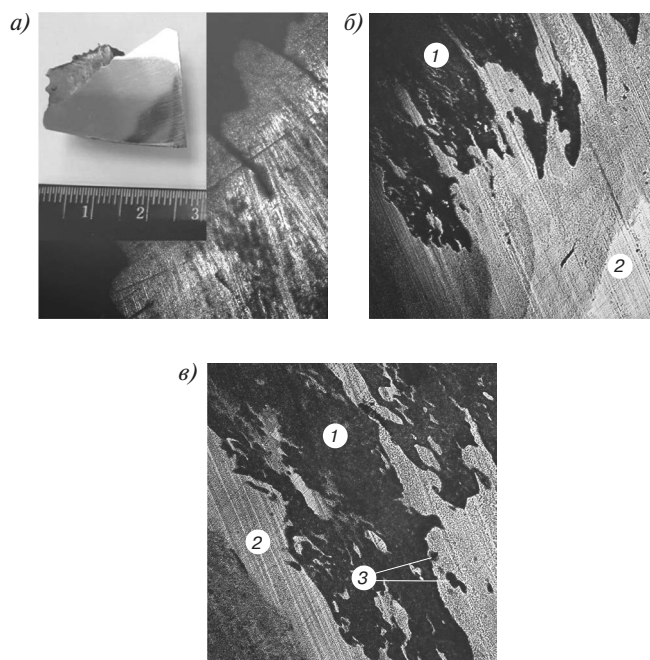


Рис. 2. Область электродуговой наплавки на поверхности выпускного клапана: а — наплавленный слой на поверхности клапана; б — граница основного металла и наплавленного слоя; в — граница раздела фаз и дефекты в структуре металла: 1 — наплавленный слой; 2 — основной металл; 3 — шлаковые включения

Fig. 2. Arc weld area on the surface of the outlet valve: а — weld layer on the valve surface; б — boundary of the base metal and the weld layer; в — phase boundary and defects in the metal structure: 1 — weld layer; 2 — base metal; 3 — slag inclusions

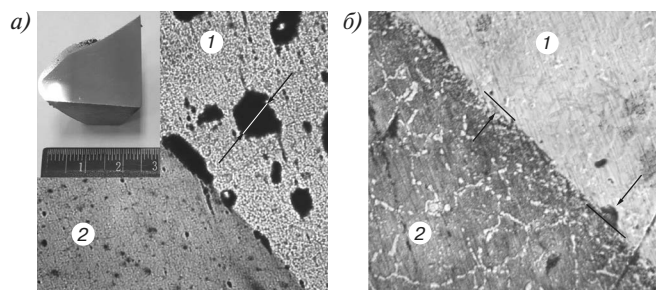


Рис. 3. Области газопламенного напыления на поверхности выпускного клапана:
 а — образец микрошлифа и напыленный слой;
 б — проплавление поверхности клапана:
 1 — напыленный слой; 2 — основной металл

Fig. 3. Flame spraying areas on the surface of the outlet valve:
 а — microsection sample and sprayed layer;
 б — weld penetration of the valve surface:
 1 — sprayed layer; 2 — base metal

ввиду наличия большого количества как внутренних, так и внешних дефектов (микротрещин, пор, шлаковых включений).

Восстановление поверхности выпускного клапана методом газопламенного напыления. Значительным отличием при восстановлении поверхности детали методом газопламенного напыления является скорость вращения детали — 800...1000 об/мин. Высокотемпературная среда факела ацетилено-кислородной горелки позволяет производить расплавление вводимой проволоки марки 12Х18Н10Т и шихты с последующим ее диспергированием на восстанавливаемую поверхность клапана. Расход газовой смеси в процессе напыления подбирался экспериментально и составил: ацетилен — 0,05...0,08 м³/ч, кислород — 0,2...0,6 м³/ч. Вместо ацетилена в качестве горючего газа можно применять пропан-бутановую смесь, но расход газа в таком случае будет отличаться от указанного. Диаметр сопла горелки для ацетилено-кислородной смеси — 2,8 мм, шихта подавалась

совместно с газом по технологическому каналу в предопловую зону. Температура факела составляла 3000 °С, температура самой детали достигала 300...400 °С и контролировалась прерыванием процесса и постепенным охлаждением до 150...250 °С. Толщина напыляемого слоя на поверхности запорного конуса клапана распределялась неравномерно и составила 2...3 мм.

Анализ микроструктуры шлифа, полученного в результате газопламенного напыления, представлен на рис. 3. Различима граница полученного покрытия и основного металла (рис. 3). Проплавление поверхности основного металла клапана составило 10...30 мкм, различимы поры и очаги шлака. Переход металла подложки в покрытие — не более 20 мкм. Общее количество пор наплавленного слоя составляло в среднем 21 %, размер пор достигал 400 мкм. Причиной порообразования является наличие попутных химических элементов, входящих в состав концентрата и шихты (соединения с кислородом, участвующие в металлургических реакциях), перепад температур между подложкой (поверхностью детали) и расплавом, а также температурный градиент при остывании покрытия, снижение текучести.

На макроснимке микрошлифа (рис. 3, а) можно заметить, что объем пор по всей глубине полученного покрытия значителен, так как прогрев детали происходит неравномерно из-за теплопередачи по всему объему клапана.

Существует ряд технологических приемов, позволяющих снизить порообразование (например, не уводить факел горелки по окончании процесса напыления). Однако при этом существует риск перегрева как самой детали, так и получаемого покрытия.

Показатель адгезионной прочности сцепления с покрытием составил 43 МПа. Химический состав материала покрытия и основного металла клапана представлен в табл. 4.

Таблица 4

Химический состав покрытия и основного металла выпускного клапана после газопламенного напыления

Table 4

Chemical composition of the coating and base metal of the outlet valve after flame spraying

Спектр	Химические элементы, масс. %											
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Cu	W	Fe
1	0,42	0,11	0,24	13,12	0,02	—	13,94	0,26	—	—	2,3	69,59
2	0,41	0,16	0,31	8,67	0,01	—	12,26	0,11	—	—	4,43	73,64
3	0,39	0,59	0,37	8,45	0,01	—	9,72	0,18	—	—	6,65	73,64
4	0,44	0,2	0,32	13,22	0,01	—	13,98	0,28	—	—	2,2	69,35
5	0,38	0,47	0,19	9,04	0,01	—	11,64	0,01	—	—	6,13	72,13

При анализе данных таблицы можно заметить, что состав основного металла клапана остается преимущественно прежним (спектры 1 и 4), а его показатели изменяются при приближении к границе раздела фаз (спектр 2).

Содержание углерода у границы раздела фаз составляет 0,41 масс. %, в покрытии — 0,38...0,39 масс. % (спектры 3 и 5). Содержание вольфрама на границе раздела — 4,43 масс. %, в покрытии — 6,13...6,65 масс. %. Выявлен переход вольфрама в сплав в карбидную форму WC, а также наличие вкраплений отдельной фазы вольфрама в соединении с кислородом (выпадающая фаза). Микротвердость полученного покрытия — 420...480 HV (получено при нагрузке $F=50$ кгс и времени выдержки 10...15 с), микротвердость основания — 285...290 HV.

В отличие от электродуговой наплавки в процессе высокотемпературного воздействия факелом горелки деформации тарелки клапана не происходит. Увеличивать толщину наносимого слоя методом газопламенного напыления на запорный конус клапана крайне затратно (расход материала, не достигающего поверхности детали, составляет 70 %). Уменьшить расход материала возможно путем изменения диаметра и формы сопла, что также позволит сконцентрировать факел горелки и уменьшит диаметр зоны покрытия.

Восстановление поверхности выпускного клапана методом плазменного напыления. При восстановлении поверхности детали методом плазменного напыления температура факела достигает 10000 °С. Удельная мощность плазменного факела составляет 104...105 Вт/см², скорость вращения детали — не менее 1000 об/мин. Температурный градиент плазменного факела неравномерный, а максимальный показатель температуры снижается от центра потока и соплового отверстия. Благодаря конструктивным особенностям плазматрона, разработанного на базе аппарата плазменной резки (рис. 1, а), шихта вводилась в предсопловую область под высоким давлением. Обусловлено это тем, что применяемый в экспериментах плазматрон косвенного действия имеет в своей конструкции и анодную, и катодную части. Также в плазменный поток вводилась проволока марки 12Х18Н10Т. Частицы расплавленного материала, с высокой скоростью направленные на поверхность клапана, позволили сформировать покрытие толщиной 1,0...2,5 мм. Расход газа (аргон) в процессе напыления составил 1,5...1,98 м³/ч. Сопло диаметром 1,2 мм являлось анодом плазматрона и принудительно охлаждалось. Катод плазматрона выполнен из вольфрамового стержня диаметром 3 мм. Температура детали в процессе напыления достигала 380...550 °С и контролировалась преры-

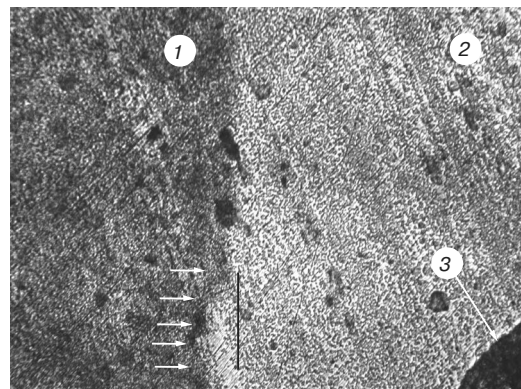


Рис. 4. Область плазменного напыления на поверхности выпускного клапана:
1 — основной металл; 2 — напыленный слой;
3 — пора и шлаковые включения

Fig. 4. Plasma spraying area on the surface of the outlet valve:

1 — base metal; 2 — sprayed layer;
3 — time and slag inclusions

ванием процесса и постепенным охлаждением до 150...250 °С.

Проплавление поверхности основного металла клапана составило 10...50 мкм, различимы поры и очаги шлака. Глубина перехода металла подложки в покрытие — не более 30 мкм. Общее количество пор наплавленного слоя составило в среднем 4 %, размер пор достигал 350 мкм.

Микроструктура полученного покрытия и основного металла представлена на рис. 4. Граница покрытия и основного металла клапана менее различима по сравнению с вышеперечисленными методами восстановления поверхности.

При восстановлении поверхности клапана методом плазменного напыления важную роль играет форма факела и принцип подачи напыляемого материала в высокотемпературную зону. Материал в поле плазмы претерпевает следующие преобразования: плавление, диспергирование и возгонку. На выходе из потока плазмы расплавленные капли соударяются с поверхностью детали, что приводит к диффузии с основным металлом. Основной задачей, решаемой благодаря применению плазменного напыления, является использование тугоплавкого металла (вольфрама), входящего в состав шеелитового концентрата.

Анализируя данные таблицы 5, можно заметить, что состав основного металла клапана остается преимущественно прежним (ему соответствуют спектры 1 и 4), а его показатели изменяются при приближении к границе раздела фаз (спектр 2).

Содержание углерода у границы раздела фаз составляет 0,31 масс. %, в покрытии — 0,27...0,29 масс. %

Таблица 5

Химический состав покрытия и основного металла выпускного клапана после плазменного напыления

Table 5

Chemical composition of the coating and base metal of the outlet valve after plasma spraying

Спектр	Химические элементы, масс. %											
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Cu	W	Fe
1	0,33	0,21	0,14	6,82	0,001	—	14,08	0,26	—	—	2,42	75,74
2	0,31	1,07	0,35	8,31	0,001	—	13,21	0,33	0,03	—	7,56	68,83
3	0,27	1,12	0,18	7,46	—	—	12,46	0,31	0,02	—	8,12	70,06
4	0,35	0,21	0,36	8,03	—	—	13,84	0,24	—	—	2,41	74,56
5	0,29	2,13	0,21	7,65	—	—	11,97	0,28	0,02	—	8,78	68,67

(спектры 3 и 5). Содержание вольфрама на границе раздела составляет 7,56 масс.%, в покрытии — 8,12...8,78 масс.%. Высокое содержание вольфрама, перешедшее из оксидной фазы (из шеелитового концентрата) в покрытие (преимущественно карбидную фазу WC), является следствием восстановительного процесса (синтеза), протекающего еще на стадии плавления и диспергирования в потоке плазмы. Наличие большого содержания вольфрама в покрытии является неблагоприятным фактором, для которого требуется изменить состав шихты в пользу уменьшения содержания WO_3 и $CaWO_4$, входящих в шеелитовый концентрат, например изменением пропорций (концентрат + углерод + бор) при формировании шихты. К основному достоинству плазменного напыления с использованием шеелитового концентрата относится высокая температура, позволяющая разрушать оксидное соединение тугоплавкого металла (вольфрама) и возгонять менее тугоплавкие.

Микротвердость полученного покрытия составила около 1000 HV (получено при нагрузке $F = 50$ кгс и времени выдержки 10...15 с), микротвердость основания — 285...290 HV. Высокий показатель микротвердости обусловлен наличием карбидной фазы WC и не допустим, так как будет приводить к повышенному износу седла. Показатель прочности сцепления с покрытием — 67 МПа.

В процессе напыления деформации тарелки клапана не происходит. Расход материала, не достигающего поверхности детали, составляет до 30 %.

Заключение. По результатам экспериментов установлено, что:

- при формировании покрытия на поверхности клапана методом электродуговой наплавки с применением сварочной проволоки марки 12X18H10T и шихты на основе шеелитового концентрата содержание вольфрама в покрытии составляет 2,16...2,93 масс.%, микротвердость — 310 HV, адгезионная прочность — 370 МПа. В процессе наплавки происходит деформация тарелки

клапана и проплавление на глубину 800 мкм. Пористость полученного покрытия составляет от 3...11 %;

- при газопламенном напылении с применением сварочной проволоки марки 12X18H10T и шихты на основе шеелитового концентрата сформировано покрытие толщиной 2...3 мм, имеющее в среднем до 20 % пор, также присутствуют шлаковые микровключения. Содержание вольфрама в покрытии (карбидная фаза WC) составляет 6,13...6,65 масс.%, микротвердость покрытия — 420...480 HV, адгезионная прочность — 43 МПа. В процессе напыления деформации тарелки клапана не происходит;

- при плазменном напылении с применением сварочной проволоки марки 12X18H10T и шихты на основе шеелитового концентрата сформировано покрытие толщиной 1,0...2,5 мм, имеющее в среднем до 4 % пор, присутствуют шлаковые микровключения. Содержание вольфрама в покрытии (карбидная фаза WC) составляет 8,12...8,78 масс.%, микротвердость покрытия — 1000 HV, адгезионная прочность — 67 МПа. В процессе напыления деформации тарелки клапана не происходит.

Анализ полученных результатов показывает перспективность применения вышеуказанных методов при восстановлении поверхности выпускного клапана при условии их дальнейших исследований и совершенствования. Особого внимания заслуживает метод плазменного напыления при сравнении адгезионной прочности, микротвердости и пористости полученных покрытий. Применение шеелитового концентрата в экспериментах обусловлено наличием в его составе вольфрама, что позволяет изучить процесс его восстановления и перехода в состав стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сиротенко И. В., Гогричиани Г. В. Проблемы повреждаемости силовых и теплонапряженных узлов тепловозных дизелей. Аналитический обзор // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ).

2017. Т. 76. № 2. С. 101–109. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-2-101-109>.

2. Сиротенко И. В., Коссов Е. Е. К вопросу повышения надежности крышки цилиндра тепловозного дизеля // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020. Т. 79. № 1. С. 39–47. DOI 10.21780/2223-9731-2020-79-1-39-47.

3. Волков К. Г., Ипатов А. Г. К обоснованию способа восстановления тарелок клапанов автотракторных двигателей // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской гос. сельскохозяйственной академии (Ижевск, 11–13 ноября 2020 г.). Ижевск: Ижевская гос. сельскохозяйственная академия, 2021. С. 40–50.

4. Секретов Р. С., Казанников О. В. Восстановление и упрочнение выпускных клапанов ДВС методом электроискрового легирования // Материалы секционных заседаний 59-й студенческой науч.-практ. конф. ТОГУ (Хабаровск, 27 мая 2019 г.): в 2 т. / отв. ред. И. Н. Пугачев. Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2019. Т. 1. С. 156–159.

5. Восстановления стержней клапанов электролитическим железением / Ю. П. Гнездилова [и др.] // Региональный вестник. 2017. № 3(8). С. 26–27.

6. Способ получения седел клапанов при восстановлении методом электродуговой наплавки / А. Е. Лебедев [и др.] // Автомобильная промышленность. 2019. № 5. С. 33–34.

7. Kim K. K., Karpova I. M. A magnetogasdynamic model of a welding arc // Russian Electrical Engineering. 2016. Vol. 87. No. 1. P. 46–50. DOI 10.3103/S1068371216010053.

8. Тойгамбаев С. К. Стенд для ремонта и восстановления деталей двигателей // Научное наследие. 2021. № 59-1 (59). С. 37–42. DOI 10.24412/9215-0365-2021-59-1-37-42.

9. Восстановление клапанов двигателей внутреннего сгорания плазменной наплавкой и напылением с модуляцией параметров / О. М. Тимохова [и др.] // Воронежский научно-технический вестник. 2018. Т. 1. № 1 (23). С. 53–67.

10. Газотермическое напыление: учеб. пособие / Л. Х. Балдаев [и др.]; под общ. ред. Л. Х. Балдаева. М.: Маркет ДС, 2007. 344 с.

11. Тихонов А. А., Иванов В. В., Беспалов А. В. Исследование износов и обоснование величины слоя металлопокрытия для восстановления выпускного клапана двигателя ЯМЗ // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Ф. Х. Бурмуклова (Саранск, 24–25 мая 2016 г.) / Институт механики и энергетики; отв. за выпуск А. В. Столяров. Саранск: Типография «Рузаевский печатник», 2016. С. 264–268.

12. Веремей Г. А. Обеспечение точности при восстановлении седел клапанов в авторемонтном производстве // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2021. № 3. С. 33–41.

13. Ворохобин С. В. Восстановление клапанов судовых дизелей // Вестник Морского государственного университета. 2016. № 74. С. 24–28.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

БАЛАХОНОВ Денис Игоревич,

канд. техн. наук, доцент, кафедра «Транспорт железных дорог», ФГБОУ ВО «ДВГУПС»

МАКАРОВ Иван Александрович,

старший преподаватель, кафедра «Транспорт железных дорог», ФГБОУ ВО «ДВГУПС»

ЯРАНЦЕВ Максим Владимирович,

канд. техн. наук, доцент, кафедра «Транспорт железных дорог», ФГБОУ ВО «ДВГУПС»

Статья поступила в редакцию 05.08.2021 г., принята к публикации 20.09.2021 г.

Для цитирования: Балахонов Д. И., Макаров И. А., Яранцев М. В. Восстановление поверхности выпускного клапана методом плазменного напыления в сравнении с электродуговым и газопламенным методами // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 5. С. 260–268. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-260-268>.

Resurfacing the exhaust valve by plasma spraying versus electric arc and gas flame methods

D. I. BALAKHONOV, I. A. MAKAROV, M. V. YARANTSEV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Far Eastern State University of Railways" (FGBOU VO "DVGUPS"), Khabarovsk, 680021, Russia

Abstract. In modern conditions of economic instability in various sectors of industry for the national economic complex, it is important to improve the technology for repairing parts of power units, while the development of modern technological methods for restoring the contact surfaces of parts should be carried out in the conditions of enterprises and be accessible. The article compares the most common methods of surface parts restoration, such as flame, plasma spraying and electric arc surfacing. Studied experience of various specialists working in this direction made it possible to implement these reduction methods using a charge based on a mineral tungsten-containing concentrate, boron and carbon. The process of alloying the resulting coatings was investigated,

where tungsten is in the form of tungsten trioxide (WO_3) and calcium tungstate ($CaWO_4$). A comparative analysis of the methods for restoring the surface of the exhaust valve cone of the D49 diesel engine has been carried out. The article presents results of micro- and macroanalysis of the structures of the obtained coatings and the base metal of the restored part, the results of the analysis of the chemical composition, the evaluation of the microhardness and adhesive strength of the adhesion of the obtained coatings to the surface of the base metal. Authors substantiated the prospect of applying the methods of gas-thermal restoration of the surface of parts in relation to the method of electric arc surfacing. Subsequent studies will focus on the installation of remanufactured parts in

the internal combustion engine of the locomotive, their operation in real conditions, and the assessment of reliability and durability. Research in this direction will improve the quality indicators of the restored surfaces of power unit parts of rolling stock.

Keywords: diesel valve D49; surface restoration; thermal spraying; flame spraying; electric arc surfacing; plasma spraying; scheelite concentrate

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-260-268>

REFERENCES

1. Sirotenko I.V., Gogrichiani G.V. *Problemy povrezhdaemosti silovykh i teplonapryazhennykh uzlov teplovoznnykh dizeley. Analiticheskiy obzor* [Damaging problems of power and heat-stressed assemblies of locomotive diesels. Analytical review]. Vestnik VNIIZHT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 2, pp. 101–109. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-2-101-109>.
2. Sirotenko I.V., Kossov E.E. *K voprosu povysheniya nadezhnosti kryshki tsilindra teplovoznogo dizelya* [On the issue of improving the reliability of the cylinder head of the diesel engine]. Vestnik VNIIZHT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2020, Vol. 79, no. 1, pp. 39–47. DOI 10.21780/2223-9731-2020-79-1-39-47.
3. Volkov K.G., Ipatov A.G. *K obosnovaniyu sposoba vosstanovleniya tarelok klapanov avtotraktornykh dvigateley* [To the substantiation of the method for restoring valve plates of autotractor engines]. Razvitie inzhenernogo obrazovaniya i ego rol' v tekhnicheskoy modernizatsii APK. Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 65-letiyu podgotovki inzhenerov-mekhanikov Izhevskoy gos. sel'skokhoz. akademiiy (Izhevsk, 11–13 noyabrya 2020 g.) [Development of engineering education and its role in the technical modernization of the agroindustrial complex. Materials of the Int. scientific-practical conf., dedicated to the 65th anniversary of the training of mechanical engineers of the Izhevsk State Agricultural Academy (Izhevsk, November 11–13, 2020)]. Izhevsk, Izhevskaya gos. sel'skokhoz. akademiya [Izhevsk State Agricultural Academy] Publ., 2021, pp. 40–50.
4. Sekretov R.S., Kazannikov O.V. *Vosstanovlenie i uprochnenie vypusknykh klapanov DVS metodom elektroiskrovogo legirovaniya* [Restoration and hardening of ICE exhaust valves by the method of electrospark alloying]. Materialy sekcionnykh zasedaniy 59-y studencheskoy nauch.-prakt. konf. TOGU (Khabarovsk, 27 maya 2019 g.): v 2 t. [Materials of section sessions of the 59th student scientific-practical conference TOGU (Khabarovsk, May 27, 2019): in 2 volumes]. Khabarovsk, Tikhookeanskii gos. un-t Publ., 2019, Vol. 1, pp. 156–159.
5. Gnezdilova Yu.P., Serebrovskiy A.V., Lachkov V.D., Karpenko P.V. *Vosstanovleniya sterzhney klapanov elektroliticheskim zhelezneniem* [Restoration of valve stems by electrolytic iron]. Regional'nyy vestnik, 2017, no. 3 (8), pp. 26–27.
6. Lebedev A.E., Pavlov A.A., Lebedev D.V., Vatagin A.A. *Sposob polucheniya sedel klapanov pri vosstanovlenii metodom elektrodugovoy naplavki* [Method for obtaining valve seats when restoring by electric arc surfacing]. Avtomobil'naya promyshlennost', 2019, no. 5, pp. 33–34.
7. Kim K.K., Karpova I.M. *A magnetogasdynamic model of a welding arc*. Russian Electrical Engineering, 2016, Vol. 87, no. 1, pp. 46–50. DOI 10.3103/S1068371216010053.
8. Toygambaev S.K. *Stend dlya remonta i vosstanovleniya detaley dvigateley* [Stand for repair and restoration of engine parts]. The Scientific heritage, 2021, no. 59-1 (59), pp. 37–42. DOI 10.24412/9215-0365-2021-59-1-37-42.
9. Timokhova O.M., Kadyrmetov A.M., Snyatkov E.V., Romanov V.V. *Vosstanovlenie klapanov dvigateley vnutrennego sgoraniya plazmennoy naplavkoy i napyleniem s modulyatsiey parametrov* [Restoration of valves of internal combustion engines by plasma surfacing and spraying with modulation of parameters]. Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii vestnik, 2018, Vol. 1, no. 1 (23), pp. 53–67.
10. Baldaev L.Kh., Borisov V.N., Vakhlin V.A., Gannochenko G.I., Zatoka A.Ye., Zakharov B.M., Ivanov A.V. [et al.]. *Gazotermicheskoe napylenie. Ucheb. posobie* [Thermal spraying. Textbook]. Moscow, Market DS, 2007, 344 p.
11. Tikhonov A.A., Ivanov V.V., Bepalov A.V. *Issledovanie iznosov i obosnovanie velichiny sloya metallopokrytiya dlya vosstanovleniya vypusknoy klapana dvigatelya YaMZ* [Investigation of wear and substantiation of the size of the metal coating layer for the restoration of the exhaust valve of the YaMZ engine]. Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy. Sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy pamyati d-ra tekhn. nauk, prof. F.Kh. Burumkulova (Saransk, 24–25 maya 2016 g.) / Institut mekhaniki i energetiki [Energy-efficient and resource-saving technologies and systems. Coll. of scientific papers of the Int. Scientific and Practical Conf. dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, prof. F.Kh. Burumkulov (Saransk, May 24–25, 2016), Institute of Mechanics and Power Engineering]. Saransk, Tipografiya "Ruzaevskiy pechatnik" [Printing house "Ruzaevskiy pechatnik"] Publ., 2016, pp. 264–268.
12. Veremey G.A. *Obespechenie tochnosti pri vosstanovlenii sedel klapanov v avtoremontnom proizvodstve* [Ensuring accuracy when restoring valve seats in car repair production]. Vestnik of Polotsk State University. Part B. Industry. Applied Sciences, 2021, no. 3, pp. 33–41.
13. Vorokhobin S.V. *Vosstanovlenie klapanov sudovykh dizeley* [Restoration of valves of marine diesel engines]. Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta, 2016, no. 74, pp. 24–28.

ABOUT THE AUTHORS

Denis I. BALAKHONOV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department "Railway Transport", FGBOU VO "DVGUPS"

Ivan A. MAKAROV,

Senior Lecturer, Department "Railway Transport", FGBOU VO "DVGUPS"

Maksim V. YARANTSEV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department "Railway Transport", FGBOU VO "DVGUPS"

Received 05.08.2021

Accepted 20.09.2021

■ E-mail: karoxar@mail.ru (D.I. Balakhonov)

For citation: Balakhonov D.I., Makarov I.A., Yarantsev M.V. Resurfacing the exhaust valve by plasma spraying versus electric arc and gas flame methods // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (5): 260–268 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-260-268>.

Рациональная реконструкция постов секционирования контактной сети переменного тока на разъединителях

Л. А. ГЕРМАН¹, Е. А. ДОНСКОЙ², С. А. КАПУСТИН³

¹ Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» в Нижнем Новгороде (Филиал ФГБОУ ВО «СамГУПС» в Нижнем Новгороде), Нижний Новгород, 603011, Россия

² Зуевская дистанция электроснабжения Горьковской дирекции по энергообеспечению — структурного подразделения Трансэнерго — филиала ОАО «РЖД», Зуевка, 612440, Россия

³ Ижевская дистанция электроснабжения Горьковской дирекции по энергообеспечению — структурного подразделения Трансэнерго — филиала ОАО «РЖД», Ижевск, 426028, Россия

Аннотация. Эксплуатация постов секционирования контактной сети переменного тока на разъединителях на Горьковской железной дороге за период более чем в 60 лет показала их надежную работу, а обслуживание сводилось до минимума. Однако в связи с ростом тяжеловесного и скоростного движения на ряде участков потребовалась их реконструкция. В соответствии с действующими нормативными документами такая реконструкция предусматривает перевод работы постов секционирования с разъединителей на выключатели. В связи с надежной работой постов секционирования на разъединителях и простотой выполнения их обслуживания предлагается расширить варианты реконструкции постов секционирования на разъединителях и ввести в нормативные документы три варианта реконструкции. Первый вариант предусматривает реконструкцию поста секционирования с разъединителями путем его перевода на классическую схему с четырьмя выключателями, как указано в действующих нормативных документах. Второй вариант предусматривает оставить пост секционирования на разъединителях, но добавить устройство быстрого действия автоматического повторного включения на межподстанционной зоне при прохождении коротких замыканий. Третий вариант предусматривает реконструкцию поста секционирования на разъединителях с введением в шину поста вакуумного выключателя и устройства быстрого действия автоматического повторного включения и отключения разъединителя, в зоне которого произошло короткое замыкание. Рассмотрены схемы автоматических устройств для определения устойчивого (проходящего) короткого замыкания в тяговой сети и устройства определения места повреждения. Работа постов секционирования, реконструированных по указанным вариантам, проверена практически на действующих участках электроснабжения тяговой сети Горьковской железной дороги. Все они показали высокую надежность.

Ключевые слова: железные дороги; система электроснабжения переменного тока; пост секционирования на разъединителях; варианты реконструкции; автоматика; вакуумный выключатель в шине; схема с четырьмя выключателями

Введение. Для надежной защиты контактной сети и повышения технико-экономических характеристик системы тягового электроснабжения в ее состав включаются посты секционирования (ПС), оборудованные выключателями или разъединителями [1]. Так

называемая классическая схема ПС выполнена на выключателях (рис. 1, а). Электроснабжение поездов обеспечивает межподстанционная зона между тяговыми подстанциями ТП-А и ТП-В и постом секционирования ПС-АВ с четырьмя выключателями *QPA1*, *QPA2*, *QPB1*, *QPB2*. Основное ее преимущество заключается в том, что при коротких замыканиях (КЗ) в контактной сети отключается только «четвертушка» межподстанционной зоны двухпутного участка, т. е. отключаются один выключатель на тяговой подстанции (ТП) и один выключатель на ПС [2]. К сожалению, около 30 % всех отключений при КЗ на межподстанционной зоне, а точнее при КЗ вблизи подстанции и ПС, для соблюдения селективности работы защит происходят с выдержкой времени 0,4 с, что определяет повышенную вероятность перегрева проводов контактной сети с последующими негативными явлениями [3]. В этом существенный недостаток схемы ПС на выключателях.

Для исключения перегревов на Горьковской железной дороге и некоторых других дорогах с целью обеспечения нулевой выдержки времени отключения при всех КЗ на контактной сети, а также с целью упрощения схемы ПС перешли на ПС с управляемыми разъединителями (рис. 1, б), т. е. выключатели на ПС заменили управляемыми разъединителями *QSA1*, *QSA2*, *QSB1*, *QSB2*. Опыт работы ПС на разъединителях на Горьковской железной дороге за прошедшие более чем 60 лет показал надежность схемы питания и секционирования контактной сети переменного тока, затраты на обслуживание таких ПС сведены до минимума, за все годы не было зафиксировано случаев схода движения поездов и травматизма, что подтверждает их эксплуатационную привлекательность. Так же как и на ПС на выключателях, здесь обеспечено снижение потерь напряжения и мощности в тяговой сети и оперативность переключения при ремонтных работах на контактной сети.

Основной недостаток такой схемы: при КЗ в контактной сети отключается вся межподстанционная зона (т. е. все четыре «четвертушки» двухпутного участка) и затем действует автоматическое повторное включение (АПВ) выключателей ТП с выдержкой времени 5–7 с. В результате у электровозов с фазорасщепителем разбирается силовая схема с прекращением тягового режима.

Эксплуатационный персонал предложил немало технических решений по совершенствованию схемы ПС на разъединителях [4]. Однако, на наш взгляд, на ряде ПС на разъединителях требуется полная реконструкция с устранением их основного недостатка — отключение напряжения в аварийном режиме всей межподстанционной зоны. По правилам [5] реконструкция заключается в переводе ПС на разъединителях на ПС на выключателях. (В [5] ограничивается применение ПС на разъединителях и разрешается их проектирование только на железнодорожных линиях четвертой категории.)

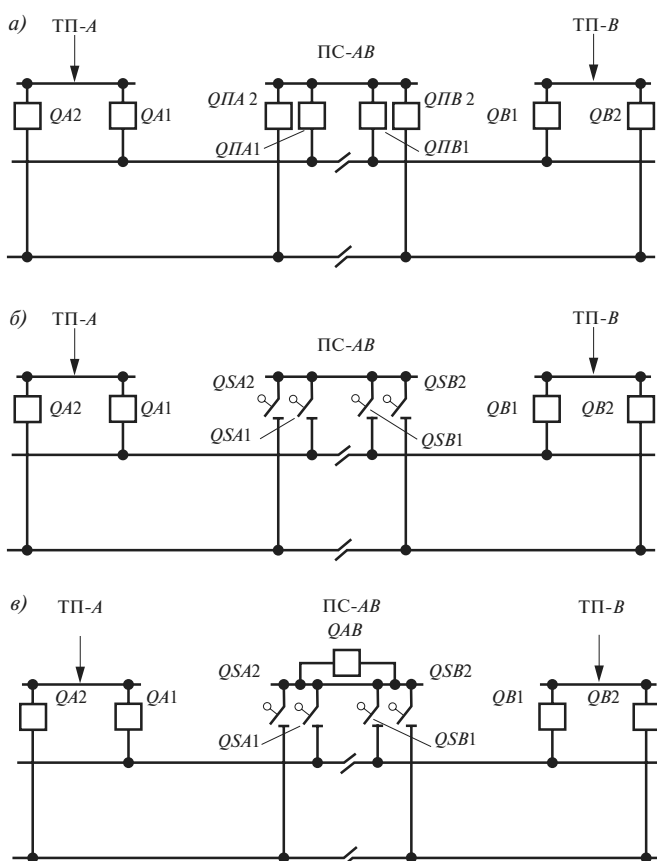


Рис. 1. Варианты ПС контактной сети:

а — на выключателях; б — с управляемыми разъединителями;
в — с управляемыми разъединителями и с одним выключателем
QAB в шине ПС

Fig. 1. Variants of sectioning posts (SP)
of the contact network:

а — on switches; б — with controlled disconnectors;
в — with controlled disconnectors and with one QAB switch
in the SP bus; ПС — sectioning post; ТП — traction substation

Однако, опираясь на громадный практический опыт работы тяговых сетей с ПС на разъединителях, считаем, что нужно расширить в [5] применение ПС на разъединителях, а именно использовать как классическую схему с четырьмя выключателями (рис. 1, а), так и предлагаемые схемы на управляемых разъединителях, включая схему с одним выключателем QAB в шине ПС на разъединителях (рис. 1, б и рис. 1, в). В предлагаемых схемах остаются свойства надежности ПС на разъединителях, но добавляются свойства быстродействующего отключения при КЗ одним выключателем (рис. 1, в) с формированием соответствующей автоматики ПС и быстродействующего АПВ (БАПВ) при проходящих КЗ для всех ПС.

При этом предлагается следующий путь решения проблемы совершенствования системы электроснабжения тяговой сети переменного тока с ПС на управляемых разъединителях.

Все межподстанционные зоны условно разделяем по величине уклонов профиля пути: участки с уклонами до 6‰ остаются работать с ПС на разъединителях, если нет требования реконструкции рассматриваемого ПС, но с дополнительным усовершенствованием системы электроснабжения; участки с уклонами более 6‰ реконструируются с введением в шину ПС вакуумного выключателя по аналогии с ПС на ст. Кизнер Горьковской железной дороги. Граница в 6‰ указана по следующим соображениям. После остановки на подъеме до 6‰ тяжеловесный состав может без дополнительной помощи продолжить движение, а при уклоне свыше 6‰ возобновить движение ему не удастся без дополнительной помощи «толкача». Вышеизложенное обосновано результатами многолетних наблюдений за движением тяжеловесных составов до 10–12 тыс. т с соответствующими мощными электровозами на Горьковской железной дороге. Конечно, значение границы в 6‰ предложено впервые, и поэтому оно, по всей видимости, будет уточняться в дальнейшем с расширением практики вождения тяжеловесных составов на других дорогах.

В связи с указанным предлагается следующий порядок совершенствования ПС на разъединителях.

1. На межподстанционных зонах железнодорожных линий всех категорий выполнить модернизацию системы АПВ питающих линий контактной сети ТП с введением устройства контроля АПВ (КЗ) проходящего (устойчивого) КЗ в тяговой сети.

Устройство АПВ (КЗ) разработано на Горьковской железной дороге и включает выключатель только при определении в отключенной контактной сети проходящего КЗ (которое по каким-то причинам исчезло). При устойчивом КЗ выключатель не включается. Такое устройство уже много лет работает на участках систем 25 и 2×25 кВ Горьковской железной дороги и доказало свою эффективность.

На участке с ПС на разъединителях устройство АПВ (КЗ) устанавливается на выключателях питающих линий контактной сети ТП. На участках с ПС на выключателях устройство АПВ (КЗ) устанавливается на выключателях ПС. На участках с ПС на разъединителях и вакуумном выключателе в шине поста устройство АПВ (КЗ) устанавливается на вакуумном выключателе.

2. Добавить в [5] разрешение проектировать ПС переменного тока на железнодорожных линиях всех категорий как на выключателях, так и на разъединителях по предлагаемой схеме с одним выключателем в шине поста (рис. 1, в) и с автоматикой отключения одного управляемого разъединителя, в зоне которого произошло КЗ. При этом ПС на выключателях выполняются на межподстанционных зонах с уклонами выше 6‰, а на зонах с меньшими уклонами включаются ПС на разъединителях с вакуумным выключателем в шине ПС.

3. Оборудовать все ПС (на выключателях и на управляемых разъединителях) устройствами АПВ выключателя с контролем проходящего (устойчивого) КЗ АПВ (КЗ), как указано в п. 1, а также устройствами определения места повреждения (ОМП) контактной сети.

Реконструкция системы электроснабжения тяговой сети с ПС на разъединителях. На основании многолетних разработок, испытаний и внедрения на Горьковской железной дороге усовершенствованной системы АПВ выключателей питающих линий контактной сети с контролем проходящего (устойчивого) КЗ в отключенной контактной сети [1] и с учетом [6], где указан сертификат на применение терминала в системе тягового электроснабжения, предлагается на всех выключателях ПС переменного тока ввести усовершенствованную систему АПВ. Важно отметить, что в этом случае используются уже установленные трансформаторы напряжения. Кроме того, на межподстанционных зонах с существующими ПС на разъединителях без выключателей также целесообразно введение АПВ на выключателях ТП, что и практикуется в системе тягового электроснабжения на Горьковской железной дороге.

Указанная система АПВ основана на измерении остаточного напряжения, генерируемого фазорасщепителем электровоза, а также на измерении наведенного напряжения от напряжения (тока) контактной сети смежного пути и (или) линии «два провода—рельс» (линия ДПР). Эти два способа имеют принципиальные различия, а именно: при контроле остаточного напряжения возможно выполнить БАПВ выключателя за время до 0,5 с, обеспечив тем самым надежную работу электровоза в тяговом режиме без «разбора» его силовой схемы. При контроле наведенного напряжения, к сожалению,

нельзя реализовать БАПВ, так как сведения о наведенном напряжении можно получить только через 1,5–2,5 с. Следует иметь в виду, что по второму способу после контроля наведенного напряжения возможно осуществить АПВ с выдержкой времени не меньше 3–4 с.

Итак, для дальнейшего совершенствования межподстанционных зон с ПС на разъединителях предлагается выполнить модернизацию автоматики АПВ питающих линий тяговой сети путем введения апробированного на многих межподстанционных зонах Горьковской железной дороги [1, 4] варианта определения устойчивого или проходящего КЗ на отключенной контактной сети. Существующие микропроцессорные терминалы обеспечены блоками определения проходящего (устойчивого) КЗ [6]. Система питания тяговой сети строится следующим образом. При аварийном отключении выключателя в шине ПС и при проходящем КЗ он повторно включается через 0,5–0,7 с. Если КЗ устойчивое, то в бестоковую паузу отключается тот разъединитель, в зоне которого произошло КЗ.

При подключении системы АПВ выключателя на подстанции на одном выключателе межподстанционной зоны устанавливается трансформатор напряжения ТН-27,5 кВ. При аварийном отключении выключателей межподстанционной зоны с помощью ТН-27,5 кВ и микропроцессорного терминала определяется вид КЗ. Если КЗ проходящее, то сразу же через 0,5 с включается выключатель, на котором установлен ТН-27,5 кВ, ПС не успевает «разобраться» и питание тяговой сети восстанавливается. Указанный способ восстановления напряжения эффективен, так как обычно число проходящих КЗ составляет не меньше 90 % от всех КЗ на контролируемой зоне. Указанная модернизация эффективна для всех схем питания тяговой сети всех категорий железнодорожных линий.

Реконструкция ПС на разъединителях с введением вакуумного выключателя в шину поста. С введением одного выключателя на ПС на разъединителях стало возможным осуществлять различные схемы и алгоритмы защит, в том числе неселективные, частично селективные и селективные [1, 3, 4, 6]. Далее рассмотрим вариант ПС (рис. 1, в) с автоматикой, позволяющей отделить защитой ПС с нулевой выдержкой времени поврежденную зону.

Защита вакуумного выключателя ПС с нулевой выдержкой времени. На микропроцессорном терминале вакуумного выключателя ПС устанавливается блок контроля проходящего (устойчивого) КЗ, с включением которого после аварийного отключения выключателя ПС при проходящих КЗ восстанавливается нормальная схема питания. В этом случае перерыв питания контактной сети не превышает 0,6–0,7 с и не

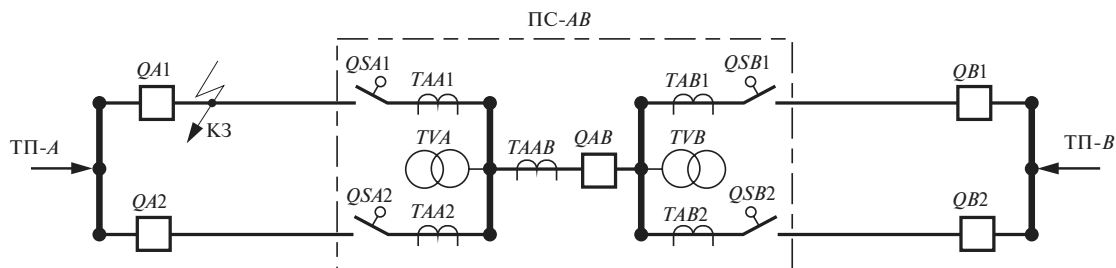


Рис. 2. Схема питания участка контактной сети с ПС на разъединителях с трансформаторами тока и вакуумным выключателем в шине ПС:

$QSA1, QSA2, QSB1, QSB2$ — выключатели питающих линий контактной сети ПС; TA — трансформатор тока; TV — трансформатор напряжения; QAB — вакуумный выключатель в шине ПС

Fig. 2. Power circuit of the catenary section with substation on disconnector with current transformers and vacuum switch in the SP bus:

$QSA1, QSA2, QSB1, QSB2$ — switches of the supply lines of the substation contact network; TA — current transformer; TV — voltage transformer; QAB — vacuum circuit breaker in the SP bus

отражается на нормальной работе электроподвижного состава (например, электропоездов ВЛ80).

При устойчивом КЗ в контактной сети без выдержки времени отключается вакуумный выключатель в шине поста, разделив межподстанционную зону на две части. В полузоне, где произошло КЗ, отключаются выключатели подстанции. Далее на ПС в бестоковую паузу отключаются два управляемых разъединителя, по штатному АПВ включаются выключатели ТП и повторно отключается тот выключатель, в зоне которого есть устойчивое КЗ. Энергодиспетчер по сложившейся ситуации при необходимости включает соответствующий управляемый разъединитель ПС.

Как видно, в процессе реализации указанного алгоритма отключаются два управляемых разъединителя: один — питающий поврежденный участок с КЗ, второй — питающий неповрежденный участок. Однако можно предложить другой алгоритм управления ПС, когда в аварийной ситуации автоматически отключается только один разъединитель, в зоне которого произошло КЗ.

Выделение «четвертушки» участка с КЗ при ПС на разъединителях с вакуумным выключателем. В этом случае необходимо дополнительно установить трансформаторы тока на каждый управляемый разъединитель (рис. 2). Указанная автоматика реализована на ПС-АВ ст. Кизнер Горьковской железной дороги, где она введена в работу для управления вакуумным выключателем в терминале TOP 300 компании ООО «Релематика».

Расстановка защит на межподстанционной зоне выполнена по нормативам [7] для условий селективной защиты. При КЗ в тяговой сети работает, например, первая ступень дистанционной защиты на ТП с отключением соответствующего выключателя. Затем от второй ступени дистанционной защиты отклю-

чается вакуумный выключатель ПС и одновременно определяется разъединитель, в зоне которого произошло КЗ [8]. При любом КЗ в тяговой сети последовательность работы защит примерно аналогичная (о работе защит в этой схеме подробно изложено в [1]). Таким образом, рассмотренный алгоритм обеспечивает, во-первых, селективную защиту межподстанционной зоны с ПС на разъединителях и вакуумном выключателе и, во-вторых, точное определение управляемого разъединителя, который необходимо отключить в бестоковую паузу. При проходящих КЗ в связи с наличием устройства контроля проходящих КЗ напряжение быстро восстанавливается, и электроподвижной состав практически не ощущает происшедший провал напряжения.

Главный вывод рассмотренного материала: ПС на разъединителях и с вакуумным выключателем в шине ПС позволяет при устойчивом КЗ отключать «четвертушку» зоны так, как и при ПС с четырьмя выключателями. Кроме того, указанный ПС легко оборудуется устройством контроля проходящих КЗ, так как на нем уже установлены трансформаторы напряжения и в него вводится эффективный вариант ОМП.

Таким образом, ПС на разъединителях выполняет все функции, что и ПС на выключателях. Вместе с тем предлагаемый ПС на разъединителях и с вакуумным выключателем проще по выполнению и обслуживанию и надежнее. В этой связи дальнейшая реконструкция существующих ПС на разъединителях по данной схеме представляется весьма рациональной не только на Горьковской железной дороге, но и на других дорогах железнодорожной сети.

На Горьковской железной дороге уже три ПС работают после их реконструкции с введением вакуумного выключателя в шину ПС. В частности, это реконструируемый ПС на ст. Кизнер (рис. 3). У каждого управ-

ляемого разъединителя смонтирован трансформатор тока, а вакуумный выключатель установлен в камере. Трансформатор тока в цепи выключателя обеспечивает защиту тяговой сети межподстанционной зоны. Установленная камера для вакуумного выключателя использует отечественное электротехническое оборудование [9].

Рассмотрим надежность электроснабжения участков с ПС на разъединителях с выключателем в шине ПС. Указанный ПС при устойчивом КЗ обеспечивает за время АПВ (5–7 с) отключение того разъединителя, в зоне которого произошло КЗ. Это означает, что в послеаварийном состоянии электроснабжения при ПС и на выключателях, и на разъединителях будет отключена только одна «четвертушка». Более того, на ПС на разъединителях с выключателем в шине установлено устройство АПВ (КЗ) с контролем проходящих КЗ, что обеспечивает при проходящих КЗ (которых более 90 %) автоматическое восстановление нормальной схемы питания. Поэтому надежность электроснабжения в случае применения ПС на разъединителях с выключателем в шине выше, чем при существующих ПС на выключателях.

Введение на ПС устройства ОМП. Совершенно ясно, что устройство ОМП при аварийном отключении ПС снижает время ликвидации повреждения. Предлагается ПС с вакуумными выключателями в шине оснастить устройствами ОМП для определения места повреждения на контактной сети. ОМП вводится в блок автоматики вакуумного выключателя ПС. По сравнению с известным ОМП на ТП [3] предлагаемый вариант имеет ряд преимуществ. Прежде всего, вблизи ПС не изменяется переходное сопротивление рельс—земля, как это происходит у ТП. Зона контроля КЗ уменьшается более чем в два раза и при КЗ просадки напряжения у ПС значительно большие, чем у подстанции, следовательно, существует большая вероятность отключения нагрузки электровазозов при КЗ, что повысит точность измерений ОМП. Кроме того, точность измерений ОМП повышается, так как токи КЗ у ПС меньше, чем у подстанций.

В [10] разработана новая схема ОМП, алгоритм которой использует кроме тягового тока основного выключателя, в зоне которого произошло КЗ, ток смежного выключателя контактной сети. В результате алгоритм построен так, что измерения ОМП выполняются независимо от значения переходного сопротивления в месте КЗ, а значит, снижается погрешность ОМП, так как оно не зависит от указанного сопротивления. И наконец, что важно, точность ОМП не зависит от разности напряжений питающих подстанций. Это свидетельствует о целесообразности введения ОМП прежде всего на ПС.



Рис. 3. Реконструированный ПС на разъединителях на ст. Кизнер (Горьковская железная дорога)

Fig. 3. Reconstructed SP at disconnectors at Kizner station (Gorkovskaya railway)

Выводы. 1. ПС тяговой сети переменного тока на разъединителях за многолетний период эксплуатации (более чем 60 лет) на Горьковской железной дороге показали надежную и эффективную работу. Однако с ростом тяжеловесного и скоростного движения требуется их реконструкция.

2. На Горьковской железной дороге известен положительный опыт работы ПС на разъединителях с вакуумным выключателем в шине. Использование таких ПС обеспечивает не только надежность работы, но и быстрое отключение при токах КЗ.

3. На межподстанционных зонах железнодорожных линий всех категорий следует выполнить модернизацию АПВ питающих линий контактной сети ТП с введением устройства контроля проходящего (устойчивого) КЗ в тяговой сети.

4. ПС на разъединителях и с вакуумным выключателем в шине позволяет при устойчивом КЗ отключать «четвертушку» зоны, т. е. так же, как и при ПС с четырьмя выключателями. Таким образом, ПС на разъединителях с вакуумным выключателем выполняет все функции, что и классический ПС с четырьмя выключателями, а кроме того, он прост в обслуживании и имеет высокую надежность.

5. Предлагается добавить в свод правил «Тяговое электроснабжение железной дороги» разрешение проектировать ПС переменного тока на железнодорожных линиях всех категорий как на выключателях, так и на разъединителях по предлагаемой схеме с одним выключателем в шине ПС и автоматикой отключения одного управляемого разъединителя, в зоне которого произошло КЗ. При этом ПС на выключателях выполняются на межподстанционных зонах с уклонами выше 6‰, а на зонах с

уклонами меньше 6‰ включаются ПС на разъединителях с вакуумным выключателем в шине.

6. Указанный ПС на разъединителях с вакуумным выключателем в шине легко оборудуется устройством контроля проходящих КЗ, так как на нем уже установлены трансформаторы напряжения, и в него вводится эффективный вариант ОМП, разработанный по патенту [10]. Принципиально важно, что точность ОМП на ПС превосходит точность ОМП на ТП.

7. В случае если для рассматриваемого ПС на разъединителях на предусмотрена реконструкция, то для этой межподстанционной зоны необходимо введение автоматизации электроснабжения с контролем проходящего (устойчивого) КЗ АПВ(КЗ) и соответствующего АПВ выключателей питающих линий контактной сети на ТП. Если для ПС предусмотрена реконструкция, то они выполняются или на выключателях, или на разъединителях с выключателем в шине при уклонах до 6‰.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герман Л. А., Субханвердиев К. С., Герман В. Л. Автоматизация электроснабжения тяговой сети переменного тока: учеб. пособие. Н. Новгород: филиал СамГУПС, 2020. 234 с.
2. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. 528 с.
3. Фигурнов Е. П. Релейная защита. Ч. 2. М.: ГОУ «УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. 604 с.
4. Автоматизация электроснабжения тяговой сети с постом секционирования на разъединителях / Л. А. Герман [и др.] // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. № 5. С. 2–9.
5. Тяговое электроснабжение железной дороги: свод правил: СП224.1326000.2014 [Электронный ресурс]: утв. приказом Минтранса России от 2 декабря 2014 г. № 330. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200120202> (дата обращения 13.06.2021 г.).

6. Терминал интеллектуальный присоединений 27,5 кВ ИнТер-27,5-ФКС: руководство по эксплуатации: АВО93-00-000-00 01 РЭ / НИИЭФА-ЭНЕРГО. СПб.: Рекламное бюро «ДИО», 2013. 21 с.

7. СТО РЖД 07.021.5–2018. Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки. Ч. 1–5. М.: Техинформ, 2019. 304 с.

8. Устройство автоматизации поста секционирования контактной сети переменного тока на разъединителях: пат. 2725823 Рос. Федерация: МПК G01R 31/08, H02H 3/16 / Л. А. Герман [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ). № 2019121349; заявл. 08.07.2019; опубл. 06.07.2020, Бюл. № 19.

9. Силовое оборудование тяговых подстанций железных дорог: сб. справочных материалов / ОАО «РЖД», филиал ПКБ по электрификации железных дорог. М.: ТРАНСИЗДАТ, 2004. 384 с.

10. Способ определения удаленности короткого замыкания в контактной сети переменного тока многопутного участка (варианты): пат. 2747112 Рос. Федерация: МПК B60M1/00 G01R31/08 / Л. А. Герман [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ). № 2020134887; заявл. 23.10.2020; опубл. 27.04.2021, Бюл. № 12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ГЕРМАН Леонид Абрамович,

д-р техн. наук, профессор, филиал ФГБОУ ВО «СамГУПС» в Нижнем Новгороде

ДОНСКОЙ Евгений Александрович,

начальник Зуевской дистанции электроснабжения Горьковской дирекции по энергообеспечению — структурного подразделения Трансэнерго — филиала ОАО «РЖД»

КАПУСТИН Сергей Александрович,

начальник Ижевской дистанции электроснабжения Горьковской дирекции по энергообеспечению — структурного подразделения Трансэнерго — филиала ОАО «РЖД»

Статья поступила в редакцию 11.07.2021 г., принята к публикации 04.09.2021 г.

Для цитирования: Герман Л. А., Донской Е. А., Капустин С. А. Рациональная реконструкция постов секционирования контактной сети переменного тока на разъединителях // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 5. С. 269–275. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-269-275>.

Rational reconstruction of sectioning posts of AC catenary at disconnectors

L. A. GERMAN¹, E. A. DONSKOY², S. A. KAPUSTIN³

¹Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Samara State University of Railways” in Nizhny Novgorod (Branch of FGBOU VO “SamGUPS” in Nizhny Novgorod), Nizhny Novgorod, 603011, Russia

²Zuevskaya power supply division of the Gorkovskaya Directorate for Power Supply — structural subdivision of Transenergo — branch of the JSC “RZD”, Zuevka, 612440, Russia

³Izhevsk power supply division of the Gorkovskaya Directorate for Power Supply — structural subdivision of Transenergo — branch of the JSC “RZD”, Izhevsk, 426028, Russia

Abstract. Operation of sectioning posts of the AC catenary at the disconnectors on the Gorkovskaya railway for a period of more than 60 years has shown its reliable operation, and the maintenance was reduced to a minimum. However, due to the growth of heavy haul and high-speed traffic on a number of sections, their reconstruction was required. In accordance with the current regu-

latory documents, such a reconstruction provides for the transfer of the operation of sectioning posts from disconnectors to circuit breakers. In connection with the reliable operation of the sectioning posts on disconnectors and the simplicity of their maintenance, it is proposed to expand the options for the reconstruction of the sectioning posts on the disconnectors and to introduce three recon-

struction options into the regulatory documents. The first option provides for the reconstruction of the sectioning post with disconnectors by transferring it to the classic scheme with four switches, as indicated in the current regulatory documents. The second option provides for leaving the sectioning post at the disconnectors, but adding a fast-acting automatic reclosing device in the inter-substation zone in case of passing short circuits. The third option provides for the reconstruction of the sectioning post on disconnectors with the introduction of a vacuum circuit breaker into the bus of the post and a device for high-speed automatic reclosing and opening of the disconnector, in the zone of which a short circuit has occurred. The schemes of automatic devices for determining a stable (passing) short circuit in a traction network and a device for determining the location of damage are considered. The operation of the sectioning posts, reconstructed according to the indicated options, has been tested practically at the existing sections of the power supply of the traction network of the Gorkovskaya railway. All of them have shown high reliability.

Keywords: railways; AC power supply system; sectioning post at disconnectors; reconstruction options; automation; vacuum circuit breaker in the bus; circuit with four switches

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-269-275>

REFERENCES

1. German L. A., Subkhanverdiev K. S., German V. L. *Avtomatizatsiya elektrosnabzheniya tyagovoy seti peremennogo toka. Ucheb. posobie* [Automation of power supply of AC traction network. Textbook]. Nizhny Novgorod, branch of SamGUPS Publ., 2020, 234 p.
2. Markvardt K. G. *Elektrosnabzhenie elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog* [Power supply of electrified railways]. Moscow, Transport Publ., 1982, 528 p.
3. Figurnov E. P. *Releynaya zashchita. Ch. 2* [Relay protection. Part 2]. Moscow, GOU "UMTs po obrazovaniyu na zhelezнодорожном транспорте" [GOU "Training Center for Education in Railway Transport"], 2009, 604 p.
4. German L. A., Subkhanverdiev K. S., Yakunin D. V., Zhevla-kov D. A., Karpov I. P. *Avtomatizatsiya elektrosnabzheniya tyagovoy seti s postom sektionirovaniya na raz"edinitelyakh* [Automation of power supply of a traction network with a sectioning post on disconnectors]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta*, 2020, no. 5, pp. 2–9.
5. *Traction power supply of the railway: set of rules: SP224.1326000.2014*. Approved by order of the Ministry of Trans-

port of Russia dated December 2, 2014 No. 330. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200120202> (retrieved on 13.06.2021) (in Russ.).

6. *Intelligent connection terminal 27.5 kV Inter-27.5-FKS: operation manual: AVO93-00-000-00 01 RE*. St. Petersburg, Advertising Bureau "DIO", 2013. 21 p. (in Russ.).

7. STO RZD 07.021.5–2018. *Protection of railway power supply systems from short circuits and overload. Part 1-5*. Moscow, Tekhninform Publ., 2019, 304 p. (in Russ.).

8. Subkhanverdiev K. S., German L. A., Vyazov E. V., Zhevla-kov D. A. *Ustroystvo avtomatizatsii posta sektionirovaniya kontaktной seti peremennogo toka na raz"edinitelyakh* [Automation device for sectioning station of AC catenary at disconnectors]. Pat. No. 2725823 Ros. Federatsiya; opubl. 06.07.2020, Byul. No. 19 [Utility Patent No. 2725823 Russian Federation; publ. 06.07.2020, Bull. No. 19] (in Russ.).

9. *Silovoe oborudovanie tyagovykh podstantsiy zheleznykh dorog. Sb. spravochnykh materialov* [Power equipment of traction substations of railways. Coll. of reference materials]. OAO "RZhD", filial PKB po elektrifikatsii zheleznykh dorog [JSC "RZD", branch of the PKB for electrification of railways]. Moscow, TRANSIZDAT Publ., 2004, 384 p.

10. German L. A., Subkhanverdiev K. S., Popov A. Yu., Petrov I. P., Vyazov E. V., Figurnov E. P. *Sposob opredeleniya udalennosti korotkogo замыкания в контактной сети переменного тока многопутного участка (варианты)* [Method for determining the distance of a short circuit in AC contact network of a multi-track section (options)]. Pat. No. 2747112 Ros. Federatsiya; opubl. 27.04.2021, Byul. No. 12 [Utility Patent No. 2747112 Russian Federation; publ. 27.04.2021, Bull. No. 12] (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Leonid A. GERMAN,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Branch of the FGBOU VO "SamGUPS" in Nizhny Novgorod

Evgeniy A. DONSKOY,

Head of the Zuevskaya power supply division of the Gorkovskaya Directorate for Power Supply — structural subdivision of Transenergo — branch of the JSC "RZD"

Sergey A. KAPUSTIN,

Head of the Izhevsk power supply division of the Gorkovskaya Directorate for Power Supply — structural subdivision of Transenergo — branch of the JSC "RZD"

Received 11.07.2021

Accepted 04.09.2021

■ E-mail: lagerman@mail.ru (L. A. German)

For citation: German L. A., Donskoy E. A., Kapustin S. A. Rational reconstruction of sectioning posts of AC catenary at disconnectors // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (5): 269–275 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-269-275>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Экспериментальная оценка взаимодействия экипажа и пути при скоростном и высокоскоростном движении: коллективная монография / под ред. А. М. Бржезовского. — М.: РАС, 2019. — 152 с.

В монографии приведен обзор особенностей конструкции экипажной части скоростного и высокоскоростного пассажирского подвижного состава железных дорог шириной колеи 1520 мм. Обобщены результаты комплексных ходовых и по воздействию на путь и на стрелочные переводы испытаний различных типов пассажирского подвижного состава, проведенные с целью определе-

ния условий обращения на линиях смешанного пассажирского и грузового движения.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

Повышение энергетической эффективности вспомогательных машин электровоза переменного тока

Ю. М. КУЛИНИЧ, С. А. ШУХАРЕВ, А. В. ГУЛЯЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «ДВГУПС»), Хабаровск, 680021, Россия

Аннотация. В настоящее время асинхронный частотно-регулируемый привод, выполненный на базе полупроводниковых преобразователей, широко применяется благодаря относительной простоте и надежности конструкции. Использование цифровых микропроцессорных систем обеспечивает высокую точность и гибкость управления приводом. На отечественном подвижном составе началось широкое внедрение асинхронных двигателей взамен тяговых двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением. В частности, асинхронные двигатели со скалярным управлением применяются на серийно выпускаемых тепловозах 2ТЭ25А и электровозах ЭП20. Регулирование режимов работы вспомогательных асинхронных машин этих локомотивов осуществляется методом векторного управления.

Применение на подвижном составе нового типа двигателя позволяет добиться значительного повышения качества потребляемой энергии и снижения расходов электроэнергии на тягу поездов. Обеспечение энергетической эффективности привода в широком диапазоне нагрузок требует дальнейшей исследования. В этой связи становится весьма актуальным вопрос экономии энергоресурсов. В статье предложена схема векторного управления асинхронными двигателями вспомогательных машин электровоза, реализующая экстремальный метод управления по критерию минимизации потребляемого тока. Анализ работы двигателя выполнен на базе его математической модели во вращающейся системе координат $d-q$, которая реализована в пакете прикладных программ MatLab/Simulink. В результате имитационного моделирования установлено, что система экстремального управления с переменным шагом позволяет для каждого фиксированного значения электромагнитного момента двигателя за минимальное время находить оптимальное (экстремальное) значение магнитного потока ротора двигателя, которому соответствует минимальное значение тока статора. Разработанная модель двигателя с векторным управлением дополнена устройством экстремального регулятора, позволяющего с минимальным временем поиска достигать наилучших энергетических показателей двигателя и уменьшать электрические потери во всех режимах работы. Представленные результаты исследования могут быть использованы при разработке энергосберегающих систем управления асинхронным двигателем.

Ключевые слова: электровоз переменного тока; асинхронный двигатель; имитационное моделирование; векторное управление; вращающаяся система координат; экстремальное управление

Введение. В настоящее время асинхронный электропривод является самым распространенным из всех видов приводов, успешно применяющихся в промышленности и на транспорте. Популярность асинхронного двигателя обусловлена его высокими эксплуатационными и энергетическими показателями по сравнению с двигателями постоянного тока, традиционно применяющимися на подвижном составе отечественных железных дорог. Теоретической основой для появления электропривода с частотным управлением послужили работы М. П. Костенко [1], разработавшего основной закон частотного (скалярного) управления. Следующим шагом в развитии частотного управления стала разработка Ф. Блашке (F. Blaschke) [2], в которой в 1971 г. были сформулированы принципы векторного управления. В ее основу положены уравнения электромагнитных процессов в асинхронном двигателе, представленные в векторной форме, которые ориентированы в системе координат по направлению магнитного поля (FOC — field oriented control). В этом же году немецкими и японскими исследователями была представлена теория прямого управления моментом [3] (DTC — direct torque control) асинхронного двигателя.

При традиционном векторном FOC-управлении описание электромагнитных процессов осуществляется в системе координат $d-q$ [4], вращающейся синхронно с магнитным полем статора двигателя с частотой ω_1 [5]. Вектор потокосцепления ротора Ψ_R совместим с осью d выбранной системы координат. В этом случае проекции векторов потокосцепления ротора Ψ_R и тока статора I_S будут постоянными величинами, что значительно упрощает анализ электромагнитных процессов. В системе координат $d-q$ уравнение электромагнитного момента имеет вид

$$M_{em} = \frac{3}{2} z_p \frac{L_m}{L_R} \Psi_R I_{Sq}, \quad (1)$$

где z_p — число пар полюсов двигателя; Ψ_R — потоко-сцепление ротора; I_{Sq} — проекция тока статора на ось q ;

L_m — индуктивность намагничивания; L_R — индуктивность ротора.

С помощью продольной составляющей тока статора I_{Sd} можно независимо управлять потоко-сцеплением ротора $\psi_{Rd} = \psi_R$. Передаточная функция канала управления потоко-сцеплением двигателя соответствует апериодическому звену первого порядка с постоянной времени ротора:

$$\psi_{Rd} = \psi_R = \frac{L_m}{1 + T_R p} I_{Sd}, \quad (2)$$

где T_R — постоянная времени ротора, $T_R = L_R / R'_R$, R'_R — активное сопротивление обмотки ротора; p — оператор Лапласа.

Угловая частота вращения ротора ω_R при постоянном значении потоко-сцепления ротора ψ_R безынерционно определяется поперечной составляющей тока статора I_{Sq} :

$$\omega_R = \frac{L_m}{T_R \psi_R} I_{Sq}. \quad (3)$$

Система координат $d-q$ ортогональна, т. е. изменение одной из проекций тока статора не влияет на другую, поэтому управление потоко-сцеплением и частотой может осуществляться независимо [6].

В настоящее время на перспективных электро-возах с асинхронными двигателями, например ЭП10, используется метод скалярного управления тяговыми двигателями за счет изменения частоты и амплитуды питающего напряжения [7]. Векторное управление с постоянной величиной потоко-сцепления применяется, как правило, в электроприводе вспомогательных машин. При этом такой привод имеет ограниченные энергетические показатели, связанные с повышенным потреблением тока. Предлагаемый в статье подход позволяет устранить этот недостаток и за счет изменения регулируемой величины потоко-сцепления уменьшить потребление тока и повысить показатели работы электропривода. Кроме того, с помощью представленной математической модели двигателя можно исследовать работу тягового асинхронного двигателя электровоза при скалярном управлении.

Целью исследования является повышение энергоэффективности системы векторного управления асинхронного двигателя за счет оптимизации задания потоко-сцепления ротора ψ_R . Оптимальное значение потоко-сцепления $\psi_R^{\text{опт}}$ определяется в соответствии с критерием минимального потребляемого тока статора I_S в зависимости от заданного значения электромагнитного момента M_{em} на валу двигателя. При таком управлении оптимальное значение потоко-сцепления обеспечивает на определенном уровне

взаимное положение моментобразующих векторов и, соответственно, заданное значение электромагнитного момента.

Расчет оптимального значения потоко-сцепления ротора. Установим оптимальное значение потоко-сцепления ротора $\psi_R^{\text{опт}}$, соответствующее минимальному значению тока статора двигателя при фиксированном значении электромагнитного момента.

Из векторной диаграммы асинхронного двигателя [8] связь между треугольниками токов и магнитных потоков описывается соотношением

$$\vec{\psi}_R = L_m \vec{I}_S + L_R \vec{I}_R, \quad (4)$$

откуда для вектора тока статора можно записать

$$\vec{I}_S = \frac{1}{L_m} \vec{\psi}_R - \frac{L_R}{L_m} \vec{I}_R, \quad (5)$$

где $\vec{I}_R$ — вектор тока ротора.

Перепишем полученное уравнение в проекциях на вращающиеся оси $d-q$

$$(I_{Sd} + jI_{Sq}) = \frac{1}{L_m} (\psi_{Rd} + j\psi_{Rq}) - \frac{L_R}{L_m} (I_{Rd} + jI_{Rq}), \quad (6)$$

где j — мнимая единица.

Составляющая тока статора I_{Sd} на вещественную ось d выражается уравнением

$$I_{Sd} = \frac{1}{L_m} \psi_{Rd} - \frac{L_R}{L_m} I_{Rd}. \quad (7)$$

С учетом того что в системе координат $d-q$ значения $\psi_{Rd} = \psi_R$ и $I_{Rd} = 0$, последнее уравнение принимает вид

$$I_{Sd} = \frac{\psi_{Rd}}{L_m}. \quad (8)$$

Из уравнения (1) для составляющей тока статора I_{Sq} можно записать

$$I_{Sq} = \frac{2M_{em}}{3z_p \psi_R K_R}, \quad (9)$$

где K_R — коэффициент электромагнитной связи ротора, $K_R = L_m / L_R = L_m / (L_m + L_{\sigma R})$, $L_{\sigma R}$ — индуктивность рассеяния ротора.

Подставляя значение коэффициента K_R в уравнение (9), получим

$$I_{Sq} = \frac{2M_{em}}{3z_p \psi_R} \left(1 + \frac{L_{\sigma R}}{L_m} \right). \quad (10)$$

Значение модуля тока статора I_S может быть получено в результате квадратичного сложения его проекций на оси d – q в соответствии с уравнениями (8) и (10):

$$I_S = \sqrt{I_{Sd}^2 + I_{Sq}^2} = \sqrt{\left(\frac{\Psi_R}{L_m}\right)^2 + \left[\frac{2M_{em}}{3z_p\Psi_R}\left(1 + \frac{L_{\sigma R}}{L_m}\right)\right]^2}. \quad (11)$$

Для определения экстремального (оптимального) значения потокоцепления ротора $\Psi_R^{\text{опт}}$, соответствующего минимальному значению тока статора I_S , вычислим и приравняем к нулю первую производную тока статора $dI_S/d\Psi_R = 0$. Выполнив необходимые преобразования, получим аналитическое выражение для оптимального значения потокоцепления $\Psi_R^{\text{опт}}$ при фиксированном значении электромагнитного момента M_{em}

$$\Psi_R^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2M_{em}}{3z_p}(L_{\sigma R} + L_m)}. \quad (12)$$

Применение оптимального закона управления потокоцеплением в аналитическом виде на практике является весьма проблематичным из-за трудностей построения точной модели двигателя, которая учитывает его изменяющиеся параметры, зависящие от температуры, нелинейности цепи намагничивания, а также потери и насыщение в магнитной цепи. Изменение параметров двигателя под действием указанных факторов приводит к отклонению от оптимального режима и требует постоянной коррекции величины оптимального потокоцепления.

Итеративные поисковые системы, например, экстремального управления не требуют знания параметров привода, поскольку они основаны на ступенчатом изменении управляющего воздействия (величины потокоцепления) до достижения минимальной величины потребляемого двигателем тока. При этом основная задача метода экстремального управления состоит в снижении времени достижения оптимального режима. Применение метода экстремального управления с переменным шагом поиска позволяет уменьшить время поиска минимума тока двигателя.

Уравнения асинхронного двигателя во вращающейся системе координат d – q . Современные системы управления асинхронным двигателем построены на представлении электромагнитных процессов в векторной форме, что является практически стандартом управления [9]. Такой принцип управления позволяет эффективно управлять двигателем как в стационарных, так и в переходных режимах работы, обеспечивая наилучшие показатели качества управления по сравнению со скалярным управлением.

Если систему управления приводом построить таким образом, чтобы потокоцепление ротора Ψ_R оста-

валось неизменным во всех режимах работы двигателя ($\Psi_R = \text{const}$), то регулирование электромагнитного момента двигателя M_{em} будет осуществляться за счет изменения поперечной составляющей тока статора I_{Sq} . Управление магнитным потоком (потокоцеплением) в такой системе происходит за счет проекции тока статора I_{Sd} , которая при этом не влияет на величину M_{em} . Таким образом, принцип векторного управления двигателем сводится к раздельному управлению потокоцеплением и моментом с помощью независимых составляющих тока статора I_{Sd} и I_{Sq} , являющихся проекциями вектора тока статора I_S на оси d и q вращающейся системы координат, ориентированной по направлению вектора потокоцепления ротора Ψ_R .

Управление асинхронным двигателем можно осуществлять также с помощью проекций вектора напряжения статора на оси координат d – q . Для этого необходимо разработать модель двигателя, входными величинами которого являются проекции напряжения статора U_{Sd} и U_{Sq} на оси d – q .

Система уравнений (13) является математической основой для создания электрической составляющей имитационной модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [10].

$$\begin{cases} U_{Sd} = R_{\text{экв}}(pT_{\text{экв}} + 1)I_{Sd} - L_{\text{экв}}\omega_1 I_{Sq} - R'_R \frac{L_m}{L_R} \Psi_R; \\ U_{Sq} = R_{\text{экв}}(pT_{\text{экв}} + 1)I_{Sq} + L_{\text{экв}}\omega_1 I_{Sd} + K_2 \Psi_R \omega_R z_p; \\ \Psi_R = \frac{L_m}{T_R p + 1} I_{Sd}; \\ M_{em} = \frac{3}{2} z_p K_2 \Psi_R I_{Sq}, \end{cases} \quad (13)$$

где $R_{\text{экв}}$ — эквивалентное сопротивление, $R_{\text{экв}} = R_S + K_2^2 R'_R$, R_S — активное сопротивление обмотки статора; K_1 и K_2 — коэффициенты электромагнитной связи статора и ротора соответственно, $K_1 = L_m/L_S$, $K_2 = L_m/L_R$; $L_{\text{экв}}$ — эквивалентная индуктивность, $L_{\text{экв}} = L_S(1 - K_1 K_2)$, L_S — индуктивность статора; $T_{\text{экв}}$ — эквивалентная постоянная времени, $T_{\text{экв}} = L_{\text{экв}}/R_{\text{экв}}$.

Угловая частота вращения ротора ω_R в модели двигателя может быть выражена через величину электрической угловой скорости вращения магнитного поля ротора Ω : $\Omega = z_p \omega_R$.

Уравнение электромеханического равновесия в модели двигателя представляется в виде

$$M_{em} - M_c = J \frac{d\omega_R}{dt}, \quad (14)$$

где M_c — момент сопротивления на валу двигателя; J — момент инерции, приведенный к валу двигателя.

В соответствии с приведенными выше уравнениями разработана имитационная модель асинхронного

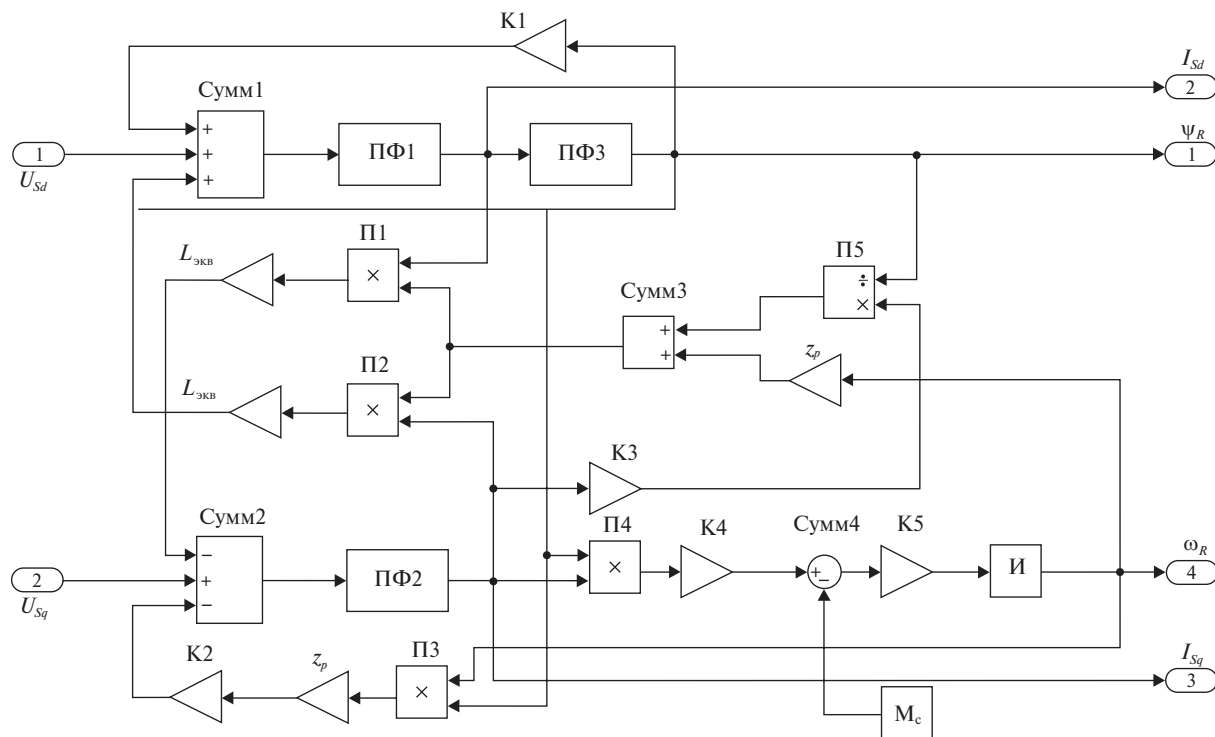


Рис. 1. Структурная схема модели двигателя в пакете MatLab/Simulink:

Сумм1—Сумм5 — сумматоры; К1—К5, z_p , $L_{экр}$ — усилители;

П1—П5 — перемножители; ПФ1—ПФ3 — блоки передаточной функции; И — интегратор

Fig. 1. Block diagram of the engine model in the MatLab/Simulink package:

Сумм1—Сумм5 — adders; К1—К5, z_p , $L_{экр}$ — amplifiers;П1—П5 — multipliers; ПФ1—ПФ3 — transfer function blocks; И — integrator; U_{Sd} , U_{Sq} — stator voltage projections on the $d-q$ axis; I_{Sd} , I_{Sq} — projection of the stator current on the $d-q$ axis; Ψ_R — rotor flux linkage; ω_R — angular frequency of rotor rotation; M_c — moment of resistance on the engine shaft

двигателя, реализованная в пакете программ MatLab/Simulink [11]. Структурная схема модели изображена на рис. 1.

Смоделируем электромагнитные процессы в асинхронном двигателе типа 4A225M4 Y2, установленном в приводе мотор-вентилятора электровоза ВЛ85. В статье основное внимание акцентировано на применении в асинхронном двигателе метода экстремального управления, поэтому на данном этапе исследования не учитываются потери в стали. При этом в экстремальном регуляторе принципиально не важна величина потерь в стали, поскольку он определяет экстремальное значение контролируемого параметра при любых параметрах потерь. Предполагается, что двигатель работает на линейной части характеристики насыщения, а автономный инвертор напряжения может быть представлен в виде апериодического звена первого порядка [12].

На рис. 1 с помощью сумматоров Сумм1—Сумм2 рассчитываются первые слагаемые первого и второго уравнения системы (13). Действительная I_{Sd} и мнимая I_{Sq} составляющие тока статора формируются на выходе блоков передаточных функций ПФ1 и ПФ2 в

результате деления на $R_{экр}(pT_{экр} + 1)$ в соответствии с первым и вторым уравнениями системы (13). В блоке ПФ3 формируется текущее значение потокосцепления Ψ_R в соответствии с третьим уравнением системы (13). С помощью блока перемножения П4 и усилителя К4 в соответствии с последним выражением системы (13) рассчитывается величина электромагнитного момента M_{em} . Угловая частота вращения ротора ω_R определяется на выходе интегратора И в результате решения уравнения (14). Все оставшиеся элементы рисунка используются при решении системы уравнений (13).

Структурная схема векторного управления двигателем. Для реализации процесса векторного управления структурная схема асинхронного двигателя (рис. 1) дополнена двумя управляющими контурами: по потокосцеплению ротора Ψ_R и угловой частоте вращения ротора ω_R с внутренними подчиненными контурами регулирования по току. Структурная схема асинхронного двигателя с векторным управлением показана на рис. 2, указанные контуры регулирования представлены в левой части схемы.

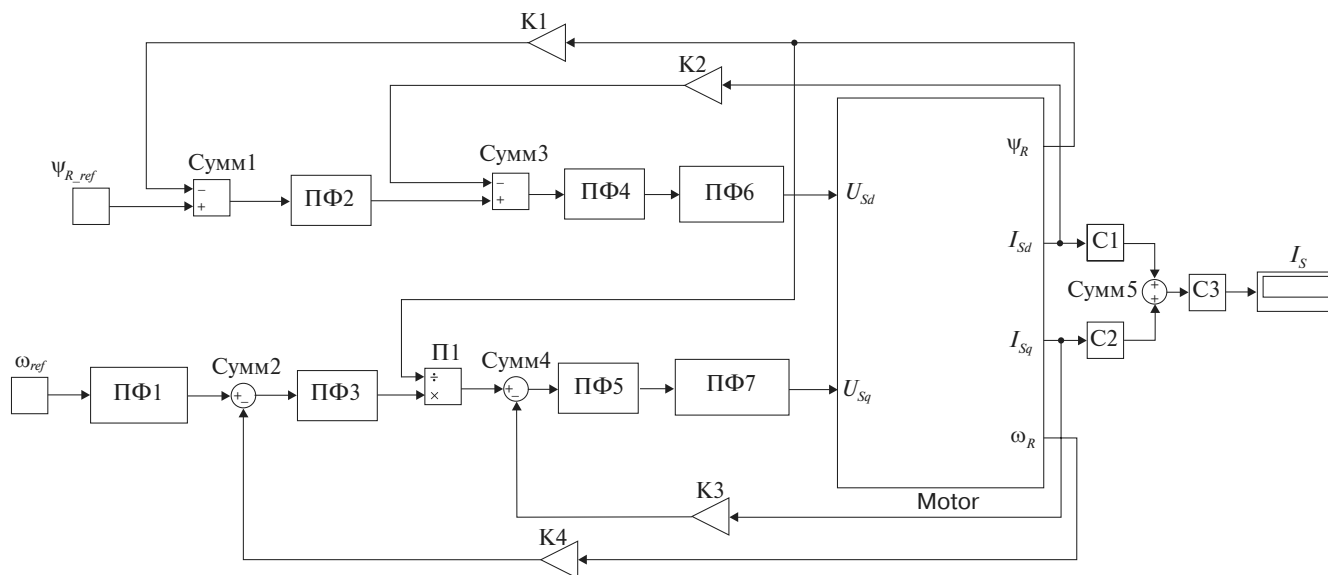


Рис. 2. Структурная схема двигателя с векторным управлением в пакете MatLab/Simulink:
 Сумм1—Сумм6 — сумматоры; К1—К4 — усилители; П1 — перемножитель; ПФ1—ПФ7 — блоки передаточной функции;
 C1—C2 — блоки возведения в степень; C3 — блок вычисления квадратного корня; Motor — модель двигателя
 Fig. 2. Block diagram of a vector control engine in the MatLab/Simulink package:
 Сумм1—Сумм6 — adders; К1—К4 — amplifiers; П1 — multiplier; ПФ1—ПФ7 — transfer function blocks;
 C1—C2 — exponentiation blocks; C3 — block for calculating the square root; Motor — engine model

Схема векторного управления двигателем состоит из двух контуров регулирования магнитного потока и угловой частоты вращения ротора двигателя. Каждый из этих контуров представляет собой классическую схему регулирования по отклонению. Ток в контурах создается с помощью инверторов напряжения ПФ6 и ПФ7, представленных в схеме идеальным апериодическим звеном первого порядка. Необходимые для моделирования значения потока ротора ψ_R и угловой частоты вращения ротора ω_R задаются с помощью соответствующих задатчиков ψ_{R_ref} и ω_{ref} . Сравнение заданного и фактического значений потокосцепления и угловой частоты вращения ротора осуществляется с помощью сумматоров Сумм1 и Сумм2. Регулирование величин потокосцепления и угловой частоты вращения ротора осуществляется соответствующими регуляторами потока ПФ2 и угловой частоты вращения ПФ3, а также регуляторами тока ПФ4 и ПФ5, представляющими собой пропорционально-интегрирующие регуляторы. Момент на валу двигателя создается за счет изменения момента сопротивления M_c блоком константы в модели двигателя Motor. Действующее значение тока статора определяется его проекциями на оси d – q и рассчитывается в соответствии с выражением

$$I_s = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2}. \quad (15)$$

Узел для расчета тока статора представлен в правой части схемы и состоит из двух блоков возведения

в степень C1, C2 и блока вычисления квадратного корня C3.

Усилители К1—К4 являются датчиками фактических значений потокосцепления, действительной и мнимой составляющей тока статора и угловой частоты вращения ротора.

Разработка системы экстремального регулирования. Классический закон векторного управления асинхронным двигателем предполагает поддержание постоянной величины потокосцепления. Однако в процессе регулирования возможно изменение величины ψ_R с периодом времени T , значительно превышающим постоянную времени статорной цепи двигателя T_s , $T_s = (L_{\sigma s} + L_m) / R_s$ ($L_{\sigma s}$ — индуктивность рассеивания статора). В этом случае потокосцепление можно считать условно постоянным [8]. С этих позиций будем проектировать работу системы экстремального управления двигателем [13].

Текущее значение тока статора I_{sk} определяется величиной сигнала потокосцепления $\psi_{R(k-1)}$ за предшествующий $k-1$ период времени. Полученное значение потокосцепления характеризует показатель качества регулирования $Q(x_{k-1})$ системы управления на предыдущем $k-1$ периоде вычисления. Сигнал $Q(x_{k-1})$, пропорциональный току двигателя, поступает на вход экстремального регулятора, осуществляющего поиск потокосцепления ψ_R вблизи его экстремальных значений $\psi_R^{экс}$ и поддерживает его вблизи этих значений. Поиск $\psi_R^{экс}$ осуществляется за счет ступенчатого изменения сигнала на входе канала потокосцепления на

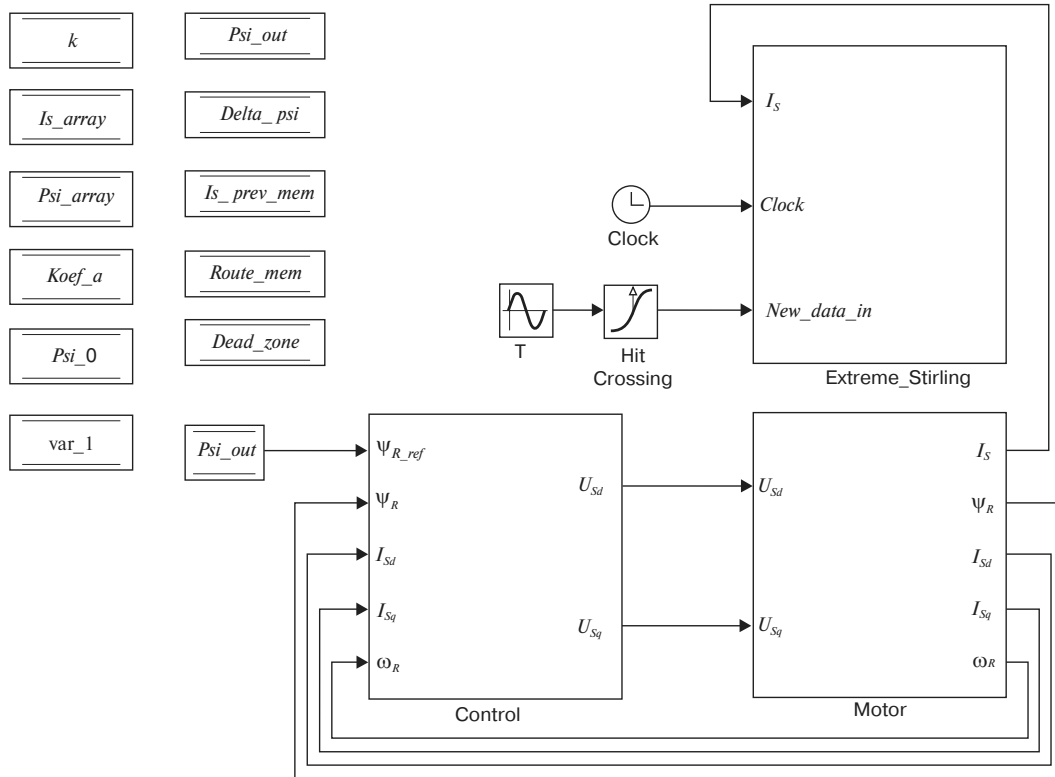


Рис. 3. Структурная схема двигателя с экстремальным управлением в пакете MatLab/Simulink: Motor — модель двигателя; Control — модель системы управления; Extreme_Stirling — программный блок экстремального регулятора; Hit Crossing — блок выявления нулевых значений; T — функциональный генератор; Clock — часы текущего времени; k, Is_array, Psi_array, Koef_a, Psi_0, var_1, Psi_out, Delta_psi, Is_prev_mem, Route_mem, Dead_zone — блоки памяти

Fig. 3. Block diagram of engine with extreme control in the MatLab/Simulink package: Motor — engine model; Control — control system model; Extreme_Stirling — extreme regulator software block; Hit Crossing — block for detecting zero values; T — functional generator; Clock — current time clock; k, Is_array, Psi_array, Koef_a, Psi_0, var_1, Psi_out, Delta_psi, Is_prev_mem, Route_mem, Dead_zone — memory blocks

величину $\Delta\psi_R$ как в сторону увеличения, так и уменьшения.

Алгоритм поиска экстремального значения $\psi_R^{\text{экс}}$ заключается в следующем: при уменьшении тока статора двигателя I_S сохраняется приращение потокосцепления $\Delta\psi_R$, выбранное на предыдущем шаге вычисления, а при увеличении I_S приращение $\Delta\psi_R$ выбирается с противоположным знаком.

В процессе регулирования диапазон возможных значений ψ_R отличается от экстремального $\psi_R^{\text{экс}}$ на заданную величину зоны нечувствительности δ и находится в диапазоне значений от $\psi_R^{\text{экс}} - \delta$ до $\psi_R^{\text{экс}}$. По сути дела, экстремальное значение потокосцепления $\psi_R^{\text{экс}}$ определяет оптимальную величину потокосцепления $\psi_R^{\text{опт}}$ для системы управления двигателем, т. е. $\psi_R^{\text{экс}} = \psi_R^{\text{опт}}$.

Применение классического метода экстремального регулирования [14] предполагает проведение процедуры поиска с фиксированным шагом — приращением потокосцепления $\Delta\psi_R = \text{const}$, вычисленным перед проведением процедуры поиска. Вместе с тем использование в экстремальном регуляторе изменяющегося шага $\Delta\psi_R = \text{var}$ позволяет значительно сократить вре-

мя поиска экстремального значения I_S , а также уменьшить пульсации тока двигателя в установившемся режиме.

Для получения циклического закона изменения тока статора двигателя с наименьшей амплитудой колебаний в зоне нечувствительности δ необходимо, чтобы значение приращения потокосцепления $\Delta\psi_R$ выбиралось из следующего соотношения:

$$\Delta\psi_R = \sqrt{\frac{\delta}{|a|}}, \quad (16)$$

где a — коэффициент, определяющий форму кривой $I_S = f(\psi_R)$.

При работе экстремального регулятора с $\Delta\psi_R = \text{var}$ значение коэффициента a может быть получено методом численного дифференцирования графика $I_S = f(\psi_R)$. Анализ показал, что при описании параболического вида кривых $I_S = f(\psi_R)$ достаточно ограничиться полиномом второй степени:

$$I_S = a\psi_R^2 + b\psi_R + c. \quad (17)$$

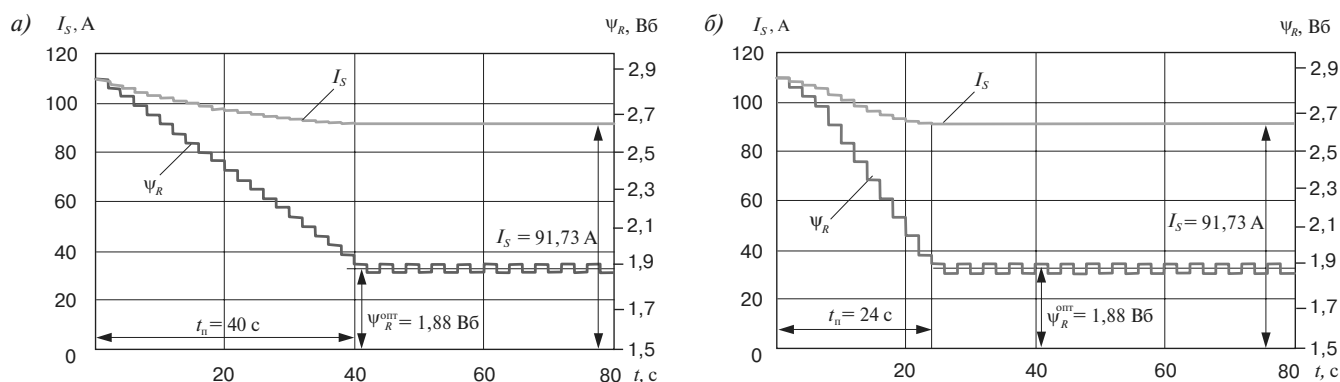


Рис. 4. Результаты моделирования системы экстремального регулирования:

а — с постоянным шагом $\Delta\psi_R$; б — с изменяющимся шагом $\Delta\psi_R$. I_s — ток статора двигателя; ψ_R — потокосцепление ротора; ψ_R^{opt} — оптимальное значение потокосцепления ротора; t_n — время поиска

Fig. 4. Modeling results of the extreme regulation system:

а — with a constant step $\Delta\psi_R$; б — with a variable step $\Delta\psi_R$. I_s — motor stator current; ψ_R — rotor flux linkage; ψ_R^{opt} — optimal value of the rotor flux linkage; t_n — search time

После дифференцирования уравнения (17) получаем

$$I'_s = 2a\psi_R + b. \quad (18)$$

В полученном выражении для определения искомого значения a необходимо также определить неизвестную b . Принимаем, что для одной параболы величина b является постоянной. В этом случае вычислим производные I'_{s1} и I'_{s2} в соседних точках кривой $I_s = f(\psi_R)$ при значениях ψ_{R1} и ψ_{R2} с шагом $\Delta\psi_R$. Приравняв в этих точках значения коэффициента a , получаем формулу для расчета коэффициента b :

$$b = \frac{\psi_{R2}I'_{s1} - \psi_{R1}I'_{s2}}{\Delta\psi_R}. \quad (19)$$

После подстановки полученного значения коэффициента b в уравнение (18) выразим из него искомое значение коэффициента a . Полученное значение a позволяет в соответствии с выражением (16) рассчитать приращение $\Delta\psi_R$ с изменяемым шагом $\Delta\psi_R = \text{var}$, обеспечивающее работу экстремального регулятора в зоне нечувствительности с наименьшими отклонениями тока статора от экстремального значения.

В соответствии с алгоритмом экстремального регулирования разработана имитационная модель системы экстремального управления асинхронным приводом (рис. 3). Схема состоит из программного блока Extreme_Stirling, одиннадцати блоков памяти, имитационной модели двигателя Motor, а также системы его управления Control, включающей каналы управления по угловой частоте вращения ротора ω_R и потокосцеплению ψ_R . Шаг работы экстремального регулятора задается с помощью функционального генератора T и блока Hit Crossing.

На входы блока Extreme_Stirling поступают значения трех управляющих сигналов: контролируемого

значения тока статора I_s , полученного на выходе блока модели двигателя Motor, текущего значения времени моделирования Clock и сигнала New_data_in, контролирующего моменты поступления обновленного значения тока статора. Блоки памяти предназначены для хранения: номера текущего шага поиска k , нескольких предыдущих значений тока статора I_{s_array} и потокосцепления Ψ_{s_array} , Ψ_{s0} ротора, коэффициента a полинома второй степени Koef_a, вспомогательных переменных в массиве var_1, предыдущего значения тока двигателя $I_{s_prev_mem}$, ширины зоны нечувствительности Dead_zone, направления поиска экстремального значения Route_mem, текущего значения потокосцепления Ψ_{s_out} , а также величины его приращения Delta_psi. Работа блока Extreme_Stirling реализована в соответствии с приведенным выше алгоритмом работы экстремального регулятора. Он программно реализован на языке Си при помощи встроенного в MatLab редактора.

Результаты имитационного моделирования работы системы экстремального регулирования показаны на рис. 4.

Из анализа рисунка следует, что система экстремального регулирования выполняет поиск минимального значения I_s путем пошагового изменения величины ψ_R . При этом на рис. 4, а видно, что приращение $\Delta\psi_R$ выбрано неизменным во всем интервале поиска. На рис. 4, б поиск минимального значения I_s осуществляется с изменяющимся шагом. Так, увеличение $\Delta\psi_R$ в середине процесса поиска позволяет значительно уменьшить время поиска с 40 до 24 с. В обоих случаях достигается примерно одно и то же значение минимального тока статора $I_s = 91,73$ А при принятой в моделировании величине электромагнитного момента 350 Н·м.

Выводы. Разработанная система экстремального регулирования позволяет повысить энергетическую эффективность вспомогательных машин электро-

воза и сократить время поиска оптимального значения потокоцепления ротора за счет использования экстремального регулятора с изменяемым шагом. Предлагаемая структура управления позволяет уменьшить электрические потери в двигателе во всех режимах его работы. Для рассмотренного в статье двигателя 4A225M4 У2 величину тока статора удалось сократить на 15 %, а время поиска на 40 % по сравнению с классическим методом экстремального регулирования с постоянным шагом поиска. Кроме этого, с помощью представленной математической модели двигателя можно анализировать работу тягового асинхронного привода электровоза при скалярном способе управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костенко М. П. Электрические машины. Специальная часть. Л.: Госэнергоиздат, 1949. 708 с.
2. Blaschke F. Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die Transvektor-Regelung von Drehfeldmaschinen (in German) // Siemens-Zeitschrift 45. 1971. Heft 10. S. 757–760.
3. Vas P. Sensorless Vector and Direct Torque Control. Oxford University Press, 1998. 729 p.
4. Pradeep J., Devanathan R. Adoption of Park's Transformation for Inverter Fed Drive // International Journal of Power Electronics and Drive System. 2015. Vol. 5. No. 3. P. 366–373.
5. Усольцев А. А. Частотное управление асинхронными двигателями: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. 94 с.
6. Калачёв Ю. Н. Векторное регулирование: метод. пособие. М.: ЭФО, 2013. 63 с.
7. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 / под ред. С. В. Покровского. М.: Интекст, 2009. 356 с.

8. Калачёв Ю. Н. SimInTech: моделирование в электроприводе. М.: ДМК Пресс, 2019. 98 с.
9. Yousef A., Abdelmaksoud S. Review on Field Oriented Control of Induction Motor // International Journal for Research in Emerging Science and Technology. 2015. Vol. 2. No. 7. P. 12.
10. Mekrini Z., Bri S. A Modular Approach and Simulation of an Asynchronous Machine // International Journal of Electrical and Computer Engineering. 2016. Vol. 4. No. 6. P. 10.
11. Eshkabilov S. Beginning MATLAB and Simulink: From Novice to Professional. New York: Apress, 2019. 544 p.
12. Терёхин В. Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учеб. пособие. Томск. Изд-во Томского политехн. ун-та, 2008. 320 с.
13. Kulinich Yu. M., Shukharev S. A. Application of an Extreme Control System to Operate the Reactive Power Compensator of an Electric Locomotive // Russian Electrical Engineering. 2016. Vol. 2. No. 87. P. 84–86.
14. Растринин Л. А. Системы экстремального управления. М.: Наука, 1974. 630 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КУЛИНИЧ Юрий Михайлович,

д-р техн. наук, профессор, кафедра «Транспорт железных дорог», ФГБОУ ВО «ДВГУПС»

ШУХАРЕВ Сергей Анатольевич,

канд. техн. наук, доцент, кафедра «Транспорт железных дорог», ФГБОУ ВО «ДВГУПС»

ГУЛЯЕВ Александр Викторович,

доцент, кафедра «Электротехника, электроника и электромеханика», ФГБОУ ВО «ДВГУПС»

Статья поступила в редакцию 27.07.2021 г., принята к публикации 30.08.2021 г.

Для цитирования: Кулинич Ю. М., Шухарев С. А., Гуляев А. В. Повышение энергетической эффективности вспомогательных машин электровоза переменного тока // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 5. С. 276–284. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-276-284>.

Increasing the energy efficiency of auxiliary machines of AC electric locomotive

Yu. M. KULINICH, S. A. SHUKHAREV, A. V. GULYAEV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Far Eastern State University of Railways" (FGBOU VO "DVGUPS"), Khabarovsk, 680021, Russia

Abstract. Currently, an asynchronous variable frequency drive based on semiconductor converters is widely used due to the relative simplicity and reliability of the design. The use of digital microprocessor systems ensures high accuracy and flexibility of drive control. On the domestic rolling stock, the widespread introduction of asynchronous motors began to replace DC traction motors with sequential excitation. In particular, scalar-controlled asynchronous motors are used on serially produced 2TE25A diesel locomotives and EP20 electric locomotives. The auxiliary asynchronous machines of these locomotives are controlled by the vector control method.

The use of a new type of engine on the rolling stock makes it possible to achieve a significant increase in the quality of consumed energy and reduce the consumption of electricity for traction of trains. Ensuring the energy efficiency of the drive in a wide range of loads requires further research. In this regard, the issue of saving

energy resources becomes very urgent. The article proposes a vector control scheme for asynchronous motors of auxiliary machines of an electric locomotive, which implements an extreme method of control according to the criterion of minimizing the consumed current. The analysis of the engine operation is carried out based on its mathematical model in a rotating coordinate system $d-q$, which is implemented in the MatLab/Simulink software package. As a result of simulation modeling, it was found that the extreme control system with a variable step allows for each fixed value of the electromagnetic moment of the motor in the minimum time to find the optimal (extreme) value of the magnetic flux of the motor rotor, which corresponds to the minimum value of the stator current. The developed model of the motor with vector control is supplemented with an extreme regulator device, which allows achieving the best energy performance of the motor and reducing electrical losses in

all operating modes with a minimum search time. The presented research results can be used in the development of energy-saving control systems for an asynchronous motor.

Keywords: AC electric locomotive; asynchronous motor; simulation modeling; vector control; rotating coordinate system; extreme control

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-276-284>

REFERENCES

1. Kostenko M. P. *Elektricheskie mashiny. Spetsial'naya chast'* [Electric machines. Special part]. Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1949, 708 p.
2. Blaschke F. *Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die Transvektor-Regelung von Drehfeldmaschinen*. Siemens-Zeitschrift 45, 1971, Heft 10, pp. 757–760 (in German).
3. Vas P. *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. Oxford University Press, 1998, 729 p.
4. Pradeep J., Devanathan R. *Adoption of Park's Transformation for Inverter Fed Drive*. International Journal of Power Electronics and Drive System, 2015, Vol. 5, no. 3, pp. 366–373.
5. Usol'tsev A. A. *Chastotnoe upravlenie asinkhronnymi dvigatelyami. Ucheb. posobie* [Frequency control of asynchronous motors. Textbook]. St. Petersburg, SPbGU ITMO Publ., 2006, 94 p.
6. Kalachev Yu. N. *Vektornoe regulirovanie. Metod. posobie* [Vector regulation. Methodological guide]. Moscow, EFO Publ., 2013, 63 p.
7. Pokrovskiy S. V. *Sistema upravleniya i diagnostiki elektrovoza EP10* [EP10 electric locomotive control and diagnostics system]. Moscow, Intext Publ., 2009, 356 p.
8. Kalachev Yu. N. *SimInTech: modelirovanie v elektroprivode* [SimInTech: modeling in an electric drive]. Moscow, DMK Press Publ., 2019, 98 p.

■ E-mail: elochai@yandex.ru (A. V. Gulyaev)

9. Yousef A., Abdelmaksoud S. *Review on Field Oriented Control of Induction Motor*. International Journal for Research in Emerging Science and Technology, 2015, Vol. 2, no. 7, p. 12.

10. Mekrini Z., Bri S. *A Modular Approach and Simulation of an Asynchronous Machine*. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2016, Vol. 4, no. 6, p. 10.

11. Eshkabilov S. *Beginning MATLAB and Simulink: From Novice to Professional*. New York, Apress Publ., 2019, 544 p.

12. Terekhin V. B. *Modelirovanie sistem elektroprivoda v Simulink (Matlab 7.0.1). Ucheb. posobie* [Modeling of electric drive systems in Simulink (Matlab 7.0.1). Tutorial]. Tomsk, Izd-vo Tomskogo politekhn. un-ta [Publishing house of Tomsk Polytechnic University], 2008, 320 p.

13. Kulinich Yu. M., Shukharev S. A. *Application of an Extreme Control System to Operate the Reactive Power Compensator of an Electric Locomotive*. Russian Electrical Engineering, 2016, Vol. 2, no. 87, pp. 84–86.

14. Rastrigin L. A. *Sistemy ekstremal'nogo upravleniya* [Systems of extremal control]. Moscow, Nauka Publ., 1974, 630 p.

ABOUT THE AUTHORS

Yuriy M. KULINICH,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department "Railway Transport", FGBOU VO "DVGUPS"

Sergey A. SHUKHAREV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department "Railway Transport", FGBOU VO "DVGUPS"

Aleksander V. GULYAEV,

Associate Professor, Department "Electrical Engineering, Electronics and Electromechanics", FGBOU VO "DVGUPS"

Received 27.07.2021

Accepted 30.08.2021

For citation: Kulinich Yu. M., Shukharev S. A., Gulyaev A. V. Increasing the energy efficiency of auxiliary machines of AC electric locomotive // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (5): 276–284 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-276-284>.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ СТАТЕЙ ЖУРНАЛА В ОТКРЫТОМ ДОСТУПЕ

На сайте www.elibrary.ru открыт доступ к электронным версиям статей, опубликованных в научно-техническом журнале «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта».

Для работы с фондами библиотеки пользователю необходимо самостоятельно зарегистрироваться, заполнив регистрационную форму на главной странице eLibrary.ru. Доступ возможен по Вашему логину и паролю с любого компьютера, имеющего выход в интернет.

Материалы журнала, размещенные на сайте Научной электронной библиотеки для свободного использования, допускается использовать, копировать, цитировать исключительно в некоммерческих целях с соблюдением соответствующих положений действующего авторского законодательства (Гражданский кодекс РФ от 18.12.2006 № 230-ФЗ, Часть IV; Глава 70 «Авторское право») с обязательным указанием имени автора/ов произведения и источника заимствования.

На сайте журнала www.journal-vniizht.ru контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Подготовка кадров в области цифровой логистики и управления цепями поставок

А. А. ПАРХАЕВ, М. И. МЕХЕДОВ, А. В. ХОМОВ, И. В. АНОХОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, 129626, Россия

Аннотация. Система подготовки кадров в области логистики и управления цепями поставок испытывает в настоящее время все более возрастающее влияние цифровизации. Объектом исследования является современное состояние этой системы в России.

Утверждается, что цифровизация изменит требования к персоналу, занятому в логистике, поэтому логично появление новой должности — администратор цифровой логистики и управления цепями поставок (администратор цифровизации материальных потоков).

Для оценки последствий цифровизации системы подготовки кадров использована методология теории решения изобретательских задач. В соответствии с этой методологией выделяются субъекты российской системы образования, выполняющие следующие функции: «вычислитель» (Минобрнауки, Минпросвещения и др.), «источник энергии» (учреждения дошкольного, среднего и дополнительного образования), «двигатель» (учреждения среднего специального и высшего образования), «трансмиссия» (организации по трудоустройству специалистов в области логистики), «рабочий орган» (предприятия и организации, в которых трудятся специалисты по логистике).

Предложены количественные зависимости и модели для оценки эффективности российской системы подготовки кадров в области логистики и управления цепями поставок. Определена производительность каждого элемента системы подготовки кадров. Констатируется, что данная система не в полной мере соответствует потребностям рынка и ожиданиям обучающихся, а также косвенным образом тормозит переход от конкуренции отдельных производителей к конкуренции цепей поставок, сдерживая тем самым развитие российской экономики.

Ключевые слова: логистика; цифровая цепочка поставок; цифровизация; высшее образование; дополнительное профессиональное образование; теория решения изобретательских задач

Введение. Деятельность, связанная с организацией товароматериальных потоков, напрямую зависит от состояния глобального и регионального рынков, что наглядно было видно в 2020–2021 гг. Кроме того, такая деятельность традиционно находится на переднем крае многих фундаментальных технологических изменений, в том числе цифровизации [1]: автоматизированное управление пассажирскими перевозками, беспилотный транспорт, квантовые сети, искусственный интеллект, блокчейн и др. В совокупности эти факторы (чувствительность к конъюнктуре рынков

и научно-техническому прогрессу) подталкивают компании к максимально активному использованию цифровых инструментов для управления товароматериальными потоками. Передовые компании, которые сегодня инвестируют в цифровую устойчивость цепей поставок, завтра, вероятнее всего, серьезно выиграют в конкурентной борьбе.

Данная сфера кардинально меняется и будет меняться в обозримом будущем, что предъявляет все новые требования к человеческим возможностям, необходимым для эффективной деятельности в новых условиях, а также ставит вопрос о качественно новой роли профессионала в этой сфере и о профиле его подготовки.

Цифровизация значительно трансформирует производственные процессы и требует от сотрудников все новых компетенций и знаний из междисциплинарных областей: информационно-коммуникационные технологии, анализ данных, облачные вычисления, риск-менеджмент, финансовые технологии и т. д. В этой связи другие, более традиционные компетенции, связанные с мотивацией и личностными качествами сотрудников (способность к лидерству, принятию решений, критическое мышление, умение вести переговоры и т. п.), могут показаться все менее важными для производства. Однако «недооценка человеческого фактора, недостаточное понимание того, в какой степени успех решения организационных проблем зависит от согласованной и заинтересованной работы членов организации — самая большая трудность, с которой приходится сталкиваться при реализации различных проектов» [2, с. 369]. По этой причине встает вопрос о пересмотре профилей должностей, не соответствующих современным требованиям, и изменении процесса обучения в образовательных учреждениях, которые должны предлагать обучение согласно новым тенденциям цифровых цепей поставок [3].

Цифровизация цепей поставок находится на начальной стадии и потенциал этого процесса еще неизвестен. По этой причине в настоящее время в России очень мало соответствующих учебных курсов и

недостаточно литературы по применению цифровых технологий именно в этой области.

Моделирование процесса подготовки кадров. Система подготовки кадров для сферы логистики адаптируется под запросы реальной экономики в целом и под нужды ее отдельных субъектов. Чем масштабнее деятельность того или иного транспортного, торгового либо промышленного предприятия, тем значительнее его потребность в специалистах, занимающихся организацией товароматериальных потоков. Кроме того, по мере развития предприятия изменяется и роль таких специалистов.

Так, при относительно небольших масштабах деятельности предприятию может быть достаточно услуг *логиста-координатора*, занимающегося краткосрочной операционной логистикой: организация транспортировки и складирования, управление снабженческо-сбытовыми процессами, ведение локальной информационной системы и т. п. По мере роста масштаба предприятия должен увеличиваться и горизонт планирования его деятельности, в том числе и в логистической сфере, чем должен заниматься уже квалифицированный *логист-аналитик*, отвечающий за более долгосрочные задачи: управление материальными запасами, прогнозирование цикла выполнения заказа, логистическая координация между внутриорганизационными подразделениями и внешними организациями (в том числе с помощью информационных технологий), управление логистическими рисками и жизненным циклом готового продукта. Наконец, в передовых предприятиях насущной является потребность в *менеджерах по управлению цепями поставок*, которые являются специалистами принципиально другого уровня — регионально-го или даже глобального. Они призваны осуществлять информационную синхронизацию бизнес-процессов предприятий, входящих в единую цепь поставок, минимизацию запасов и времени выполнения заказа в цепи поставок, управление страновыми и валютными рисками и многое другое.

Значимость таких менеджеров в современной экономике непрерывно возрастает, что связано как с глобализацией экономики, так и с тенденцией перехода от конкуренции отдельных производителей к конкуренции цепей поставок: «отдельные предприятия больше не могут конкурировать между собой как автономные образования, но конкурируют как цепи поставок. Управление бизнесом вошло в эпоху межсетевой конкуренции и конечный успех отдельного предприятия будет зависеть от способностей руководства к интеграции сложной цепи поставок» [4, с. 15]. Другими словами, роль лидера в современной экономике переходит к тем субъектам, которые способны выстраивать и поддерживать максимально длинные цепочки производства, позволяющие, в свою очередь,

достичь глубокого разделения труда. К таким субъектам и относятся менеджеры цепей поставок, потенциально способные выстраивать такие предельно протяженные цепочки: от месторождения исходного сырья до рынка конечного потребителя.

В то же время спрос на услуги менеджеров, управляющих цепями поставок, — это назревшая потребность сегодняшнего дня. Завтрашней реальностью может стать массовое использование киберфизических систем. Киберфизические системы — это «умные системы, включающие интерактивные инженерные сети из физических и коммуникационных компонент» [5, р. XII]. Потенциально такие системы могут автономно осуществлять цикл физического производства и без участия человека выстраивать между собой горизонтальные связи для выполнения текущих, краткосрочных задач. Другими словами, в сфере логистики в ближайшем будущем следует ожидать переход от взаимодействия в рамках цепи поставок по схеме «человек — человек» или «человек — программа — человек» к схеме взаимодействия «киберфизическая система — киберфизическая система». Это означает, что задавать цели и задачи, а также формулировать алгоритмы взаимодействия для таких киберфизических систем будут профессионалы качественно новой формации — *администраторы цифровой логистики и управления цепями поставок (администраторы цифровизации материальных потоков)*.

В рамках данной статьи под такими администраторами понимаются управленцы, моделирующие долгосрочные потребности реального производства в овеществленных продуктах и создающие для их удовлетворения региональную или глобальную цепочку из киберфизических систем, закладывая в них алгоритмы по преобразованию материальных и информационных потоков.

Для моделирования процесса подготовки кадров в области цифровой логистики используем аппарат *теории решения изобретательских задач* (ТРИЗ), согласно которой в любой системе, в том числе в системе подготовки кадров в области цифровой логистики, можно выделить следующие элементы (рис. 1):

- «источник энергии» — учреждения дошкольного и среднего образования, которые дают выпускникам школ базовые компетенции для выбора профессии. К этому же элементу следует отнести те структуры, которые формируют у подрастающего поколения предпочтения и интересы к тем или иным видам профессиональной деятельности: технические кружки и секции (станции юных техников, детские железные дороги, кванториумы, образовательный центр «Сириус», чемпионаты профмастерства WorldSkills и др.), центры профориентации, формирующие образ будущей профессии СМИ и др.;

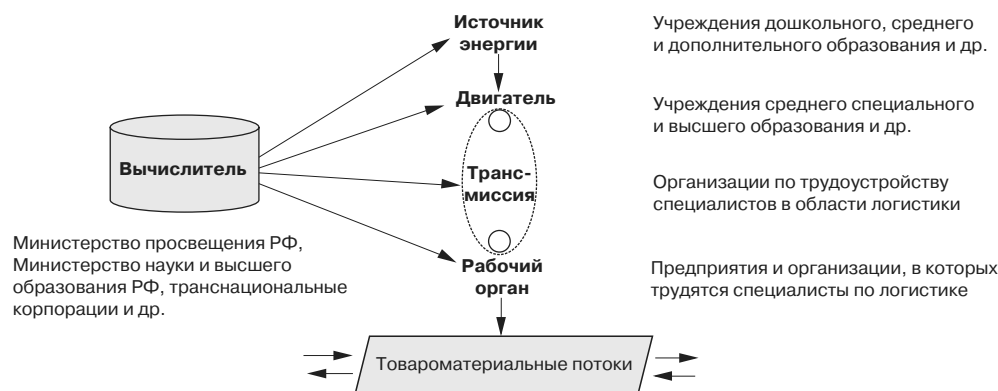


Рис. 1. Система подготовки кадров в области логистики с точки зрения ТРИЗ
Fig. 1. System of training personnel in the field of logistics from the point of view of the theory of solving inventive problems

- «двигатель» — учреждения среднего специального и высшего образования, которые осуществляют непосредственную подготовку кадров в области логистики. К этому элементу следует отнести также корпоративные университеты, коммерческие учебные центры по переобучению и т. п.;

- «трансмиссия» — организации, осуществляющие подбор рабочих мест и трудоустройство подготовленных специалистов в области логистики. Примерами этого элемента могут быть кадровые агентства, биржи труда, службы содействия трудоустройству при университетах, корпоративные и государственные центры по целевой подготовке кадров и др.;

- «рабочий орган» — предприятия и организации, в которых трудятся специалисты по логистике. К этому элементу можно отнести транспортные компании, торгово-производственные предприятия, экспортно-импортные организации, логистические хабы и др.;

- «вычислитель» — корпоративные структуры и государственные органы, прогнозирующие спрос на специалистов по логистике, формулирующие требования к ним и создающие систему по их подготовке. К этому элементу можно отнести Министерство просвещения РФ, Министерство науки и высшего образования РФ, транснациональные корпорации и др.

Один из законов ТРИЗ говорит о том, что «рабочий орган» должен опережать в своем развитии остальные части системы. Проявление этого закона мы видим и в развитии системы подготовки кадров в области логистики: сначала в экономике естественным образом сформировалась потребность в логистах и менеджерах по управлению цепями поставок, а лишь значительно позднее произошло реагирование других элементов системы (уточнение профиля компетенций специалиста, включение его в перечень профессий, формулирование государственных заказов на целенаправленную подготовку таких специалистов, пере-

смотр учебных планов техникумов и вузов и др.). Как следствие, на должности логистов долгое время рекрутировались специалисты из смежных сфер: торгово-сбытовых структур, снабженческих подразделений, компаний по таможенному оформлению, ИТ и т. п.

Неизбежным следствием такого положения дел является перманентное запаздывание процесса подготовки специалистов по сравнению с текущими потребностями транспорта, торговли и промышленности, хотя и в сфере логистики, и в системе подготовки кадров для этой сферы должно выполняться правило 7R: «Обеспечение наличия нужного продукта в требуемом количестве и заданного качества в нужном месте в установленное время для конкретного потребителя с наилучшими затратами» [6, р. 35]. Размер несовпадения потребности в специалистах и их подготовке говорит о степени неэффективности «вычислителя».

Эффективность подготовки кадров в России. Закон ТРИЗ о повышении идеальности системы говорит о том, что система должна стремиться к такому состоянию, при котором функция выполняется, а осуществляющая ее система исчезает. Примером этого может служить река, естественным образом выполняющая транспортную функцию и не требующая создания специальной технической системы по ее содержанию и обслуживанию.

Идеальная система подготовки кадров в области цифровой логистики должна обеспечивать своевременное определение потребности реальной экономики в таких специалистах и предоставление их в нужные моменты времени в требуемом количестве и к заранее запланированным рабочим местам.

Для оценки эффективности российской системы подготовки кадров в области логистики требуется специально собранная внутренняя информация от многих задействованных субъектов, что недоступно

для внешнего аналитика. В такой ситуации возможно использовать только косвенные и производные данные из общедоступных источников. В этой связи дальнейшие рассуждения не претендуют на абсолютную достоверность, а имеют целью продемонстрировать сам аналитический подход к рассматриваемому в статье вопросу.

Учитывая, что по мере движения будущих специалистов от «источника энергии» к «рабочему органу» (рис. 1) значительная их часть отсеивается (31 % по данным Росстата [7]), то будет справедливо следующее неравенство:

$$N_{\text{ист}} > N_{\text{дв}} > N_{\text{трн}} > N_{\text{раб}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ист}}$ — численность выпускников школ, избравших профессию в сфере транспорта и логистики (элемент «источник энергии»); $N_{\text{дв}}$ — численность учащихся средних специальных и высших заведений по профилю «Логистика» (элемент «двигатель»); $N_{\text{трн}}$ — численность выпускников средних специальных и высших заведений по профилю «Логистика» (элемент «трансмиссия»); $N_{\text{раб}}$ — численность подготовленных специалистов-выпускников, трудоустроенных и успешно работающих по своей специальности (элемент «рабочий орган»).

Систему можно считать близкой к идеальному состоянию, если число подготовленных специалистов-выпускников по профилю «Логистика» ($N_{\text{раб}}$) равно текущему спросу на рынке труда ($D_{\text{тр}}$), т. е.

$$N_{\text{раб}} = D_{\text{тр}}. \quad (2)$$

В современной России неравенство (1) не соблюдается в первую очередь из-за слабой осведомленности абитуриентов о преимуществах данной профессии. Действительно, «именно слабое представление о специальности «Логистика и УЦП», недостаточная популяризация ее в СМИ и в обществе в целом, малое количество выпущенных в РФ дипломированных специалистов-логистов приводят к явной недооценке населением ее возможностей для развития нашей экономики и выбора ее как основной профессии» [4, с. 6].

По данным средств массовой информации, специальности в сфере логистики относятся на российском рынке труда к самым высокодоходным [8, 9]. Однако при этом, по данным портала hh.ru, в России по состоянию на сентябрь 2021 г. насчитывалось 11 220 вакансий в сфере логистики и управления цепями поставок. Очевидно, что высокий уровень доходов и значительный неудовлетворенный спрос на логистов взаимосвязаны друг с другом и находятся в обратной зависимости.

При плановом долгосрочном подходе подготовка специалистов по логистике включает в себя следующие этапы: спецклассы, клубы при школах и кружки (как минимум 9–11 классы, т. е. три года) → учреждения высшего образования (4 года бакалавриат, 2 года магистратура) → трудоустройство сразу после окончания университета (до 1 месяца) → работа по специальности (более 5 лет).

Таким образом, в целом этот цикл подготовки логистов требует как минимум 7–9 лет (а в реальности, скорее всего, существенно дольше). Это означает, что даже потенциально не может быть удовлетворен спрос ни на логиста-координатора, ни на логиста-аналитика, ни на менеджера по управлению цепями поставок. Об администраторах цифровой логистики и управления цепями поставок на государственном уровне вопрос даже не обсуждается. Другими словами, «вычислитель» действует по принципу «стимул—реакция», т. е. начинает действовать тогда, когда потребность в кадрах новой формации уже стала чрезвычайной.

Впервые специальность высшего профессионального образования 06.22.00 «Логистика» была открыта в 2000 г. [10], хотя дисциплина «Основы логистики» преподавалась с 1995 г. [4, с. 6]. В 2006 г. специальность 06.22.00 «Логистика» была переименована в специальность 08.05.06 «Логистика и управление цепями поставок» с присвоением выпускникам этой специальности квалификации «логист».

В настоящее время открыта специальность 38.02.03 «Операционная деятельность в логистике» [11], а также профиль «Логистика и управление цепями поставок» в направлении подготовки «Менеджмент» [12], в рамках которого выпускаются бакалавры и магистры по логистике. Ограничение специальности 38.02.03 только операционной сферой и одновременное понижение статуса «Логистика и управление цепями поставок» до уровня профиля не могли не сказаться на мотивации преподавательского корпуса по развитию логистических дисциплин [13].

По данным министра науки и высшего образования РФ, в 2021 г. насчитывается 697 тыс. одиннадцатиклассников, закончивших школы. Для них предусмотрено 542 тыс. бюджетных мест [14]. По сведениям ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», совокупный контингент студентов образовательных организаций, имеющих транспортную направленность, составил 136 тыс. человек [15]. На наш взгляд, эту категорию студентов можно рассматривать как потенциально близкую к логистической деятельности.

Всеми вузами РФ, которые были аккредитованы по специальности 08.05.06 «Логистика и управление цепями поставок», до конца 2016 г. было выпущено примерно 6000 дипломированных логистов [4, с. 70].

По оценке авторов статьи, по профилю «Логистика и управление цепями поставок» на бюджетной и коммерческой основе в 2020/21 учебном году было принято 1354 человека. Если к этим студентам справедлива статистика Росстата о том, что 31 % студентов, окончивших вузы, не работают по специальности [7], то реально трудоустроившихся на должность логиста можно оценивать в количестве 934 человек.

На основании вышеизложенного мы можем представить рис. 1 в следующем виде (рис. 2).

Данные на рис. 2 (время и численность) можно рассматривать как время работы конкретного элемента системы и результат его работы. Это позволяет сравнить производительность каждого элемента системы подготовки кадров в области логистики в России по формуле

$$\text{Производительность} = \frac{\text{Продукт}}{\text{Затраты}} = \frac{\text{Число обучающихся}}{\text{Затраты времени}} \quad (3)$$

Производительность элемента «источник энергии»:

$$P_{\text{ист}} = \frac{136000}{3} = 45333.$$

Производительность элемента «двигатель»:

$$P_{\text{дв}} = \frac{1354}{4} = 338.$$

Производительность элемента «трансмиссия»:

$$P_{\text{трн}} = \frac{934}{0,1} = 9340.$$

Таким образом, неравенство (1) применительно к ситуации в России можно интерпретировать следующим образом:

$$P_{\text{ист}} \gg P_{\text{дв}} \ll P_{\text{трн}}. \quad (4)$$

Это означает, что система подготовки кадров в области логистики в России не в полной мере соответствует требованиям рынка и количеству потенциальных абитуриентов.

Если равенство (2) представить в виде $D_{\text{тр}} - N_{\text{раб}} = 0$, то, исходя из приведенных выше данных, применительно к российской системе подготовки кадров это равенство можно представить следующим образом:

$$D_{\text{тр}} - N_{\text{раб}} \rightarrow \infty. \quad (5)$$

Другими словами, эффективность системы подготовки кадров в области логистики в России бесконечно далека и от потребностей экономики, и от

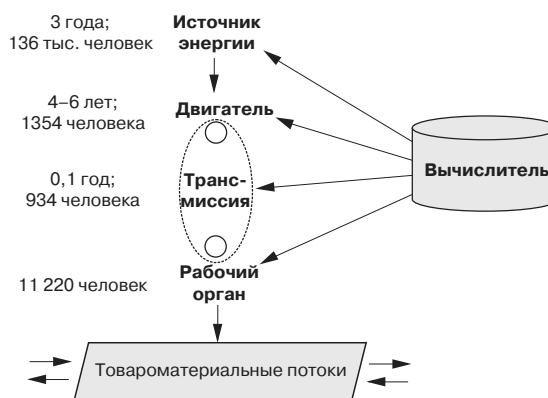


Рис. 2. Данные о системе подготовки кадров в области логистики в России
Fig. 2. Data on the training system in the field of logistics in Russia

демографических и образовательных возможностей страны. Это касается подготовки логистов в традиционном понимании. О развертывании обучения специалистов новой формации говорить пока даже не приходится.

Потребность экономики в специалистах в сфере логистики теоретически могла бы оперативно покрыть магистратура, которая была внедрена в России с 2003 г. в рамках Болонской системы и которая, как предполагалось при ее внедрении, будет давать возможность гибко адаптировать траекторию обучения или переключаться на востребованные рынком специальности. Однако ни высокий уровень зарплаты в логистике, ни значительное число абитуриентов, проявляющих интерес к транспортной сфере, не привели к давно назревшему изменению в системе высшего образования.

В результате в настоящее время в России образовательными программами по цифровым цепям поставок занимается крайне ограниченный перечень вузов (см. таблицу).

Неудивительно в этой связи, что «уровень логистических издержек в нашей стране остается высоким (20 % от ВВП), а уровень развития ... — низким (90 позиция в рейтинге)» [16, с. 5]. Все это требует неотложных мер по адаптации российской системы подготовки кадров к запросам такого стратегически важного элемента национальной экономики, что невозможно без участия государства [17].

В сложившейся ситуации инициатива подготовки таких кадров переходит к отдельным субъектам национальной экономики. В этой связи в АО «ВНИИЖТ» подготовлен электронный учебный курс «Специалист по цифровой цепи поставок», формат проведения которого в последнее время уже доказал свою эффективность. Курс предполагает изучение четырех модулей: управление логистикой, управление инфраструктурой,

Обучение управлению цифровыми цепями поставок
Digital supply chain management training

№ п/п	Наименование организации	Учебный курс	Срок	Программа
1	Высшая школа бизнеса НИУ ВШЭ	Цифровые технологии в логистике и управлении цепями поставок	260 ч	Дополнительное профессиональное образование
		Стратегическое управление логистикой и цепями поставок в цифровой экономике	2 года	Магистерская программа
2	Финансовый университет	Управление цифровой трансформацией в цепях поставок	256 ч	Дополнительное профессиональное образование
3	Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»	Управление цепочками поставок в цифровой экономике	4 года	Бакалавриат

управление цифровой цепью поставок и модуль исследовательского проекта, который потребует от обучающихся выполнения проекта, ориентированного на практики цифровых цепей поставок. Данный курс опирается на накопленный богатый научный и практический багаж АО «ВНИИЖТ», так как именно здесь еще в 70-х гг. были разработаны и внедрены передовые информационные системы, действовавшие и действующие в масштабах всей страны: автоматизированная система построения суточного энергосберегающего графика движения поездов «Эльбрус» [18, 19], система управления пассажирскими перевозками «Экспресс» [20] и многое другое.

Заключение. Значение специалистов по логистике возрастает в связи с глобализацией экономики и переходом от конкуренции отдельных производителей к конкуренции цепей поставок. По этой причине подготовка кадров в области цифровой логистики и управления цепями поставок становится все более значимой и востребованной в современном мире.

Для моделирования системы подготовки кадров в области логистики и управления цепями поставок была использована методология ТРИЗ, что позволило количественно выявить недостаточно эффективный элемент в этой системе — «вычислитель». Горизонт планирования и гибкость «вычислителя»

должны быть кардинально увеличены, чтобы не только удовлетворить потребности рынка в квалифицированных профессионалах, но и предугадывать его будущие нужды. Сегодня подготовка специалистов по цифровой логистике и управлению цепями поставок в национальном масштабе не ведется системно и не встроена в процесс непрерывного образования, что ограничивает конкурентоспособность национальной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов С.А., Попов К.М. Цифровые технологии повышения энергетической эффективности железнодорожных перевозок // Железнодорожный транспорт. 2019. № 7. С. 42–45.
2. Пархаев А.А. Роль управления человеческими ресурсами в проектно-ориентированных организациях // Преподаватель XXI век. 2011. № 1. С. 369–375.
3. Хомова Н.А. Применение цифровых технологий при преподавании психологических дисциплин в транспортном вузе // Научный аспект. 2020. Т. 4. № 3. С. 561–567.
4. Сергеев В.И. Логистика и управление цепями поставок — профессия XXI века: аналитический обзор. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. 271 с.
5. CPS PWG Draft Framework for Cyber-Physical Systems Release 0.8. September 2015 [Электронный ресурс] / Cyber Physical Systems Public Working Group. URL: https://s3.amazonaws.com/nist-sgcps/cpspwg/pwgglobal/CPS_PWG_Draft_Framework_for_Cyber-Physical_Systems_Release_0_8_September_2015.pdf (дата обращения: 30.08.2021 г.).
6. Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J. The Management of Business Logistics. 5th ed. St. Paul, MN: West Publishing Co., 1992. P. 35.
7. Три факта о трудоустройстве выпускников 2016–2018 годов [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики: сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/70843/document/88401?print=1> (дата обращения: 30.08.2021 г.).
8. Ментюкова С. Названы отрасли с самыми высокооплачиваемыми вакансиями [Электронный ресурс] // Российская газета. 2020. 5 июня. URL: <https://rg.ru/2020/06/05/nazvany-otrasli-s-samymi-vysokooplachivaemyimi-vakansiiami.html> (дата обращения: 30.08.2021 г.).
9. Полегенько А. Эксперты назвали отрасли с самыми высокооплачиваемыми вакансиями в России [Электронный ресурс] // Известия. 2020. 5 июня. URL: <https://iz.ru/1020027/2020-06-05/eksperty-nazvali-otrasli-s-samymi-vysokooplachivaemyimi-vakansiiami-v-rossii> (дата обращения: 30.08.2021 г.).
10. Об эксперименте по подготовке специалистов по специальности «Логистика» [Электронный ресурс]: приказ министра образования РФ от 25 апреля 2000 г. № 1213 // ЭПС «Система ГАРАНТ». URL: <https://base.garant.ru/5169905> (дата обращения: 30.08.2021 г.).
11. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 38.02.03 Операционная деятельность в логистике [Электронный ресурс]: приказ Министерства образования и науки РФ от 28 июля 2014 г. № 834 // ЭПС «Система ГАРАНТ». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70631872> (дата обращения: 30.08.2021 г.).
12. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент [Электронный ресурс]: приказ Министерства образования и науки РФ от 12 августа 2020 г. № 970 (ред. от 26 ноября 2020 г.) // ЭПС «Система ГАРАНТ». URL: <https://base.garant.ru/74561312> (дата обращения: 30.08.2021 г.).

13. Римская О. Н. Совершенствование стимулирования труда профессорско-преподавательского персонала вуза в системе менеджмента качества: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Томский гос. ун-т. Томск, 2007. 25 с.

14. Минобрнауки: Почти 70% выпускников российских школ стали студентами вузов в 2020 году [Электронный ресурс] // Рамблер/. URL: <https://news.rambler.ru/education/46021783-minobrnauki-pochti-70-vypusnikov-rossiyskih-shkol-stali-studentami-vuzov-v-2020-godu> (дата обращения: 30.08.2021 г.).

15. О результатах мониторинга качества подготовки кадров в 2020 году. Информационный бюллетень [Электронный ресурс]. М.: МИРЭА — Российский технологический университет, 2020. 39 с. URL: https://monitoring.miccedu.ru/iam/2020/_spo/bulletin_SPO_RF_2020.pdf (дата обращения: 30.08.2021 г.).

16. Транс-Евразийская логистическая платформа: практика, продукты, рынки / О. Н. Дунаев [и др.]; Торгово-промышленная палата РФ. М.: [б. и.], 2016. 64 с.

17. Приоритеты и риски исполнения государственного задания на подготовку специалистов для современной экономики / О. Н. Римская [и др.] // Вестник науки Сибири. 2013. № 1 (7). С. 195–201.

18. Инновационный проект «Эльбрус» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2013. № 12. С. 18–25.

19. Полигонные технологии движения поездов по графикам на основе автоматизированной системы «Эльбрус» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2015. № 3. С. 13–19.

20. Косарев А. Б., Назаров О. Н. Научная поддержка развития высокоскоростного движения // Железнодорожный транспорт. 2008. № 4. С. 23–26.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПАРХАЕВ Алексей Александрович, канд. соц. наук, заместитель генерального директора по управлению персоналом и социальным вопросам, АО «ВНИИЖТ»

МЕХЕДОВ Михаил Иванович, канд. техн. наук, заместитель генерального директора — директор научного центра «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» (НЦ «ЦМПЭ»), АО «ВНИИЖТ»

ХОМОВ Андрей Владимирович, канд. техн. наук, технический эксперт, НЦ «ЦМПЭ», АО «ВНИИЖТ»

АНОХОВ Игорь Васильевич, канд. экон. наук, доцент, заместитель начальника, научно-издательский отдел, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 01.09.2021 г., принята к публикации 30.09.2021 г.

Для цитирования: Подготовка кадров в области цифровой логистики и управления цепями поставок / А. А. Пархаев [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 5. С. 285–292. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-285-292>.

Personnel training in digital logistics and supply chain management

A. A. PARKHAEV, M. I. MEKHEDOV, A. V. KHOMOV, I. V. ANOKHOV

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

Abstract. The system of training personnel in the field of logistics and supply chain management is currently experiencing an increasing impact of digitalization. The object of the research is the current state of this system in Russia.

It is claimed that digitalization will change the requirements for personnel involved in logistics, so the appearance of a new position — administrator of digital logistics and supply chain management (administrator of material flows digitalization) — seems logical.

To assess the consequences of digitalization of the personnel training system, the methodology of the theory of inventive problem solving was used. In accordance with this methodology, the subjects of the Russian education system are distinguished that perform the following functions: “calculator” (Ministry of Education and Science, etc.), “source of energy” (institutions of pre-school, secondary and additional education), “engine” (institutions of secondary specialized and higher education), “transmission” (organizations for the employment of specialists in the field of logistics), “working body” (enterprises and organizations in which logistics specialists work).

Quantitative dependencies and models are proposed for assessing the effectiveness of the Russian system of personnel training in the field of logistics and supply chain management. The performance of each element of the personnel training system has been determined. It is stated that this system does not fully meet

the needs of the market and the expectations of students, and also indirectly inhibits the transition from competition between individual manufacturers to competition in supply chains, thereby holding back the development of the Russian economy.

Keywords: logistics; digital supply chain; digitalization; higher education; additional professional education; theory of inventive problem solving

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-285-292>

REFERENCES

1. Cheremisin V. T., Nikiforov M. M. *Mery povysheniya energo- ticheskoy effektivnosti zheleznodorozhnykh perevozok* [Measures to improve the energy efficiency of railway transportation]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2019, no. 7, pp. 42–45.
2. Parkhaev A. A. *Rol' upravleniya chelovecheskimi resursami v proektno-orientirovannykh organizatsiyakh* [The role of human resource management in project-oriented organizations]. *Prepodavatel' XXI vek*, 2011, no. 1, pp. 369–375.
3. Khomova N. A. *Primenenie tsifrovyykh tekhnologiy pri prepodavanii psikhologicheskikh distsiplin v transportnom vuze* [Application of digital technologies in teaching psychological disciplines in a transport university]. *Nauchnyy aspekt*, 2020, Vol. 4, no. 3, pp. 561–567.
4. Sergeev V. I. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok — profессиya XXI veka: analiticheskiy obzor* [Logistics and supply chain

management — the profession of the XXI century: an analytical review]. Moscow, Izd. dom Vysshey shkoly ekonomiki [Higher School of Economics Publishing House], 2019, 271 p.

5. CPS PWG Draft Framework for Cyber-Physical Systems Release 0.8. September 2015. URL: https://s3.amazonaws.com/nist-sgcps/cpspwg/pwgglobal/CPS_PWG_Draft_Framework_for_Cyber-Physical_Systems_Release_0_8_September_2015.pdf (retrieved on 30.08.2021).

6. Coyle J. J., Bardi E. J., Langley C. J. *The Management of Business Logistics*. 5th ed. St. Paul, MN, West Publishing Co., 1992, p. 35.

7. Tri fakta o trudoustroystve vypusnikov 2016–2018 godov [Three facts about the employment of graduates in 2016–2018]. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/70843/document/88401?print=1> (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

8. Mentyukova S. Nazvaniy otrasli s samymi vysokoplokhivayemyimi vakansiyami [Named industries with the highest paying vacancies]. Rossiyskaya gazeta, 2020, 5 iyunya [Rossiyskaya Gazeta, 2020, June 5]. URL: <https://rg.ru/2020/06/05/nazvaniy-otrasli-s-samymi-vysokoplokhivayemyimi-vakansiyami.html> (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

9. Polegen'ko A. Eksperty nazvali otrasli s samymi vysokoplokhivayemyimi vakansiyami v Rossii [Experts named the industries with the highest paid vacancies in Russia]. Izvestiya, 2020, 5 iyunya [Izvestia, 2020, June 5]. URL: <https://iz.ru/1020027/2020-06-05/eksperty-nazvali-otrasli-s-samymi-vysokoplokhivayemyimi-vakansiyami-v-rossii> (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

10. On the experiment on training specialists in the specialty "Logistics". Order of the Minister of Education of the Russian Federation dated April 25, 2000 No. 1213. URL: <https://base.garant.ru/5169905> (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

11. On the approval of the federal state educational standard of secondary vocational education in the specialty 38.02.03 Operational activities in logistics. Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of July 28, 2014 No. 834. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70631872> (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

12. On the approval of the federal state educational standard of higher education — bachelor's degree in the direction of preparation 03.38.02 Management. Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation of August 12, 2020 No. 970 (as amended on November 26, 2020). URL: <https://base.garant.ru/74561312> (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

13. Rinskaya O. N. Sovershenstvovanie stimulirovaniya truda professorsko-prepodavatel'skogo personala vuza v sisteme menedzhmenta kachestva. Avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk [Improving the stimulation of labor of the teaching staff of the university in the quality management system. Cand. econ. sci. diss. synopsis]. Tomsk, Tomskiy gos. un-t [Tomsk State University] Publ., 2007, 25 p.

14. Minobrnauki: Pochti 70 % vypusnikov rossiyskikh shkol stali studentami vuzov v 2020 godu [Ministry of Education: Almost

70 % of graduates of Russian schools became university students in 2020]. URL: <https://news.rambler.ru/education/46021783-minobrnauki-pochti-70-vypusnikov-rossiyskikh-shkol-stali-studentami-vuzov-v-2020-godu> (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

15. O rezul'tatakh monitoringa kachestva podgotovki kadrov v 2020 godu. Informatsionnyy byulleten' [On the results of monitoring the quality of personnel training in 2020. Information bulletin]. MIREA — Rossiyskiy tekhnologicheskii universitet [MIREA — Russian Technological University] Publ., 2020, 39 p. URL: https://monitoring.miccedu.ru/iam/2020/_spo/bulletin_SPO_RF_2020.pdf (retrieved on 30.08.2021) (in Russ.).

16. Dunaev O. N., Demin V. A., Ezhov D. V., Kulakova T. V., Nesterova D. V. *Trans-Evroaziatskaya logisticheskaya platforma: praktika, produkty, rynki* [Trans-Eurasian logistics platform: practice, products, markets]. Moscow, [s. l.], 2016, 64 p.

17. Rinskaya O. N., Chichelev M. E., Lyalina I. V., Kranbikhler V. S. *Prioritety i riski ispolneniya gosudarstvennogo zadaniya na podgotovku spetsialistov dlya sovremennoy ekonomiki* [Priorities and risks of fulfilling the state assignment for training specialists for the modern economy]. Siberian Journal of Science, 2013, no. 1 (7), pp. 195–201.

18. Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Yabko I. A. *Innovatsionnyy projekt "El'brus"* [Innovative project "Elbrus"]. Zheleznodorozhnyy transport, 2013, no. 12, pp. 18–25.

19. Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Novgorodtseva A. V. *Poligonnye tekhnologii dvizheniya poezdov po grafikam na osnove avtomatizirovannoy sistemy "El'brus"* [Polygon technologies for train operation according to schedules based on the automated system "Elbrus"]. Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no. 3, pp. 13–19.

20. Kosarev A. B., Nazarov O. N. *Nauchnaya podderzhka razvitiya vysokoskorostnogo dvizheniya* [Scientific support for the development of high-speed traffic]. Zheleznodorozhnyy transport, 2008, no. 4, pp. 23–26.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksey A. PARKHAEV,

Cand. Sci. (Soc.), Deputy General Director for Human Resources and Social Affairs, JSC "VNIIZHT"

Mikhail I. MEKHEDOV,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director — Director of Scientific Center "Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies" (SC "TsMPE"), JSC "VNIIZHT"

Andrey V. KHOMOV,

Cand. Sci. (Eng.), Technical Expert, SC "TsMPE", JSC "VNIIZHT"

Igor' V. ANOKHOV,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Deputy Head, Scientific Publishing Department, JSC "VNIIZHT"

Received 01.09.2021

Accepted 30.09.2021

■ E-mail: Anokhov.Igor@vniizht.ru (I. V. Anokhov)

For citation: Parkhaev A. A., Mekhedov M. I., Khomov A. V., Anokhov I. V. Personnel training in digital logistics and supply chain management // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (5): 285–292 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-285-292>.

Формирование показателей работы железнодорожного транспорта для расчета производительности труда

О. Ф. МИРОШНИЧЕНКО, А. Е. ОГИНСКАЯ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, 129626, Россия

Аннотация. Производительность труда на железнодорожном транспорте определяется с использованием показателя «приведенная работа», который формируется с применением коэффициента приведения, призванного учитывать различие в удельных затратах по фонду оплаты труда при выполнении единицы работы: тонно-километров в грузовом движении и пассажиро-километров в пассажирском движении. В статье отражены результаты исследования по определению величины коэффициента приведения пассажирооборота при формировании суммарной перевозочной работы ОАО «РЖД» в современных условиях. Актуальность пересмотра действующего коэффициента приведения обусловлена изменением организационной структуры в результате реформирования железнодорожного транспорта, увеличением издержек на единицу продукции за счет повышения качества пассажирских перевозок, усиления мер безопасности на вокзалах и платформах, развития электронных систем информирования пассажиров, значительных темпов прироста объема высокотратных видов скоростных и высокоскоростных пассажирских перевозок.

Проведен сравнительный анализ издержек по фонду оплаты труда в пассажирском и грузовом движении в разрезе тарифных составляющих. Сравнение проводилось как в целом, так и дифференцированно по каждому виду деятельности, осуществляемому компанией в пассажирском комплексе, а именно: предоставление услуг по пассажирским перевозкам дальнего следования и пригородного сообщения, пассажирские перевозки в дальнем следовании и пригородном сообщении, осуществляемые в скоростном и высокоскоростном подвижном составе. Выявлены наиболее затратные статьи в каждом хозяйстве, характеризующие трудоемкость по видам деятельности ОАО «РЖД». Для целей расчета производительности труда работников компании разработаны предложения по формированию приведенного грузооборота с применением единого коэффициента к пассажирообороту, равного 3,7.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; показатели работы; коэффициент приведения; пассажирский комплекс; структура; фонд оплаты труда; удельные затраты

История вопроса. Научные исследования вопросов формирования приведенной транспортной работы для расчета производительности труда проводились учеными-экономистами на разных этапах развития железнодорожного транспорта. Еще в середине XX в. ведущие ученые указывали на необходимость при отражении выполненной перевозочной работы рассчитывать приведенную работу с использованием коэффициентов

приведения, учитывающих различия в перевозочных издержках и трудоемкости выполнения пассажиро-километров и тонно-километров грузового движения.

Под коэффициентом приведения в данном случае понимается соотношение трудоемкости (удельных затрат по фонду оплаты труда) при выполнении единицы работы в пассажирском движении к выполнению единицы работы в грузовом движении.

В учебнике «Экономика транспорта» под ред. профессора С. К. Данилова издания 1957 г. говорится: «Равенство себестоимости одного пассажиро-километра и одного тонно-километра, явившееся в девяностых годах XIX столетия основанием для их приведения, давно нарушено. В конце 1950-х гг. себестоимость одного пассажиро-километра в среднем в 2 раза выше себестоимости одного тонно-километра. Поэтому нынешний показатель приведенных тонно-километров дает искаженное представление о производительности труда. В невыгодном положении оказываются дороги с высоким удельным весом пассажирских перевозок» [1, с. 441]. В 1974 г. профессор М. Н. Беленький в книге «Экономика пассажирских перевозок» писал, что разрыв трудоемкости грузовых и пассажирских перевозок нарастает, и к 1972 г. достиг 3–3,5 раза. В перспективе это различие будет увеличиваться. При этом сохранение неизменным порядка приравнивания одного пассажиро-километра одному тонно-километру занижает удельный вес пассажирских перевозок в общей работе транспорта» [2, с. 203]. Важно, что за счет занижения пассажирской работы занижается суммарная работа транспорта.

В экономическом справочнике железнодорожника под редакцией д-ра экон. наук Б. И. Шафиркина, изданном в 1978 г. [3], представлены значения показателя производительности труда в двух вариантах: по принятой на тот момент методике и с учетом трудоемкости грузовых и пассажирских перевозок. В первом варианте приведенные тонно-километры получены как сумма тонно-километров и пассажиро-километров, а во втором варианте с учетом различий в трудоемкости грузовых и пассажирских перевозок в расчет принято характерное для 1975 г. соотношение: 1 пасс.км = 3 т.км.

Между тем в финансовой отчетности железнодорожного транспорта (форма БО-11) коэффициент приведения для пассажиро-километров, отличный от 1, при расчете приведенной работы для определения производительности труда стал применяться только с 1986 г., при этом значение его было принято равным 2. В статистический учет коэффициент приведения, равный 2, для учета приведенной работы при расчете производительности труда в пассажирском движении был введен в 1991 г. [4]. С указанного периода производительность труда в компании определяется с использованием показателя «приведенная работа», который формируется с применением коэффициента приведения, призванного учитывать различие в удельных затратах по фонду оплаты труда при выполнении единицы работы: тонно-километров в грузовом движении ($Pl_{гр}$) и пассажиро-километров в пассажирском движении ($Pl_{пас}$). Другими словами, приведенная работа ($Pl_{прив}$) определяется по формуле

$$Pl_{прив} = Pl_{гр} + 2Pl_{пас}.$$

Таблица 1

Динамика пассажирооборота по видам деятельности
ОАО «РЖД» в пассажирском движении

Table 1

Dynamics of passenger turnover by type of activity
of JSC "RZD" in passenger traffic

Вид деятельности	Доля вида деятельности в пассажирских перевозках, %		Темп прироста пассажирооборота 2017–2019 гг., %
	пасс. км	расходы	
Предоставление услуг инфраструктуры в части пассажирских перевозок в дальнем следовании	70,0	53,3	7,89
Предоставление услуг инфраструктуры в части пассажирских перевозок в пригородном сообщении	24,4	35,5	5,74
Пассажирские перевозки в дальнем следовании (скоростные и высокоскоростные перевозки — ДОСС)	4,4	6,7	33,17
Пассажирские перевозки в пригородном сообщении (МЦК)	1,2	4,5	60,88
Всего пассажирское движение	100	100	8,51

По действующему порядку определения приведенной работы для расчета производительности труда [5] коэффициент приведения также равен 2.

Актуальность пересмотра коэффициента приведения, применяемого к показателю «пассажирооборот» при расчете приведенной работы. За период, прошедший со времени введения коэффициента приведения, равного 2, произошли большие изменения в технологии перевозочной работы как в грузовом, так и в пассажирском движении, появился новый пассажирский состав, обеспечивающий более высокое качество перевозок, в том числе за счет увеличения скорости и, следовательно, снижения времени поездки. В результате структурной реформы на железнодорожном транспорте образовались самостоятельные юридические лица — пассажирские перевозочные компании, осуществляющие перевозки пассажиров в дальнем и пригородном сообщении. Одновременно в ОАО «РЖД» в пассажирском движении появились новые виды деятельности: предоставление услуг инфраструктуры пассажирским компаниям-перевозчикам в дальнем следовании и в пригородном сообщении. Эти виды деятельности имеют принципиальное отличие по набору выполняемых работ, а значит — по перевозочным издержкам, и в том числе по трудоемкости.

В современных условиях ОАО «РЖД» в пассажирском движении осуществляет четыре вида деятельности:

- предоставление услуг инфраструктуры в дальнем следовании (далее — ПУИ ППДС) — это предоставление услуг инфраструктуры Федеральной пассажирской компании;
- предоставление услуг инфраструктуры в пригородном сообщении (далее — ПУИ ПППС) — предоставление услуг инфраструктуры пригородным компаниям-перевозчикам;
- пассажирские перевозки в дальнем следовании (далее — ППДС) — это в основном скоростные и высокоскоростные перевозки дальнего следования в поездах «Сапсан», осуществляемые филиалом ОАО «РЖД» — Дирекцией по организации скоростных сообщений (далее — ДОСС);
- пассажирские перевозки в пригородном сообщении (далее — ПППС) — перевозки, осуществляемые ДОСС по Московскому центральному кольцу (МЦК).

Основные объемы перевозок в пассажирском движении ОАО «РЖД» осуществляет по виду деятельности — предоставление услуг инфраструктуры (в дальнем следовании 70 %, в пригородном сообщении 24,4 % от общего объема пассажирооборота, выполняемого на инфраструктуре ОАО «РЖД»). На объем перевозок, выполняемый ДОСС, приходится 5,6 % (в дальнем следовании — 4,4 %, а в пригородном сообщении (перевозки на МЦК) — 1,2 %) (табл. 1).

Таблица 2

Структура затрат по элементу «ФОТ» по хозяйствам и видам деятельности
пассажирского комплекса ОАО «РЖД» за 2019 г.

Table 2

Cost structure by the “payroll fund” element by facilities and types of activities
of the passenger complex of JSC “RZD” for 2019

Хозяйства	Виды перевозочной деятельности ОАО «РЖД» в пассажирском комплексе							
	ПУИ ППДС		ППДС		ПУИ ПППС		ПППС	
	Доля ФОТ хозяйства, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс. км	Доля ФОТ хозяйства, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс. км	Доля ФОТ хозяйства, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс. км	Доля ФОТ хозяйства, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс. км
Хозяйство перевозок	20,26	4,65	5,47	3,07	21,11	6,62	5,06	5,59
Пассажирское хозяйство	39,89	9,16	23,72	13,30	36,28	11,39	12,12	13,38
Локомотивное хозяйство	3,45	0,79	58,72	32,94	2,33	0,73	49,70	54,88
Хозяйство пути	18,72	4,30	5,72	3,21	19,95	6,26	19,58	21,62
Хозяйство автоматики и телемеханики	6,03	1,39	1,79	1,00	7,01	2,20	6,29	6,94
Хозяйство гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения	1,32	0,30	0,58	0,32	1,23	0,39	0,14	0,15
Хозяйство связи	2,74	0,63	1,15	0,64	2,80	0,88	0,68	0,75
Хозяйство электрификации и электроснабжения	3,80	0,87	1,49	0,83	5,56	1,75	5,57	6,15
Хозяйство корпоративной информатизации	1,27	0,29	0,63	0,35	1,11	0,35	0,40	0,45
Остальные хозяйства	2,52	0,58	0,73	0,45	2,63	0,84	0,46	0,52
Всего	100	22,96	100	56,11	100	31,41	100	110,43

Данные табл. 1 показывают опережающий рост пассажирооборота скоростных и высокоскоростных пассажирских перевозок, выполняемых ДОСС.

В связи с различием в динамике и затратах представляет интерес сопоставление показателя трудоемкости грузовых перевозок с каждым из четырех видов деятельности, осуществляемым ОАО «РЖД» в пассажирском движении, для определения коэффициента приведения.

Таким образом, актуальность пересмотра действующего коэффициента приведения обусловлена возникновением новых видов деятельности, а также увеличением издержек на единицу продукции в пассажирском движении по сравнению с грузовым за счет повышения качества пассажирских перевозок, усиления мер безопасности на вокзалах и платформах, развития электронных систем информирования пассажиров, значительного темпа прироста объема высокзатратных видов скоростных и высокоскоростных пассажирских перевозок. С учетом отмеченных организационно-экономических и

техничко-технологических преобразований в пассажирском комплексе российских железных дорог в АО «ВНИИЖТ» были проведены исследования по пересмотру этого коэффициента.

Определение коэффициента приведения, применяемого к показателю «пассажирооборот» при расчете приведенной работы. Трудоемкость услуг по виду деятельности, связанному с пассажирскими перевозками, пропорциональна отношению соответствующих затрат по элементу «фонд оплаты труда» (ФОТ) к пассажирообороту рассматриваемого вида деятельности. Структура затрат по ФОТ различных видов деятельности пассажирского комплекса ОАО «РЖД» по хозяйствам за 2019 г. представлена в табл. 2.

Наибольшие затраты по ФОТ, приходящиеся на единицу транспортной работы, имеют место в ППДС, осуществляемых в основном поездами «Сапсан» (56,11 руб./100 пасс. км), и в ПППС, осуществляемых на МЦК (110,43 руб./100 пасс. км). Наибольшая доля затрат по ФОТ в пассажирском движении — в пассажирском хозяйстве, хозяйстве

Таблица 3

Структура ФОТ пассажирского хозяйства по статьям затрат и видам деятельности ОАО «РЖД» в пассажирском движении за 2019 г.

Table 3

Structure of the payroll fund of the passenger economy by cost items and types of activities of JSC "RZD" in passenger traffic in 2019

Статья затрат		Виды перевозочной деятельности ОАО «РЖД» в пассажирском комплексе							
Номер	Наименование	ПУИ ППДС		ППДС		ПУИ ПППС		ПППС	
		Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км
2003, (2004)	Обслуживание и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования пассажирского хозяйства, связанных с пассажирскими перевозками в дальнем следовании, (в пригородном сообщении)	14,63	1,34	1,50	0,20	69,48	7,92	13,58	1,82
2005	ТО-1 пассажирских вагонов в пути следования	24,64	2,26	—	—	—	—	—	—
2007	Обслуживание и текущий ремонт зданий, сооружений, оборудования и инвентаря пассажирского хозяйства, связанных с пассажирскими перевозками в пригородном сообщении, выполняемые структурными подразделениями других хозяйств	—	—	—	—	11,36	1,29	—	—
2008	Капитальный ремонт зданий, сооружений и оборудования пассажирского хозяйства, связанных с пассажирскими перевозками, выполняемый структурными подразделениями других хозяйств	0,26	0,02	0,22	0,03	—	—	0,03	0,00
4006, (5004)	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в дальнем следовании, (в пригородном сообщении)	56,76	5,19	58,20	7,74	11,54	1,32	52,77	7,06
4019	Обслуживание пассажирских вагонов, курсирующих в дальнем следовании	—	—	21,99	2,93	—	—	—	—
5002	Эксплуатация и обслуживание автоматизированных систем оплаты, контроля и учета проезда в поездах и контроля доступа на перроны вокзалов и остановочных пунктов	—	—	—	—	6,59	0,75	30,67	4,10
6601	ТО-1 в пунктах формирования и оборота и текущий отцепочный ремонт пассажирских вагонов, курсирующих в дальнем следовании	—	—	7,36	0,98	—	—	—	—
	Остальные статьи	3,71	0,35	10,73	1,43	1,03	0,12	2,95	0,40
	Всего ФОТ по хозяйству	100	9,16	100	13,31	100	11,40	100	13,38

Таблица 4

Структура ФОТ хозяйства пути по статьям затрат и видам деятельности ОАО «РЖД» в пассажирском движении за 2019 г.

Table 4

Structure of the payroll fund of the track economy by cost items and types of activities of JSC «RZD» in passenger traffic in 2019

Статья затрат		Виды перевозочной деятельности ОАО «РЖД» в пассажирском комплексе							
Номер	Наименование	ПУИ ППДС		ППДС		ПУИ ПППС		ПППС	
		Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км
2101	Текущее содержание верхнего строения пути (главные пути)	54,79	2,36	42,52	1,36	52,35	3,28	62,63	13,54
2104	Текущее содержание земляного полотна и искусственных сооружений	6,04	0,26	4,29	0,14	6,03	0,38	16,98	3,67
2106	Снего-, водо- и песко-борьба	5,17	0,22	11,79	0,38	5,65	0,36	1,52	0,33
2108	Диагностика пути и искусственных сооружений с использованием средств и станций	12,62	0,54	15,34	0,49	12,45	0,79	4,20	0,91
2125	Текущее содержание переездов	6,49	0,28	6,45	0,21	6,99	0,44	—	—
2151	Текущее содержание верхнего строения пути (станционные пути)	8,23	0,35	10,42	0,33	9,45	0,59	9,18	1,98
	Остальные статьи	6,66	0,29	9,19	0,30	7,08	0,43	5,49	1,19
	Всего ФОТ по хозяйству	100	4,3	100	3,21	100	6,27	100	21,62

пути и локомотивном хозяйстве. Структура затрат в указанных хозяйствах по статьям за этот же период приведена в табл. 3–5.

Рассмотрим отдельные статьи затрат, в наибольшей степени влияющие на трудоемкость перевозочных услуг ОАО «РЖД» в пассажирском движении. Это в первую очередь статьи пассажирского хозяйства 4006 и 5004 (табл. 3), связанные с обеспечением безопасности граждан на вокзалах, ст. 2101 для ПППС по текущему содержанию верхнего строения пути на МЦК (табл. 4), ст. 3010 и 3011 по работе скоростных поездов «Сапсан» в ППДС и «Ласточка» на МЦК (табл. 5).

В табл. 6 представлено сравнение удельных затрат ОАО «РЖД» по ФОТ по тарифным составляющим в грузовом и пассажирском движении.

Из табл. 6 видно, что в ПУИ ППДС и ПУИ ПППС практически отсутствует локомотивная составляющая. Однако ОАО «РЖД» владеет пассажирскими локомотивами и моторвагонным подвижным составом, несет затраты по их содержанию и по содержанию локомотивных бригад и для обеспечения перевозок предоставляет в аренду пассажирским

компаниям подвижной состав и услуги локомотивных бригад.

Для приведения в сопоставимые условия сравнимых видов деятельности целесообразно учесть расходы по ФОТ, которые несет ОАО «РЖД» по статьям, связанным с обеспечением локомотивной (моторвагонной) тягой пассажирских перевозок на инфраструктуре компании. В таком случае, по данным управленческой отчетности ОАО «РЖД», удельные расходы ПУИ ППДС и ПУИ ПППС с учетом расходов по обеспечению тягой соответственно составят 34,8 и 78,5 руб./100 пасс.км. Удельные затраты по локомотивной составляющей в пассажирском движении значительно превышают аналогичные показатели грузового движения, особенно в ПППС.

Сопоставление удельных затрат по ФОТ по рассматриваемым видам деятельности, осуществляемым ОАО «РЖД» в пассажирском движении, с грузовыми перевозками определяет значения коэффициента приведения. Для сопоставимых условий для ОАО «РЖД» получены следующие соотношения удельных затрат ФОТ по видам деятельности пассажирского комплекса и грузовым перевозкам (ГП):

Таблица 5

Структура ФОТ локомотивного хозяйства по статьям затрат и видам деятельности ОАО «РЖД» в пассажирском движении за 2019 г.

Table 5

Structure of the payroll fund of the locomotive economy by cost items and types of activities of JSC “RZD” in passenger traffic in 2019

Статья затрат		Виды перевозочной деятельности ОАО «РЖД» в пассажирском комплексе							
Номер	Наименование	ПУИ ППДС		ППДС		ПУИ ПППС		ПППС	
		Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км	Доля ФОТ статьи, %	Удельные затраты ФОТ, руб./100 пасс.км
3010	Работа скоростных поездов в пассажирских перевозках в дальнем следовании	—	—	42,3	13,94	—	—	—	—
3011	Работа скоростных поездов в пригородном сообщении	—	—	—	—	—	—	97,87	53,82
3019	Обслуживание скоростных поездов, работающих в пассажирских перевозках в дальнем следовании	—	—	40,22	13,25	—	—	—	—
3102	Работа электровозов в хозяйственном движении, занятых на текущей эксплуатации	11,90	0,09	0,17	0,06	13,73	0,10	0,16	0,01
3302	Работа тепловозов в хозяйственном движении, занятых на текущей эксплуатации	40,20	0,32	0,71	0,24	57,92	0,42	0,06	0,00
	Остальные статьи	47,83	0,38	16,60	7,59	28,35	0,21	1,91	1,16
	Всего ФОТ по хозяйству	100	0,79	100	35,08	100	0,73	100	54,99

Таблица 6

Сравнение удельных затрат ОАО «РЖД» по ФОТ в грузовом и пассажирском движении по тарифным составляющим за 2019 г.

Table 6

Comparison of unit costs of JSC “RZD” for payroll fund in freight and passenger traffic by tariff components for 2019

Наименование тарифной составляющей	Удельные затраты ФОТ по перевозочной деятельности				
	ГП, руб./100 т·км	ПУИ ППДС, руб./100 пасс. км	ППДС, руб./100 пасс. км	ПУИ ПППС, руб./100 пасс. км	ПППС, руб./100 пасс. км
Вокзальная	—	6,77	7,98	11,31	12,98
Инфраструктурная	10,19	15,92	10,68	20,08	42,46
В том числе: текущее содержание верхнего строения пути (главные пути)	1,85	0,36	2,36	3,28	13,54
техническое обслуживание вагонов в пути следования	0,65	2,25	—	0,08	—
Локомотивная (моторвагонная)	2,40	0,14*	33,37	0,02*	54,99
Итого	12,59	22,83	52,03	31,41	110,43

* Расходы относятся только по одной статье «Затраты, связанные с передачей имущества сервисным компаниям».

* Costs are related to only one item “Costs associated with the transfer of property to service companies”.

- ПУИ ППДС — 2,76;
- ППДС — 4,45;
- ПУИ ПППС — 6,23;
- ПППС — 8,76;
- ГП — 1.

Данные соотношения удельных затрат определили дифференцированные коэффициенты приведения для пассажирооборота по соответствующему виду деятельности в пассажирском движении. В качестве альтернативного варианта определен единый коэффициент приведения по пассажирским перевозкам. Он рассчитан исходя из значений коэффициентов приведения, дифференцированных по видам деятельности, как средневзвешенная по объему перевозок величина и составил 3,7.

Для обоснованного принятия решения по выбору варианта коэффициентов приведения к показателю «пассажирооборот» (дифференцированных по видам деятельности или единого) проанализировано влияние разработанных коэффициентов на формирование величины приведенной работы для расчета производительности труда на перспективу до 2025 г. В этих целях спрогнозированы показатели приведенной работы по вариантам: с использованием единого и дифференцированных коэффициентов.

При прогнозировании влияния полученных коэффициентов приведения приняты значения пассажиро-километров и тонно-километров по данным Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД» [6]. Результаты прогнозирования показали, что при определении приведенной работы дифференцированные коэффициенты приведения позволяют учесть опережающие темпы роста скоростных и высокоскоростных перевозок ОАО «РЖД», однако значения приведенной работы по вариантам (с дифференцированными и единым коэффициентами) различаются незначительно — всего на 0,28 %. В этих условиях допустимо пользоваться единым коэффициентом.

Заключение. В результате проведенных в 2020–2021 гг. исследований обоснован показатель приведенной работы для расчета производительности труда ОАО «РЖД», учитывающий соотношение тру-

доемкости в грузовом и пассажирском движении на современном этапе. АО «ВНИИЖТ» подготовило предложение по внесению изменений в порядок формирования показателей приведенной работы: для расчета производительности труда применять единый коэффициент приведения к показателю «пассажирооборот», равный 3,7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экономика транспорта: [учеб. для инж.-экон. специальностей вузов ж.-д. транспорта] / А. Е. Гибшман [и др.]; под ред. проф. С. К. Данилова. 2-е изд., перераб. М.: Трансжелдориздат, 1957. 711 с.
2. Беленький М. Н. Экономика пассажирских перевозок. М.: Транспорт, 1974. 271 с.
3. Экономический справочник железнодорожника / В. И. Дмитриев [и др.]; под ред. Б. И. Шафиркина. М.: Транспорт, 1978. 414 с.
4. Инструкция по статистическому учету перевозок грузов, пассажиров и багажа по железным дорогам СССР [Электронный ресурс]: утв. первым заместителем министра путей сообщения СССР В. Н. Гинько 14 марта 1991 г. № ЦЭУ-ЦЧУ-4845 // АСПИЖТ (дата обращения: 01.07.2021 г.).
5. О порядке учета приведенной работы при расчете производительности труда и себестоимости перевозок [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 28 января 2020 г. № 156/р // АСПИЖТ (дата обращения: 01.07.2021 г.).
6. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 г. [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р. URL: <http://government.ru/docs/36094> (дата обращения: 01.07.2021 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МИРОШНИЧЕНКО Ольга Федоровна,

д-р экон. наук, профессор, главный научный сотрудник, научный центр «Экономика комплексных проектов и тарифообразование», АО «ВНИИЖТ»

ОГИНСКАЯ Анна Евгеньевна,

канд. экон. наук, заведующая лабораторией, научный центр «Экономика комплексных проектов и тарифообразование», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 06.07.2021 г., принята к публикации 30.09.2021 г.

Для цитирования: Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е. Формирование показателей работы железнодорожного транспорта для расчета производительности труда // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 5. С. 293–300. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-293-300>.

Formation of performance indicators of railway transport for calculating labor productivity

O. F. MIROSHNICHENKO, A. E. OGINSKAYA

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Labor productivity in railway transport is determined using the "reduced performance" indicator, which is formed using a reduction factor designed to take into account the difference in unit costs of the payroll fund when performing a unit of work performance: ton-kilometers in freight traffic and passenger-kilometers in passenger traffic. The article reflects the results of a study to determine the value of the passenger turnover reduction factor in the formation of the total transportation performance of Russian Railways in modern conditions. The relevance of the revision of the current reduction factor is due to a change in the organizational structure as a result of the reform of railway transport, an increase in costs per unit of production by improving the quality of passenger traffic, strengthening security measures at stations and platforms, development of electronic passenger information systems, a significant increase in the volume of high-cost types of high-speed and high-speed passenger transportation.

A comparative analysis of the costs of the payroll fund in passenger and freight traffic in the context of tariff components is carried out. The comparison was carried out both in general and differentially for each type of activity carried out by the company in the passenger complex, namely: the provision of services for long-distance and suburban passenger transportation, long-distance passenger transportation and suburban traffic, carried out in high-speed rolling stock. The most costly items in each facility were identified, which characterize the labor intensity by type of activity of Russian Railways. For calculating the labor productivity of the company's employees, proposals have been developed for the formation of the reduced freight turnover using a single coefficient for passenger turnover, equal to 3.7.

Keywords: railway transport; performance indicators; reduction factor; passenger complex; structure; payroll fund; unit costs

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-293-300>

REFERENCES

1. Danilov S. K., Belov I. V., Gibshman A. E., Galaburda V. G. *Ekonomika transporta. Ucheb. dlya inzh.-ekon. spetsial'nostey*

vuzov zh.-d. transporta [Transport economics. Textbook for engineering and economic specialties of universities of railway transport]. 2-e izd., pererab. [2nd edition, revised]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1957, 711 p.

2. Belen'kiy M. N. *Ekonomika passazhirskikh perevozok* [Economy of passenger transportation]. Moscow, Transport Publ., 1974, 271 p.

3. Dmitriev V. I., Kotov G. V., Kochkina L. I., Shafirkin B. I. *Ekonomicheskiy spravochnik zheleznodorozhnika* [Economic reference book of a railway worker]. Moscow, Transport Publ., 1978, 414 p.

4. *Instructions for the statistical accounting of the transportation of freights, passengers and baggage on the railways of the USSR*. Approved by First Deputy Minister of Railways of the USSR V. N. Ginko March 14, 1991 No. TsEU-TsChU-4845. ASPIZHT (retrieved on 01.07.2021) (in Russ.).

5. *On the procedure for accounting for the above work when calculating labor productivity and cost of transportation*. Order of the JSC "RZD" dated January 28, 2020 No. 156/r. ASPIZHT (retrieved on 01.07.2021) (in Russ.).

6. *Long-term development program of the open joint-stock company Russian Railways until 2025*. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated March 19, 2019 No. 466-r. URL: <http://government.ru/docs/36094> (retrieved on 01.07.2021) (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Ol'ga F. MIROSHNICHENKO,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chief Researcher, Scientific Center "Economics of Complex Projects and Tariff Setting", JSC "VNIIZHT"

Anna E. OGINSKAYA,

Cand. Sci. (Econ.), Head of the Laboratory, Scientific Center "Economics of Complex Projects and Tariff Setting", JSC "VNIIZHT"

Received 06.07.2021

Accepted 30.09.2021

■ E-mail: oginskaya.anna@vniizht.ru (A. E. Oginskaya)

For citation: Miroshnichenko O. F., Oginskaya A. E. Formation of performance indicators of railway transport for calculating labor productivity // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (5): 293–300 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-293-300>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Экономические исследования железнодорожного комплекса и их практическое значение / под ред. О. Ф. Мирошниченко. — М.: РАС, 2019. — 210 с.

Изложены результаты исследований по актуальным проблемам экономики железнодорожного комплекса: ценообразование на грузовые и пассажирские перевозки, прочие виды деятельности; управление затратами, зависимость их от объема перевозок, формирование удельных оценочных затрат; оценка экономической эффективности технологических решений и инвестиционных железнодорожных про-

ектов; совершенствование системы управления железнодорожным транспортом.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся вопросами экономики железнодорожного транспорта, может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

Железнодорожная наука: итоги I Международной научно-практической конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт»

А. Б. КОСАРЕВ, О. Н. РИМСКАЯ, И. В. АНОХОВ, А. В. ЗАРУЧЕЙСКИЙ, Н. М. ГОРШКОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, 129626, Россия

Аннотация. В непрерывно меняющемся мире любая производственная деятельность, в том числе транспортная, требует научной поддержки, которая предполагает, в свою очередь, активное участие ученых, а также возможность обмена мнениями между теоретиками и практиками. Одним из наиболее эффективных форматов для этого является научная конференция, позволяющая обсуждать долгосрочные тенденции в развитии отрасли и способы заблаговременной адаптации к ним. В железнодорожной сфере научные конференции стали регулярным и эффективным инструментом для обсуждения перспективных направлений в отрасли.

Президентом РФ Владимиром Путиным 2021 г. был объявлен Годом науки и технологий. В этой связи символично, что 26–27 августа 2021 г. на территории Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» прошла I Международная научно-практическая конференция «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт». Организатором конференции стал АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» — лидер в области разработок, создания, испытания и внедрения железнодорожной техники и технологий на пространстве колеи 1520 мм. На конференции были представлены доклады как специалистов-практиков и действующих управленцев, так и ученых-теоретиков. Работа конференции была организована в виде параллельно работающих секций, основные результаты которых были обсуждены на панельной дискуссии. По представлению руководителей тематических секций были определены и награждены дипломами лучшие докладчики, среди которых много молодых ученых. По оценке руководителей и сотрудников железнодорожных предприятий и смежников, конференция была полезным и долгожданным международным событием в железнодорожной науке и практике.

Ключевые слова: международная конференция; ВНИИЖТ; 1520; Экспериментальное кольцо; железная дорога; 2021; Год науки и технологий

Введение. В АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ») история демонстрации новейших образцов железнодорожной техники и оборудования началась с открытия в 1971 г. на его территории крупнейшей железнодорожной выставки «Подвижной состав», которая стала знаковым международным событием для транспортной отрасли в Евразии. В 2021 г. эта традиция продолжается в новом формате: 26–27 августа 2021 г. на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» были

созданы условия как для деловой программы — в рамках Международного железнодорожного салона «PRO// Движение.Экспо», так и для научно-практической — в рамках I Международной конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт». Благодаря этому ведущие российские и зарубежные эксперты, представители промышленности и органов власти смогли и реализовать свои бизнес-интересы на железнодорожном салоне, и обсудить будущее железных дорог. Так, руководство АО «ВНИИЖТ» подписало соглашения о научно-техническом сотрудничестве с ООО «Уральское конструкторское бюро вагоностроения», АО «Академия логистики и транспорта», ПАО «ТрансКонтейнер» и ПАО «Дальневосточное морское пароходство» (фото 1).

АО «ВНИИЖТ» внесло вклад и в зрелищно-развлекательную часть мероприятий международного салона. На динамической экспозиции среди прочих исторических экспонатов был представлен ретроэлектропоезд Ср/3-1668, который после восстановления силами АО «ВНИИЖТ» совершил почетный круг по Экспериментальному кольцу (фото 2).

Основное внимание на состоявшейся конференции было сфокусировано на обсуждении перспективных железнодорожных технологий в эпоху 4-й промышленной революции и глобальных мировых вызовов. Конференция проходила в течение двух дней в двух форматах участия: офлайн и онлайн. В работе конференции было задействовано более 200 участников (без учета удаленных зрителей).

Среди участников конференции ученые и специалисты железнодорожной отрасли, эксперты, преподаватели транспортных вузов, руководители профильных российских и зарубежных компаний, представители органов государственной власти и органов местного самоуправления, а также некоммерческих организаций.

Цели конференции:

1. Использование конференции как дискуссионной площадки для обсуждения актуальных вопросов железнодорожной отрасли в Российской Федерации, странах СНГ, Европе и мировом пространстве.



Фото 1. Подписание руководством АО «ВНИИЖТ» соглашений о научно-техническом сотрудничестве:

а — исполнительный директор АО «ВНИИЖТ» Константин Шенфельд (справа) и первый вице-президент ПАО «ТрансКонтейнер» Виктор Марков; б — генеральный директор АО «ВНИИЖТ» Сергей Виноградов (справа) и советник ректора АО «Академия логистики и транспорта» (Казахстан) Аскар Саликбаев; в — генеральный директор АО «ВНИИЖТ» Сергей Виноградов и генеральный директор ООО «Уральское конструкторское бюро вагоностроения» Александр Баранов

Photo 1. Signing by the management of the JSC “VNIIZHT” agreements on scientific and technical cooperation:

а — Executive Director of the JSC “VNIIZHT” Konstantin Shenfeld (right) and First Vice President of PJSC TransContainer Viktor Markov; б — General Director of the JSC “VNIIZHT” Sergey Vinogradov (right) and advisor to the rector of JSC Academy of Logistics and Transport (Kazakhstan) Askar Salikbayev; в — General Director of the JSC “VNIIZHT” Sergey Vinogradov and General Director of LLC Ural Design Bureau of Car Building Aleksander Baranov



Фото 2. Ретроэлектropоезд Ср/3-1668, восстановленный силами АО «ВНИИЖТ»

Photo 2. Retroelectric train Sr/3-1668, restored by the forces of the JSC “VNIIZHT”



Фото 3. Р. В. Мурзин
Photo 3. R. V. Murzin

2. Обсуждение опыта, накопленного в железнодорожной отрасли.

3. Распространение в железнодорожной отрасли передовых достижений ученых и специалистов.

4. Повышение профессионального взаимодействия между научными коллективами отрасли и отдельными их представителями в Российской Федерации и за рубежом для решения актуальных вопросов в сфере науки и техники.

Работа тематических секций. По каждой теме конференции были организованы круглые столы и секции, работа которых осуществлялась под руководством модераторов из числа ученых АО «ВНИИЖТ».

Всего на конференции работало семь секций:

- Тяговый подвижной состав.
- Контейнеризация перевозок.
- Развитие линий с высоким использованием пропускной способности.
- Инфраструктура железнодорожного транспорта.
- Использование подвижного состава с альтернативными силовыми установками в городских условиях.
- Техническая диагностика на транспорте.
- Городские пассажирские перевозки.

Модератором-руководителем секции «**Тяговый подвижной состав**» выступил заместитель генерального директора АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук Р. В. Мурзин (фото 3). В работе секции приняли участие представители ряда предприятий и организаций: СРО Ассоциация «Промжелдортранс», ООО «Локотех», АО «Трансмашхолдинг» (АО «ТМХ»), АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ») и др. Всего насчитывалось 25 участников, в том числе 8 участников с докладами.

Работа секции была сфокусирована на трех основных темах:

- Перспективные требования к тяговому подвижному составу.
- Подходы к оценке стоимости жизненного цикла.
- Совершенствование оборудования тягового подвижного состава и перспективы альтернативных источников энергии.

Заседание секции открыл Р. В. Мурзин с докладом «Новый подход к формированию технических требований к тяговому подвижному составу».

Были заслушаны следующие доклады:

- «Обновление парка тягового подвижного состава путей необщего пользования». Докладчик — исполнительный директор СРО Ассоциация «Промжелдортранс» А. Ю. Маняхин.

- «Новые подходы к оценке стоимости жизненного цикла». Докладчик — ведущий научный сотрудник АО «ВНИИЖТ» А. А. Акишин.

- «К вопросу использования природного газа на подвижном составе». Докладчик — заведующий отделом АО «ВНИИЖТ» Д. И. Прохор.

- «Управление проскальзыванием в асинхронном тяговом приводе 2ЭС6А». Докладчик — младший научный сотрудник АО «ВНИИЖТ» Н. Д. Шилин.

- «Четырехуровневый автономный инвертор напряжения с повышенной эффективностью для тягового подвижного состава». Докладчик — конструктор I категории Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства (ПКБ ЦТ) Д. А. Бережнов.

- «Прогнозирование истощения ресурса несущих конструкций локомотива». Докладчик — заведующий отделом АО «ВНИИЖТ» А. С. Гасюк.

- «Новые подходы к технико-экономической оценке подвижного состава». Докладчик — директор по стратегическому развитию ООО «Локотех» Р. Ф. Беглов.

- «Изготовление технологической оснастки». Докладчик — сотрудник филиала «Северный» ООО «Локотех-Сервис» Е. И. Елисейкин.

По завершении работы секции были выработаны рекомендации:

1. Объединить усилия двух институтов (ВНИИЖТ и ВНИИЖТ) с привлечением предприятий — изготовителей тягового подвижного состава в области использования природного газа как альтернативного вида топлива.

2. Организовать совместное и узконаправленное обсуждения подходов к расчетам стоимости жизненного цикла, учитывая прямой интерес производителей в объективной и точной оценке эффективности применения подвижного состава.

3. Уделить отдельное внимание в работах и исследованиях институтов направлению промышленного железнодорожного транспорта.



Фото 4. М. И. Мехедов
Photo 4. M. I. Mekhedov

Модератором-руководителем секции «Контейнеризация перевозок» выступил заместитель генерального директора АО «ВНИИЖТ» — директор научного центра «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» (НЦ «ЦМПЭ») канд. техн. наук М. И. Мехедов (фото 4). В работе секции приняли участие представители восемнадцати предприятий (Центр фирменного транспортного обслуживания ОАО «РЖД», группа FESCO, ПАО «ТрансКонтейнер», Freight Village RU и др.). Всего насчитывалось 25 участников, в том числе 18 участников с докладами.

Заседание секции открыл М. И. Мехедов с докладом «Технология ускоренных контейнерных перевозок железнодорожным транспортом». По теме доклада были заданы вопросы о целесообразности ускорения на железнодорожном транспорте при текущей инфраструктуре и о постоянном обновлении системы организации ускоренных перевозок грузов, что требует учета гибкости процессов на этапе проектирования технологии.

Главный инженер центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» А. Е. Курочкин изложил информацию о новых видах сервиса и перспективах развития терминально-складского комплекса ОАО «РЖД». В ходе доклада были продемонстрированы предпосылки создания нового вида сервиса по перевозке грузов в новых видах транспортной тары. Выступление вызвало положительные отклики и надежду на реализацию проекта.

Главный конструктор АО «ВНИИЖТ» В. А. Никон доложил о проекте создания длиннобазной платформы для ускоренной перевозки рефрижераторных контейнеров. В ходе выступления и последующего обсуждения были затронуты технические особенности проекта.

Советник первого заместителя генерального директора ПАО «ТрансКонтейнер» Д. В. Железнов

рассказал про внутранспортный эффект железнодорожных контейнерных перевозок. ПАО «ТрансКонтейнер» видит стратегические перспективы контейнерных перевозок и в числе первых определило требования для экономической целесообразности развития таких перевозок. В ходе вопросов было уточнено, что главной проблемой реализации данного проекта является отсутствие вложений в развитие терминальной инфраструктуры и подвижного состава.

Директор по тарифам и расчетам ООО «Фирма» Трансгарант группы FESCO С. Н. Сёмина представила доклад о путях совершенствования взаимодействия операторов контейнерных поездов с ОАО «РЖД» и о тарифных вопросах развития контейнерных перевозок.

Генеральный директор ООО «Комплексные скоростные технологии» М. А. Кимасов подробно доложил о технологическом и нормативном обеспечении перевозок действующих и перспективных типов контейнеров со скоростью до 140 км/ч. В ходе обсуждения была подтверждена необходимость проведения экспериментальной проверки местных технических условий размещения и крепления контейнеров для эксплуатационной скорости 140 км/ч.

Профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)) канд. техн. наук, д-р экон. наук А. Г. Некрасов и и.о. заведующего кафедрой «Логистические транспортные системы и технологии» ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ) А. С. Сеницына представили доклад на тему «Проблемы интеллектуальной мобильности в транспортно-логистических системах», в котором были рассмотрены системные проблемы в эксплуатации транспортно-логистических систем в условиях интермодальной транспортировки. В условиях трансформации на основе информационно-коммуникационных технологий возникает проблема совместимости и взаимодействия не только программно-аппаратных средств, но и базовых моделей, в связи с чем особое значение приобретает понятие интероперабельности систем различного масштаба и интеллектуальной мобильности процессов. По итогам обсуждения было предложено продолжить исследовательскую работу с применением системной инженерии в рамках проектов развития транспортной логистики в холдинге «РЖД».

Ведущий технолог отдела по развитию контейнерных перевозок Центра фирменного транспортного обслуживания ОАО «РЖД» (ЦФТО) М. А. Лысенко доложила о тенденциях контейнерных перевозок на сети российских железных дорог. В обзоре были озвучены актуальные цифры объемов перевозок контейнерных грузов, новые проекты ЦФТО, в том числе и в рамках цифровизации.

Технический эксперт НЦ «ЦМПЭ» АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук А. В. Хомов сообщил о перспективах использования новых интермодальных транспортных грузовых единиц. В докладе прозвучали ретроспективные данные, в которых представлена история возникновения интермодальных перевозок и развития технических средств. Были определены перспективы новых интермодальных грузовых единиц, таких как съемный кузов, среднетоннажный модуль и паллетный борт.

Технический эксперт НЦ «ЦМПЭ» АО «ВНИИЖТ» П. С. Троицкий представил доклад «Моторвагонный подвижной состав для перевозки контейнеров». Докладчик продемонстрировал эффекты при внедрении моторвагонной грузовой тяги и рассказал о перспективах сети городских грузовых контейнерных электропоездов.

Директор по стратегическому развитию группы Freight Village RU А. Н. Войтко изложил информацию на тему «Логистика контейнерных перевозок. Основные тренды». Автор отметил, что электронная коммерция в среднесрочной перспективе будет одним из наиболее динамичных сегментов контейнерного рынка, а управление потоками данных становится не менее важным, чем управление грузопотоками в рамках предоставления комплексных логистических решений. Freight Village RU видит, что рост электронной коммерции влечет необходимость создания складской инфраструктуры вблизи сухих портов, что открывает новые перспективы для компании.

Заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «РГУПС») О. А. Ворон провел презентацию о перспективах развития транспортной инфраструктуры и подвижного состава при перевозках скоропортящихся грузов.

Ведущий научный сотрудник группы «Габариты, аэродинамика и установление условий обращения для подвижного состава» АО «ВНИИЖТ» А. М. Бржезовский рассказал про условия эксплуатации вагонов-контейнеров в железнодорожных поездах специального формирования.

Заместитель руководителя научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования» Института управления и цифровых технологий (ИУЦТ) ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ) Д. Ю. Роменский выступил с результатами исследования на тему: «От сортировки вагонов к сортировке груза — грузосортировочные хабы на сети железных дорог». В докладе прозвучал глубокий анализ эволюции работы сортировочных станций и были предложены решения, отвечающие современным требованиям контейнеризации на железнодорожном транспорте. В ходе обсуждения было отмечено, что сегодня не хватает конкретных продуманных решений по устройству

сортировочных хабов в условиях ограничений железнодорожной инфраструктуры.

Инженер АО «Институт экономики и развития транспорта» (АО «ИЭРТ») А. П. Маслова рассказала о подходах к прогнозированию перевозок контейнеров по сети ОАО «РЖД». В докладе были озвучены подходы к прогнозированию отдельно по видам: внутреннем, импортом, экспортном и транзитном сообщениях.

Заведующий лабораторией «Электровозы» АО «ВНИИЖТ» М. В. Худорожко озвучил информацию об эксплуатационной модели электровоза для контейнерных поездов и рассказал о разработке технических требований на электровоз, способный реализовывать перевозку контейнерного поезда с Дальнего Востока до западной границы Российской Федерации за 7 дней, а также совершать ускоренные контейнерные перевозки по другим участкам с эквивалентной скоростью. В ходе обсуждения остались открытыми вопросы энергоэффективности и стоимости сервиса.

По завершении работы секции были выработаны рекомендации:

1. Применять методы системной инженерии в разработках ученых АО «ВНИИЖТ», касающихся проблем доступности и конкурентоспособности железнодорожного транспорта, в том числе в интермодальном сообщении.

2. Ориентировать технологические решения по перевозке грузов железнодорожным транспортом на синергию с автомобильным транспортом, прежде всего на основных межрегиональных маршрутах.

3. Отметить важность сокращения продолжительности всех операций при организации перевозки контейнеризируемых грузов.

Модератором-руководителем секции **«Развитие линий с высоким использованием пропускной способности»** выступил главный научный сотрудник АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук В. М. Богданов (фото 5). В работе секции приняли участие представители девяти предприятий и организаций из России и Франции (АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИИКИ», АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), АО «ИЭРТ», АО «Московский институт материаловедения и эффективных технологий» (АО «ИМЭТ»), SYSTRA, АО «Росжелдорпроект», ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «ДВГУПС»), Управление экспертизы проектов и смет (ЦУЭП) ОАО «РЖД»). Всего насчитывалось 27 участников, в том числе 20 участников с докладами.

Ключевые темы секции:

- Моделирование перевозочного процесса линий смешанного движения и совершенствование технологий.

Фото 5. В. М. Богданов
Photo 5. V. M. Bogdanov



- Нормативная база. Необходимость актуализации.
- Научные рекомендации, требующие внедрения.

Заседание секции открыл В. М. Богданов с докладом «Проблема повышения провозной способности линий смешанного движения с высоким заполнением пропускной способности».

На заседании секции были заслушаны следующие доклады:

- «Новое в расчетах интенсификации перевозок в условиях инфраструктурного развития полигонов сети железных дорог». Докладчик — заведующий отделением АО «ИЭРТ» д-р техн. наук, профессор А. Ф. Бородин.

- «Разработка и обоснование экономически эффективных планов переустройства или модернизации железнодорожных объектов и систем». Докладчик — доцент ФГБОУ ВО «ДВГУПС» В. А. Анисимов.

- «Актуализация графиков движения поездов при изменении условий пропуска и структуры поездопотока». Докладчик — заместитель директора — главный конструктор НЦ «ЦМПЭ» канд. техн. наук В. Ю. Кирякин.

- «Управление и планирование грузовых перевозок для линий с высоким заполнением пропускной способности». Докладчик — заместитель председателя Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» д-р техн. наук А. Т. Осьминин.

- «Комплексное развитие полигонов железнодорожной сети на основе инновационных технико-технологических решений». Докладчик — заместитель генерального директора АО «ИЭРТ» канд. техн. наук В. В. Панин.

- «Моделирование работы направлений». Докладчик — канд. техн. наук Д. А. Курсин.

- «Необходимость актуализации действующей нормативной базы». Докладчик — первый заместитель начальника ЦУЭП ОАО «РЖД» Н. И. Лукин.

- «Несовершенство нормативной базы». Докладчик — заместитель главного инженера АО «Росжелдорпроект» А. А. Альхимович.

- «Повышение скоростей движения в горловинах станций». Докладчик — ведущий научный сотрудник научного центра «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо—рельс» (НЦ «ЦПРК») АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук М. И. Титаренко.

- «Транс-Магрибский грузовой железнодорожный коридор». Докладчик — главный инженер в сфере путей Matthias Gattwinkel (SYSTRA, Франция). Автор доклада рассмотрел существующую железнодорожную инфраструктуру, проблемы, связанные с железнодорожным сообщением в Марокко, Алжире, Тунисе, Ливии и Египте, дал характеристики железнодорожных путей будущего, описал шпалы будущего для тяжеловесного движения, отметил роль российской железнодорожной промышленности в Транс-Магрибском железнодорожном коридоре.

- «Практические методы решения задач по устранению «узких» мест, сдерживающих провозную способность». Докладчик — главный научный сотрудник АО «ВНИИЖТ» д-р техн. наук Л. А. Мугинштейн.

- «Современные возможности устройства железнодорожного пути в трудных геологических условиях на эстакадах». Докладчик — научный руководитель АО «ИМЭТ» д-р техн. наук, профессор М. Я. Бикбау.

- «Реализация технологии интервального регулирования движения поездов». Докладчик — первый заместитель генерального директора АО «НИИАС» д-р техн. наук Е. Н. Розенберг.

- «Регулярная эксплуатация соединенных поездов на линиях с высоким заполнением пропускной способности». Докладчик — начальник отдела полигонных технологий и повышения провозной способности сети АО «ВНИИЖТ» П. С. Холодняк.

- «К вопросу об улучшении динамических качеств грузовых вагонов на тележках модели 18-100». Докладчик — заместитель заведующего отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук А. В. Спиров.

- «Требования к инновационным грузовым вагонам». Докладчик — заместитель директора научного центра «Нетяговый подвижной состав и автотормозные системы поезда» (НЦ «НПСАП») АО «ВНИИЖТ» Г. Н. Горюнов.

- «Целостная модель формирования технических требований к вагонам для вывоза грузов с месторождений Западной Сибири». Докладчик — ведущий научный сотрудник НЦ «НПСАП» АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук С. В. Петров.

- «Энергообеспечение линий смешанного движения с высоким заполнением пропускной способности». Докладчик — и. о. директора Центра электрификации и теплоэнергетики (ЦЭТ) АО «ВНИИЖТ» А. А. Крылов.

- «Повышение скоростей движения грузовых вагонов на тележках типа 2». Докладчик — главный научный сотрудник АО «ВНИИЖТ» д-р техн. наук Ю. С. Ромен.

По завершении работы секции были выработаны рекомендации:

1. Организовать на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» сравнительные испытания конструкций инфраструктуры железных дорог, предлагаемых к закупкам для эксплуатации на российских железных дорогах. На первом этапе провести сравнительные испытания шпал совместно со скреплениями на соответствие требованиям ОАО «РЖД» (ресурсные и экологические).

2. Признать целесообразным ежегодное проведение заседаний секции с рассмотрением предложений научных, проектных и учебных организаций отрасли, а также промышленных предприятий. Заседание секции не привязывать к публичным мероприятиям ОАО «РЖД» и проводить на площадках АО «ВНИИЖТ».

3. Рекомендовать руководству Объединенного ученого совета АО «ВНИИЖТ», АО «ИЭРТ», АО «ВНИКТИ» и АО «НИИАС» подготовить обращения ведущих ученых железнодорожного транспорта в Минэкономики, Минпромышленности, Минстрой, Минтранс с просьбой определиться по ответственности и порядку решения вопроса перспективного развития железнодорожного транспорта страны и его технических средств, в том числе актуализации межведомственной нормативной базы.

4. Организовать на базе АО «ВНИИЖТ» семинар по актуализации нормативных требований к проектированию ремонтных работ на инженерных сооружениях с обеспечением несущей способности земляного полотна, малых железобетонных мостов и труб при обращении перспективного подвижного состава.

Модератором-руководителем секции **«Инфраструктура железнодорожного транспорта»** выступил канд. техн. наук А. В. Сухов (фото 6). В работе секции приняли участие представители десяти предприятий (АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ», АО «РЖДстрой», АО «БЭТ» и др.). Всего насчитывалось 18 участников, в том числе 6 участников с докладами.

Ключевые темы секции:

- Проблематика изломов рельсов.
- Методики прогнозирования износов рельсов.
- Перспективы внедрения безбалластных конструкций пути, включая вопросы прогнозирования их ресурса.
- Вопросы содержания верхнего строения пути в части скреплений и технологий сварки.

Заседание секции приветственным словом открыл главный научный сотрудник АО «ВНИИЖТ» д-р техн. наук Е. А. Шур, выступивший с докладом на

тему «Изломы рельсов и сходы из-за них». В докладе проведена систематизация дефектов рельсов по тяжести возможных последствий. На основе проведенного анализа представлены предложения по минимизации рисков сходов.

Заведующий отделом пути и специального подвижного состава АО «ВНИКТИ» канд. техн. наук О. Г. Краснов изложил собственное видение вопроса прогнозирования износа рельсов в разных условиях эксплуатации и представил разработанную специалистами АО «ВНИКТИ» математическую прогнозную модель скорости износа рельсов, которая позволяет организовать планирование смены рельсов на различных участках пути.

Технический директор АО «РЖДстрой» С. В. Никитин представил результаты эксплуатации безбалластной конструкции, разработанной АО «РЖДстрой конструкция» для высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСЖМ).

Начальник конструкторского отдела, заместитель начальника технического управления АО «БЭТ» О. Ю. Воробьев изложил методологию выбора конструкции безбалластного пути, в том числе для ВСЖМ-1 Москва—Санкт-Петербург со скоростью движения до 400 км/ч.

Заведующий лабораторией отдела прочности АО «ВНИКТИ» С. В. Чунин представил доклад на тему «Методика прогнозирования работоспособности бесстыкового пути», в котором изложил методологию подхода к оценке состояния сваренных рельсовых нитей на основе измерения собственных частот колебаний и температуры рельсов, что позволяет определять действительную температуру их закрепления и прогнозировать надежность пути.

Модератором-руководителем секции **«Использование подвижного состава с альтернативными силовыми установками в городских условиях»** выступил заместитель директора НЦ «Тяга поездов» АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук А. В. Заручейский (фото 7). В работе секции приняли участие представители АО «ВНИИЖТ», ПКБ ЦТ, АО «Синара-Транспортные Машины» (АО «СТМ»), АО «ТМХ». Насчитывалось 8 участников, в том числе 4 участника с докладами.

Ключевые темы секции:

- Использование локомотивов с комбинированными силовыми установками (питание от контактного провода и автономной силовой установки).
- Применение локомотивов с накопителями энергии.
- Использование водородных установок на железнодорожном транспорте.
- Экономические аспекты внедрения водородных технологий.

Фото 6. А. В. Сухов
Photo 6. A. V. Sukhov



Фото 7. А. В. Заручейский
Photo 7. A. V. Zarucheyskiy



Инженер АО «ВНИИЖТ» К. В. Стельмашенко представил основные подходы при формировании финансовой модели проекта В-поездов на о. Сахалин, а также различные варианты получения финансовой безубыточности.

Заведующий лабораторией АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук А. Г. Силюта представил доклад на тему «Локомотивы с комбинированными силовыми установками».

Генеральный директор Центра перспективных технологий ТМХ Д. А. Карасев озвучил перспективы использования природного газа в качестве моторного топлива, а также дал оценку реализации перспективных проектов контактно-аккумуляторного электровоза ЭМКА2, пригородного поезда на водородовоздушных топливных элементах для о. Сахалин.

Технический директор АО «СТМ» Л. В. Кузнецов осветил вопросы применения природного газа в качестве моторного топлива, использования накопителей энергии и топливных элементов при создании линейки перспективных маневровых и магистральных локомотивов с целью снижения углеродного следа.

По завершении работы секции были выработаны рекомендации:

1. Активизировать применение локомотивов с комбинированными силовыми установками, что



Фото 8. В. В. Кунгурцев
Photo 8. V. V. Kungurtsev

позволит снизить эксплуатационные расходы, парк локомотивов, время простоя поездов при смене локомотивов, а также повысит пропускную способность станций.

2. В условиях ужесточения требований по выбросам углекислого газа для крупных железнодорожных узлов целесообразно применение тягового подвижного состава с накопителями энергии.

3. Граница области применения накопителей энергии и автономных силовых установок определяется допустимыми массогабаритными показателями накопителя при заданной эксплуатационной работе.

4. Перспективным видом топлива на будущее рассматривается водород, а в качестве силовой установки — энергетическая установка на топливных элементах.

Модератором-руководителем секции «**Техническая диагностика на транспорте**» выступил и. о. директора Научного информационно-аналитического центра (НИАЦ) АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук В. В. Кунгурцев (фото 8). В работе секции приняли участие представители одиннадцати предприятий и организаций (НИАЦ АО «ВНИИЖТ», ООО «Электронные офисные системы» (ООО «ЭОС»), АО НВЦ «Вагоны», ООО НПК «ТЕХНОВОТУМ», АО «БЭТ», ООО НПП «РаТорм», ООО «ДАНЦИГ», АО ВНИКТИ», ЗАО «Позитрон Энерго», Институт машиноведения им. А. А. Благоднарова Российской академии наук (ИМАШ РАН), ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «УрГУПС»)). Всего было зарегистрировано 19 участников, из них 13 участников с докладами.

Ключевая тема секции: системы цифровизации на железнодорожном транспорте и в смежных отраслях, а также вопросы, связанные с системами контроля и мониторинга подвижного состава и пути.

Заседание секции открыл В. В. Кунгурцев с докладом «Техническая диагностика: моря технологий в океане цифровизации».

На заседании секции были заслушаны следующие доклады:

- «Применение AI для извлечения данных, долгосрочного хранения, многомерного анализа данных и предиктивной аналитики на основе реализованных и планируемых к реализации проектов в организациях». Докладчик — руководитель направления ЕСМ-решений ООО «ЭОС» С. В. Полтев.

- «Цифровая программно-аппаратная платформа для автоматизированного мониторинга технического состояния подвижного состава и железнодорожного пути на ходу поезда «РУБЕЖ». Докладчики — генеральный директор АО НВЦ «Вагоны» д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент Академии транспорта России, почетный работник транспорта Ю. П. Бороненко; заместитель руководителя испытательного центра по ходовым видам испытаний АО НВЦ «Вагоны» канд. техн. наук, доцент М. В. Зимакова; первый заместитель генерального директора АО НВЦ «Вагоны» д-р техн. наук, профессор А. В. Третьяков.

- «Применение технологий фазированных решеток для рельсовой диагностики». Докладчик — технический директор ООО НПК «ТЕХНОВОТУМ» А. Н. Федотов.

- «Умная» шпала — инструмент онлайн мониторинга состояния путевой инфраструктуры и подвижного состава. Возможности устройства и перспективы применения». Докладчик — начальник технического управления АО «БЭТ» К. А. Простаков.

Во второй день работы секции (27 августа 2021 г.) обсуждались цифровые двойники и перспективы их разработки на железнодорожном транспорте и цифровые средства для разработки умного подвижного состава.

Заседание секции открыли технический эксперт НИАЦ АО «ВНИИЖТ» д-р техн. наук О. А. Сулов и начальник отдела комплексных инновационных проектов НИАЦ АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук В. И. Федорова с докладом «Цифровые двойники — перспективная основа планирования технического обслуживания железнодорожного пути».

Во второй день работы секции были заслушаны следующие доклады:

- «Цифровой грузовой вагон». Докладчик — генеральный директор ООО НПП «РаТорм» А. В. Ширинкин.

- «Возможности лазерной маркировки несущего троса и контактного провода железной дороги». Докладчик — генеральный директор ООО «ДАНЦИГ» А. Е. Сергеев.

- «Перспективы развития технической диагностики локомотивов». Докладчик — заведующий лабораторией отдела надежности и диагностики АО «ВНИКТИ» М. В. Федотов.

- «Электронные запорно-пломбировочные устройства как основа безопасности и сохранности перевозимых грузов. Профилактика износа железнодорожного полотна и колесных пар путем диагностики и мониторинга превышения нагрузок». Докладчик — технический директор ЗАО «ПозитронЭнерго» С. В. Гусев.

- «Спектральная диагностика в задачах предупреждения аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте». Докладчики — руководитель научной школы ИМАШ РАН д-р техн. наук, профессор Н. А. Махутов; ведущий научный сотрудник ИМАШ РАН член-корреспондент РАН М. М. Гаденин; ведущий научный сотрудник ИМАШ РАН Д. О. Резников; научный сотрудник ИМАШ РАН О. Н. Юдина.

- «Автоматизация неразрушающего контроля с применением роботизированных комплексов». Докладчик — генеральный директор ООО НПК «ТЕХНОВТУМ» А. М. Сляднев.

- «Продуктивное планирование и оценка организации технического обслуживания грузовых вагонов». Докладчик — ассистент кафедры «Вагоны», начальник отдела производственного обучения и связи с производством ФГБОУ ВО «УрГУПС» Г. А. Камаретдинова.

Модератором-руководителем секции **«Городские пассажирские перевозки»** выступил директор НЦ «Высокоскоростные магистрали» АО «ВНИИЖТ» канд. техн. наук Д. Е. Кирюшин (фото 9). В работе секции приняли участие представители десяти российских предприятий и организаций (АО «ВНИИЖТ», АО «НИИАС», АО «ИЭРТ», АО «Центральная пригородная пассажирская компания» (АО «Центральная ППК»), ООО «Сименс Мобильность», ООО «Уральские локомотивы», ООО «ТМХ Инжиниринг», ООО «Проект Транспорт», Ассоциация «Желдорразвитие», общественная организация «Союз пассажиров»). В работе секции участвовали 20 специалистов, в том числе 14 участников с докладами.

Ключевые темы секции:

- Современное состояние и уровень развития городских пассажирских перевозок с использованием железнодорожного транспорта.

- Перспективы развития внутригородских пассажирских перевозок и специальных выделенных линий.

- Интеграция железнодорожной инфраструктуры в пассажирские транспортные системы города.

- Разработка и адаптация пассажирского подвижного состава для городских перевозок — электропоезда, вагоны, совмещенные системы.

- Работа пригородного железнодорожного комплекса в новых экономических условиях. Формирование эксплуатационных моделей для оценки экономической эффективности.

Фото 9. Д. Е. Кирюшин
Photo 9. D. E. Kiryushin



- Внедрение системы автоматического управления движением электропоездов. Новые подходы к управлению пассажирским железнодорожным транспортом.

Заседание секции открыл Д. Е. Кирюшин с докладом «Городские пассажирские перевозки железнодорожным транспортом».

На заседании секции были заслушаны следующие доклады:

- «Создание выделенных пассажирских линий для внутригородских и межрегиональных перевозок». Докладчик — заместитель начальника Центра управления проектами АО «ВНИИЖТ» К. А. Кульгин — рассмотрел основные подходы к созданию облегченных конструкций инфраструктуры для пассажирского подвижного состава.

- «Перспективы создания внутригородских пассажирских перевозок железнодорожным транспортом Санкт-Петербургской агломерации». Докладчик — заместитель заведующего отделением пассажирских перевозок АО «ИЭРТ» Р. Л. Бранзия — проанализировал развитие внутригородских пассажирских перевозок электропоездами в Санкт-Петербурге, а также построение экономически эффективной модели перевозок.

- «Интеграция железнодорожной инфраструктуры в пассажирские транспортные системы городских агломераций с использованием технологии «трамвай—поезд»: технико-технологические и организационно-экономические аспекты». Докладчик — инженер I категории АО «ИЭРТ» К. Ю. Николаев — проанализировал совмещенные транспортные системы для эксплуатации в городе, а также особенности интеграции железнодорожного транспорта (электропоезда) в городскую систему пассажирских перевозок.

- «Организационные и технические вызовы при внедрении системы автоматического управления движением электропоездов». Докладчик — заместитель генерального директора АО «НИИАС» П. А. Попов — доложил о создании систем беспилотного управления железнодорожным подвижным составом и о внедрении

системы эксплуатации электропоездов ЭС2Г «Ласточка» без машиниста на Московском центральном кольце.

- «Применение гибридного тягового привода в проекте легкого рельсового транспорта для города». Докладчик — директор бизнес-подразделения «Подвижной состав» компании ООО «Сименс Мобильность» Д.Г. Кузнецов — рассмотрел особенности использования гибридных транспортных систем для пассажирских перевозок, а также особенности легкорельсового железнодорожного транспорта.

- «Работа пригородного железнодорожного комплекса в новых экономических условиях». Докладчик — президент Ассоциации «Желдорразвитие» А. Б. Кисью — акцентировал внимание на новых подходах для экономически эффективной эксплуатации пригородного и городского железнодорожного пассажирского транспорта.

- «Развитие электропоездов «Ласточка» для городских агломераций. Поколение Бета». Докладчик — руководитель Центра управления проектами ООО «Уральские локомотивы» Г.А. Голубев — отметил особенности конструкции нового электропоезда серии «Ласточка» для эксплуатации в городских условиях и рассмотрел новые проекты компании — «Городская электричка» и «Межрегиональный экспресс».

- «Вагон-платформа: удобство и безопасность». Докладчик — председатель «Союза пассажиров» К.В. Янков — представил данные о формировании новой концепции перевозок с использованием вагонов-платформ, а также о новых трендах развития пассажирского железнодорожного транспорта.

- «Разработка эксплуатационной модели пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в городских агломерациях в целях оценки их экономической эффективности». Докладчик — генеральный директор ООО «Проект Транспорт» Б.В. Богданов — охарактеризовал загруженность улично-дорожной сети в городах-миллионниках, представил анализ потенциальных пассажиропотоков и возможностей инфраструктуры, привел результаты разработки эксплуатационных моделей городских пассажирских перевозок.

- «Новые подходы к управлению пассажирским железнодорожным транспортом». Докладчик — первый заместитель директора Санкт-Петербургского филиала АО «НИИАС» П.Д. Мыльников.

- «Гибридная система управления движением на Московском центральном кольце». Докладчик — начальник отделения разработки систем интервального регулирования движения поездов по радиоканалу АО «НИИАС» И.А. Панферов. В докладе отражены

особенности применения цифровых интеллектуальных систем в управлении движением электропоездов на Московском центральном кольце.

- «Способ оптимизации конструкции кузовов пассажирского подвижного состава». Докладчик — эксперт ООО «ТМХ Инжиниринг» Р.В. Гучинский — представил разработку нового подвижного состава АО «Трансмашхолдинг», а также рассмотрел особенности конструкции и развитие платформы городского электропоезда.

- «Городская электричка в Центральном транспортном узле». Докладчик — директор по обеспечению перевозочной деятельности АО «Центральная ППК» О.С. Ульянов — посвятил свое выступление организации пассажирских перевозок в Центральном транспортном узле Москвы.

По завершении работы секции были выработаны рекомендации:

1. Подготовить предложения для ОАО «РЖД» и департаментов транспорта городов России по научно-техническому сопровождению организации и развития городских пассажирских перевозок в крупных агломерациях.

2. При разработке технических требований для проектирования нового подвижного состава учитывать основные направления развития городских перевозок, потребности пассажиров, особенности воздействия подвижного состава на городскую среду.

3. Рекомендовать использование предложенных на сессии технических и организационных решений в новых проектах организации перевозок пассажиров железнодорожным транспортом.

Пленарное заседание «Железнодорожная наука: Загляни за горизонт». В пленарном заседании конференции приняли участие и.о. заместителя генерального директора — главного инженера ОАО «РЖД» Владимир Евгеньевич Андреев, генеральный директор АО «ВНИИЖТ» Сергей Александрович Виноградов, президент Корейского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта Сек-Юн Хан, председатель Российского профессионального союза железнодорожников и транспортных строителей Сергей Иванович Черногаев и другие руководители профильных организаций и учреждений, а также эксперты отрасли (фото 10).

Владимир Евгеньевич Андреев отметил цифровую трансформацию операционных и бизнес-процессов железнодорожных компаний как один из ключевых элементов комплексной программы инновационного развития. Интероперабельность сервисов — еще одна задача, обозначенная ведущими специалистами ОАО «РЖД» и их зарубежными коллегами.



Фото 10. Рабочие моменты пленарного заседания
Photo 10. Working moments of the plenary session

Как отметил Сергей Александрович Виноградов, цели, которые сейчас ставятся перед железнодорожной отраслью, могут быть достигнуты только при условии консолидации и сотрудничества научного сообщества и промышленности. Мероприятия, подобные состоявшейся конференции, нацелены на создание условий для продуктивного взаимодействия представителей научного сообщества, образовательных организаций, производителей технических средств и разработчиков технологических решений на железных дорогах мира.

Если круглые столы и секции были посвящены конкретным тематическим блокам, то на пленарном заседании был затронут более широкий спектр вопросов инновационного развития железнодорожной науки. Вместе с тем проведенные круглые столы, секции и пленарное заседание показали стратегическую важность тех научных направлений, которые АО «ВНИИЖТ» реализует уже многие годы и даже десятилетия в своих проектах: автоматизированная система «Эльбрус» [1, 2], система управления пасса-

жирскими перевозками «Экспресс» [3], система имитационного моделирования движения поездов [4, 5, 6], высокоскоростные магистрали [7] и многое другое.

На пленарном заседании присутствовало 40 участников, было представлено 10 докладов.

Панельная дискуссия «Наука как ключевой элемент устойчивого развития железных дорог». Панельная дискуссия прошла с участием руководителей ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ», АО «ИЭРТ» и АО «НИИАС», которые представили интересные доклады по направлениям деятельности. В панельной дискуссии приняли участие 42 человека, было представлено 8 докладов руководителей (фото 11, 12).

Конференция завершилась подведением итогов работы секций и награждением лучших докладчиков, которых рекомендовали руководители тематических секций (фото 13):

1. С. Н. Сёмина с докладом на тему «Пути совершенствования взаимодействия операторов контейнерных поездов с перевозчиком».



Фото 11. Президиум панельной дискуссии.
Слева направо: генеральный директор АО «ВНИИЖТ»
С. А. Виноградов, и. о. заместителя генерального директора —
главного инженера ОАО «РЖД» В. Е. Андреев,
первый заместитель генерального директора АО «ВНИИЖТ»
А. Б. Косарев

Photo 11. Presidium of the panel discussion.
From left to right: General Director of JSC “VNIIZHT”
S. A. Vinogradov, Chief Engineer of JSC “RZD”
V. E. Andreev, First Deputy General Director of JSC “VNIIZHT”
A. B. Kosarev



Фото 12. Панельная дискуссия
(рабочий момент)

Photo 12. Panel discussion
(working moment)

2. Д. Ю. Роменский с докладом на тему «От сортировки вагонов к сортировке груза: грузосортировочные хабы на сети железных дорог».

3. Р. Ф. Беглов с докладом на тему «Новые подходы к технико-экономической оценке подвижного состава».

4. К. В. Стельмашенко с докладом на тему «Технико-экономическая оценка эффективности В-поездов на Сахалине».

5. Н. И. Лукин с докладом на тему «Необходимость актуализации действующей нормативной базы».

6. В. Ю. Кирякин с докладом на тему «Актуализация графиков движения поездов при изменении условий пропуска и структуры поездопотока».

7. М. В. Зимакова с докладом на тему «Цифровая программно-аппаратная платформа для автоматизированного мониторинга технического состояния подвижного состава и железнодорожного пути на ходу поезда «РУБЕЖ».

8. К. А. Простаков с докладом на тему «“Умная” шпала — инструмент онлайн мониторинга состояния путевой инфраструктуры и подвижного состава. Возможности устройства и перспективы применения».

9. С. В. Никитин с докладом на тему «Безбалластная конструкция пути для ВСМ. Внедрение и трансфер прорывных технологий инфраструктурного строительства».

10. С. В. Чунин с докладом на тему «Методика прогнозирования работоспособности бесстыкового пути».

11. П. А. Попов с докладом на тему «Организационные и технические вызовы при внедрении системы автоматического управления движением электропоездов».

12. Б. В. Богданов с докладом на тему «Разработка эксплуатационной модели пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в городских агломерациях в целях оценки их экономической эффективности».

В работе тематических секций был задействован 151 активный участник из 68 организаций России, было заслушано очных 103 доклада (121 с учетом удаленных выступлений).

Из залов, где проходили заседания тематических секций, планарное заседание и панельная дискуссия, велись прямые трансляции с синхронным переводом на английский язык, таким образом, присоединившаяся дистанционно аудитория сделала участие в конференции более широким.

В целом в работе конференции очно приняли участие 233 человека, онлайн-аудитория составила 282 человека. Таким образом, аудитория конференции составила более 500 человек, что для нового мероприятия, несомненно, хороший результат (для сравнения: в конференции ИННА участвует около 600–700 человек, а в конференции МСЖД — около 200–300 человек при большем продвижении).

Руководителями рабочих секций, а также участниками пленарного заседания и панельной дискуссии были выработаны предложения, которые включены в общее решение по конференции.



Фото 13. Награждение лучших докладчиков. Слева направо: М. В. Зимакова и С. А. Виноградов, К. В. Стельмашенко и С. А. Виноградов, Д. Ю. Роменский и С. А. Виноградов
Photo 13. Awarding the best speakers. From left to right: M. V. Zimakova and S. A. Vinogradov, K. V. Stelmashenko and S. A. Vinogradov, D. Yu. Romenskiy and S. A. Vinogradov

Заключение. Первую Международную научно-практическую конференцию «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт» можно считать состоявшейся. Цели ее проведения были успешно реализованы, число участников намного превзошло ожидания организаторов, доклады и круглые столы были проведены на высоком научном уровне.

В то же время полученный опыт и отзывы участников показали, что ежегодное проведение этой конференции нецелесообразно, так как необходим некоторый временной лаг для накопления научных и практических результатов. Только затем их осмысление и обсуждение в формате конференции будут максимально продуктивными. В этой связи предполагается организовывать конференцию «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт» один раз в два года. Таким образом, следующая, II Международная научно-практическая конференция «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт» состоится в 2023 году.

Приглашаем заглянуть за горизонт железнодорожной науки в 2023 году!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полигонные технологии движения поездов по графикам на основе автоматизированной системы «Эльбрус» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2015. № 3. С. 13–19.
2. Инновационный проект «Эльбрус» / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2013. № 12. С. 18–25.
3. АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте / Г. А. Антонова [и др.]; под ред. А. В. Комиссарова. 2-е изд. М.: РАС, 2019. 164 с. (Труды ученых АО «ВНИИЖТ»).

4. Виноградов С. А., Кирякин В. Ю., Анфиногенов А. Ю. Прогнозные энергосберегающие графики движения поездов // Железнодорожный транспорт. 2011. № 8. С. 22–25.

5. Имитационное моделирование в задачах организации движения поездов: сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ» / Л. А. Мугинштейн [и др.]; под ред. Л. А. Мугинштейна. М.: Интекст, 2012. 55 с. (Труды ОАО «ВНИИЖТ»).

6. Виноградов С. А. О ходе работы «разработка системы построения прогнозных энергосберегающих графиков движения поездов на направлении Исылькуль—Инская Западно-Сибирской железной дороги» // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2012. № 3. С. 32–39.

7. Косарев А. Б., Назаров О. Н. Научная поддержка развития высокоскоростного движения // Железнодорожный транспорт. 2008. № 4. С. 23–26.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОСАРЕВ Александр Борисович,
д-р техн. наук, профессор, первый заместитель
генерального директора, АО «ВНИИЖТ»

РИМСКАЯ Ольга Николаевна,
канд. экон. наук, доцент, руководитель
научно-образовательного комплекса, АО «ВНИИЖТ»

АНОХОВ Игорь Васильевич,
канд. экон. наук, доцент, заместитель начальника,
научно-издательский отдел, АО «ВНИИЖТ»

ЗАРУЧЕЙСКИЙ Андрей Викторович,
канд. техн. наук, заместитель директора, научный центр «Тяга поездов», АО «ВНИИЖТ»

ГОРШКОВ Никита Михайлович,
начальник Центра коммерческого развития и международного
сотрудничества, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 07.09.2021 г., принята к публикации 27.09.2021 г.

Для цитирования: Железнодорожная наука: итоги I Международной научно-практической конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт» / А. Б. Косарев [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 5. С. 301–314. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-301-314>.

Railway Science: Results of the I International Scientific and Practical Conference “Research 1520 VNIIZHT: Look Beyond the Horizons”

A. B. KOSAREV, O. N. RIMSKAYA, I. V. ANOKHOV, A. V. ZARUCHEYSKIY, N. M. GORSHKOV

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

Abstract. In a constantly changing world, any production activity, including transport, requires scientific support, which, in turn, involves the active participation of scientists, as well as the possibility of exchanging views between theorists and practitioners. One of the most effective formats for this is a scientific conference, which allows discussing long-term trends in the development of the industry and ways of early adaptation to them. In the railway sector, scientific conferences have become a regular and effective tool for discussing promising trends in the industry.

President of the Russian Federation Vladimir Putin declared 2021 the Year of Science and Technology. In this regard, it is symbolic that on August 26–27, 2021, the 1st International Scientific and Practical Conference “Science 1520 VNIIZHT: Look Beyond the Horizons” was held on the territory of Test Loop of the JSC “VNIIZHT”. The JSC Railway Research Institute, a leader in the development, creation, testing and implementation of railway equipment and technologies in the 1520 mm track space organized the conference. At the conference, reports were presented both by practitioners and acting managers, and by theoretical scientists. The conference was organized in the form of parallel working sections, the main results of which were discussed at a panel discussion. According to the presentation of the heads of the thematic sections, the best speakers were awarded with diplomas, including many young scientists. According to the assessments of managers and employees of railway enterprises and suppliers, the conference was a useful and long-awaited international event in railway science and practice.

Keywords: international conference; VNIIZHT; 1520; Test Loop; railways; 2021; Year of Science and Technology

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-301-314>

REFERENCES

1. Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Novgorodtseva A. V. *Poligonnyye tekhnologii dvizheniya poezdov po grafikam na osnove avtomatizirovannoy sistemy “El’brus”* [Polygon technologies for train operation according to schedules based on the automated system “Elbrus”]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2015, no. 3, pp. 13–19.
2. Muginshteyn L. A., Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Lyashko O. V., Anfinogenov A. Yu., Yabko I. A. *Innovatsionnyy proekt “El’brus”* [Innovative project “Elbrus”]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2013, no. 12, pp. 18–25.
3. Antonova G. A., Babenko A. S., Berezka M. P., Bobrenkov M. I., Gavrina Yu. A., Gnisyuk T. V., Gupalenko M. A., Dobychina V. A. [et al.]. *ASU “EKSPRESS” — avtomatizirovannaya sistema upravleniya passazhirkimi perevozkami na zheleznodorozhnom transporte* [ACS “EXPRESS” — automated control system of passenger transport

tation by railway]. 2-e izd. [2nd edition]. Moscow, RAS Publ., 2019, 164 p. Ser. *Trudy uchenykh AO “VNIIZHT”* [Series “Works of scientists of JSC “VNIIZHT”].

4. Vinogradov S. A., Kiryakin V. Yu., Anfinogenov A. Yu. *Prognoznyye energosberegayushchie grafiki dvizheniya poezdov* [Predictable energy-saving train schedules]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2011, no 8, pp. 22–25.

5. Anfinogenov A. Yu., Kiryakin V. Yu., Vinogradov S. A., Lyashko O. V., Ponarin L. N., Muginshteyn L. A. *Imitatsionnoye modelirovaniye v zadachakh organizatsii dvizheniya poezdov* [Simulation modeling in the tasks of organizing train operation]. *Sb. tr. uchenykh OAO “VNIIZHT”* [Coll. of works of scientists of JSC “VNIIZHT”]. Moscow, Intext Publ., 2012, 55 p. Ser. *Trudy uchenykh OAO “VNIIZHT”* [Series “Works of scientists of JSC “VNIIZHT”].

6. Vinogradov S. A. *O khode raboty “razrabotka sistemy postroyeniya prognoznnykh energosberegayushchikh grafikov dvizheniya poezdov na napravlenii Isil’kul’ — Inskaya Zapadno-Sibirskoy zheleznoy dorogi”* [On the progress of work “development of a system for constructing predictive energy-saving train schedules on the Isilkul—Inskaya West Siberian railway”]. *Bulletin of Joint Scientific Council of JSC Russian Railways*, 2012, no. 3, pp. 32–39.

7. Kosarev A. B., Nazarov O. N. *Nauchnaya podderzhka razvitiya vysokoskorostnogo dvizheniya* [Scientific support for the development of high-speed traffic]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2008, no. 4, pp. 23–26.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksander B. KOSAREV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, First Deputy General Director, JSC “VNIIZHT”

Ol’ga N. RIMSKAYA,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Scientific and Educational Complex, JSC “VNIIZHT”

Igor’ V. ANOKHOV,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Deputy Head, Scientific Publishing Department, JSC “VNIIZHT”

Andrey V. ZARUCHEYSKIY,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director, Scientific Center “Train Traction”, JSC “VNIIZHT”

Nikita M. GORSHKOV,

Head of the Center for Commercial Development and International Cooperation, JSC “VNIIZHT”

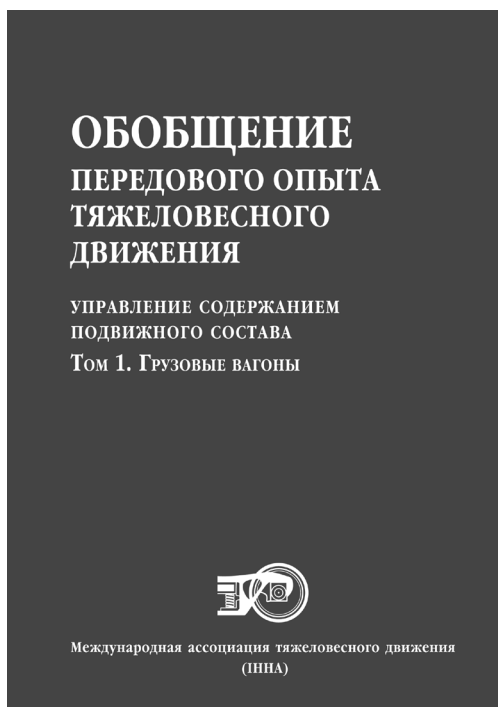
Received 07.09.2021

Accepted 27.09.2021

■ E-mail: Anokhov.Igor@vniizht.ru (I. V. Anokhov)

For citation: Kosarev A. B., Rimskaya O. N., Anokhov I. V., Zarucheytskiy A. V., Gorshkov N. M. Railway Science: Results of the I International Scientific and Practical Conference “Research 1520 VNIIZHT: Look Beyond the Horizons” // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (5): 301–314 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-5-301-314>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ



Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием подвижного состава. Том 1. Грузовые вагоны / пер. с англ. под ред. С. М. Захарова. — М.: АО «ВНИИЖТ», 2021. — 456 с.

Рассмотрены базовые аспекты, связанные с созданием и эксплуатацией грузовых вагонов. Приведены общие соображения, касающиеся способов повышения провозной способности железных дорог, производительности перевозочного процесса. Представлен пример обзора конструкций грузовых вагонов. Даны методические основы анализа и испытаний, проводимых с целью выяснения эксплуатационного ресурса по усталостной долговечности грузовых вагонов и их компонентов. Приведены экономические соображения, касающиеся применения затрат жизненного цикла для определения суммарной стоимости владения вагоном до конца срока службы. Кратко описаны современные методы компьютерного моделирования усталостных проявлений в контактах качения и процедуры испытаний. Освещается передовой опыт контроля технического состояния, технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. Рассмотрены мероприятия технического обслуживания и ремонта и особенности нормативно-правового регулирования технической эксплуатации грузовых вагонов разных стран. Описаны средства мониторинга технического состояния грузовых вагонов и поездов непосредственно в процессе движения. Приведена информация о ряде напольных систем мониторинга. Представлено несколько примеров опыта использования напольных систем мониторинга технического состояния железнодорожного подвижного состава. Рассмотрены аспекты, которые необходимо иметь в виду при разработке технического задания на приобретение вагонов.

В конце книги приведен словарь использованных терминов и их эквивалентов на английском языке и даны определения, расшифровывающие термины.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами железнодорожного транспорта, и студентов, изучающих данные проблемы.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Современный этап развития железных дорог связан с разработкой и внедрением инновационных технологий для создания подвижного состава, управления движением, интеллектуального мониторинга, технического обслуживания и управления состоянием.

Одним из перспективных направлений развития железнодорожного транспорта в России является совершенствование технологий тяжеловесного движения, позволяющих повысить пропускную способность, особенно на направлениях, где ее резервы уже исчерпаны или близки к исчерпанию. В этой связи особенно ценен опыт железных дорог тех стран, которые развивают тяжеловесное движение и используют для этой цели новейшие технологии.

Обобщением и распространением мирового опыта в данной области занимается Международная ассоциация тяжеловесного движения (ИНА), в которую входят железные дороги и организации Австралии, Бразилии, Индии, Канады, Китая, России, США, Швеции, Норвегии, Южной Африки, а также Международный союз железных дорог (МСЖД). Ассоциация осуществляет эту миссию посредством проведения регулярных международных конференций ИНА, семинаров, посвященных отдельным вопросам технологий тяжеловесного движения, а также издания книг, обобщающих опыт железных дорог стран, входящих в ассоциацию.

Начиная с 2001 г. издано три книги, посвященные базовым вопросам взаимодействия колеса и рельса (первая книга), конструкции и содержанию железнодорожной инфраструктуры (вторая книга), управлению содержанием системы колесо—рельс (третья книга).

Особенностями изданий было то, что в их написании приняли участие специалисты разных стран, которые имели большой непосредственный опыт в конкретной области тяжеловесного движения. Важен был также подход, принятый ИННА с самого начала этого проекта: сложные явления, происходящие в системе подвижной состав—путь, описываются достаточно подробно и в то же время доступно для понимания железнодорожными специалистами разного уровня образования и подготовки.

После выхода книг на английском языке с согласия Международной ассоциации тяжеловесного движения ВНИИЖТом совместно с издательством «Интекст» были выпущены русские издания этих книг, получившие признание у специалистов.

Предлагаемый вниманию читателей первый том четвертой книги ИННА, посвященный конструкции и содержанию вагонов, рассматривает проблему системно и отвечает на актуальные вопросы, связанные с провозной способностью, влияющими на нее основными факторами, принципами создания вагонов с учетом экономических аспектов, способами определения усталостной стойкости вагонов и их компонентов при испытаниях и в эксплуатации, взаимодействием вагона и пути, факторами, вызывающими контактно-усталостные повреждения и износ компонентов.

Авторы книги уделили внимание стандартам, применяемым на железных дорогах разных стран, примерам создания специализированных вагонов, организации ремонтных предприятий, обеспечивающих автоматизацию работ и функционирующих как производственные линии, что проиллюстрировано на примере ремонтного предприятия железной дороги Rio Tinto в Австралии.

Большой интерес представляют опыт и примеры применения различных средств определения состояния вагонов, включая быстродействующие системы машинного зрения, акустического мониторинга компонентов вагонов, технологии работы с большими объемами данных, полученных из разных источников мониторинга.

Автоматизированный анализ данных и передача информации владельцам вагонов помогают планировать техническое обслуживание и своевременный ремонт, тем самым обеспечивая возможность управления состоянием вагонов.

Особенности условий Российских железных дорог — смешанное грузовое и пассажирское движение, сложный профиль пути, большие расстояния, суровый климат, необходимость рационального управления поездами и обеспечения безопасной эксплуатации при высоком уровне грузонапряженности требуют применения современных технологий, которые разработаны и продолжают разрабатываться в России. Изучение международного опыта будет способствовать созданию более эффективных технических решений и технологий.

Хотел бы вынести благодарность авторам, переводчикам и редакторам русского издания книг за многолетнее участие в авторском коллективе данного и всех предыдущих томов, из которых имеется возможность почерпнуть знания как зарубежного опыта, так и вклада нашей отечественной науки и техники в мировые тренды развития тяжеловесного движения в мире.

Представляется, что вместе с вышедшими ранее книгами и вторым томом данной книги серия книг «Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения» становится своего рода энциклопедией тяжеловесного движения.

С. А. Виноградов,

генеральный директор АО «ВНИИЖТ»



ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

«Вестник научно-исследовательского института
железнодорожного транспорта»

Подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» можно оформить:



по электронному каталогу
«Пресса России» на сайте
<https://www.pressa-rf.ru>



через подписное агентство «АРЗИ»:
тел. +7(495) 172-46-47
e-mail: public@pressa-rf.ru



по электронному каталогу
«Урал-пресс» на сайте
<http://www.ural-press.ru>



Журнал «Вестник ВНИИЖТ» также можно приобрести
непосредственно в научно-издательском отделе АО «ВНИИЖТ».

Заявки принимаются по e-mail: journal@vniizht.ru
или по телефонам: 8-495-602-84-56, 8-499-260-43-20

Подписной индекс журнала: **70116**



<https://www.journal-vniizht.ru>



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ТРАНСПОРТ
РОССИИ

XV МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА

16 – 18 ноября 2021 | Москва, «Гостиный Двор»

ТРАНСПОРТНАЯ
НЕДЕЛЯ
2021

СКОРОСТЬ
БЕЗОПАСНОСТЬ
DIGITAL
ЦИФРОВИЗАЦИЯ
TRANSPORT
www.transweek.digital
ИННОВАЦИИ