



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



ВЕСТНИК НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА RUSSIAN RAILWAY SCIENCE JOURNAL

Том 83, №2. 2024

215
1809 – 2024



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ТРАНСПОРТ
РОССИИ



ТРАНСПОРТ РОССИИ

XVI

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА

TRANSPORT OF RUSSIA | INTERNATIONAL FORUM AND EXHIBITION

19-21 НОЯБРЯ
NOVEMBER 2024



Москва, Гостиный Двор
Moscow, Gostiny Dvor

TRANSWEEK.DIGITAL

ISSN 2223–9731 (Print)

ISSN 2713–2560 (Online)

ВЕСТНИК
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
(ВЕСТНИК ВНИИЖТ)

RUSSIAN RAILWAY SCIENCE JOURNAL
(VESTNIK VNIIZHT)

ТОМ 83, № 2. 2024

Учредитель:
АО «Научно-исследовательский
институт железнодорожного транспорта»

Адрес учредителя и редакции:
129626, Российская Федерация,
Москва, 3-я Мытищинская ул., 10
Тел.: +7 (495) 602-80-37, 602-81-10

Издатель:
Издательский дом «ИПП «КУНА»,
125167, Российская Федерация,
Москва, Ленинградский пр., д. 47, стр. 4
Тел. +7 (495) 795-02-97

Издается с 1942 г.
Периодичность: 4 номера в год
Подписной индекс: 70116
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-83067 от 11.04.2022

Founder:
Railway Research Institute

Founder and editorial address:
10, 3rd Mytishchinskaya St., Moscow, 129626,
Russian Federation
Tel.: +7 (495) 602 8037, 602 8110

Publisher:
JSC "IPP "KUNA",
47, bldg. 4, Leningradskiy Ave., Moscow, 125167,
Russian Federation. Tel.: +7 (495) 795 0297

Published since 1942
Periodicity: Quarterly
Subscription index: 70116
Registration Certificate
PI No. FS77-83067. 11.04.2022

www.journal-vniizht.ru
journal@vniizht.ru

© АО «ВНИИЖТ», 2024

Цель журнала «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» — публикация результатов передовых научных исследований в области совершенствования транспортных, информационных технологий и технических средств железнодорожного транспорта. Журнал адресован исследователям, аналитикам и практикам железнодорожной и машиностроительной отраслей, а также широкому кругу читателей, интересующихся проблемами развития железнодорожного транспорта.

Научный рецензируемый журнал «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» публикует оригинальные научные статьи, ранее не публиковавшиеся в других изданиях.

Журнал предоставляет открытый доступ к полным текстам публикаций, исходя из следующего принципа: открытый доступ к результатам исследований способствует увеличению глобального обмена знаниями.

«Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» 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 по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

- 2.5.2. Машиноведение (технические науки)
- 2.5.3. Трение и износ в машинах (технические науки)
- 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
- 2.6.17. Материаловедение (технические науки)
- 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог (технические науки)
- 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки)
- 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)

ЖУРНАЛ ИНДЕКСИРУЕТСЯ И АРХИВИРУЕТСЯ В:

Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)



Международной справочно-библиографической системе EBSCO



Китайской платформе наукометрических данных Baidu



Китайской платформе наукометрических данных
China National Knowledge Infrastructure



Международной реферативной базе Ulrichsweb Global Serials Directory



Международной базе открытых публикаций Google Академия



Международной электронно-библиотечной системе The European Library



Электронном каталоге научно-технической литературы ВИНТИ РАН



Международной базе Dimensions



ЖУРНАЛ ЯВЛЯЕТСЯ ЧЛЕНОМ

Директории журналов открытого доступа (DOAJ)



Агентства регистрации цифровых идентификаторов (CrossRef)



Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License



Право на оригинал-макет и оформление принадлежит учредителю журнала, авторское право на статьи – авторам

The aim of the Russian Railway Science Journal is to publish the results of research insights in the field of improving transport and information technologies and technical means of railway transport. The journal is addressed to researchers, analysts and practitioners of the railway and engineering industries, as well as to a wide range of readers interested in the problems of railway transport development.

The scientific peer-reviewed Russian Railway Science Journal publishes original scientific articles, which have not been previously published.

The journal provides direct open access to full text issues — open access to research results contributes to the increase of global knowledge sharing.

The Russian Railway Science Journal is included in the List of peer-reviewed scientific journals published by the Attestation Commission in which major research results from dissertations of Candidate of Science and Doctor of Science degrees are to be published. Scientific specialties and corresponding branches of science are:

- 2.5.2. Machine science (technical sciences)
- 2.5.3. Friction and wear in machines (technical sciences)
- 2.6.1. Metal science and heat treatment of metals and alloys (technical sciences)
- 2.6.17. Materials science (technical sciences)
- 2.9.2. Railway track, survey and design of railways (technical sciences)
- 2.9.3. Railway rolling stock, train traction and electrification (technical sciences)
- 2.9.4. Transportation process management (technical sciences)

THE JOURNAL IS INDEXED AND ARCHIVED IN:

Russian Science Citation Index 

EBSCO Information Services 

Baidu 

China National Knowledge Infrastructure (CNKI) 

Ulrichsweb Global Serials Directory 

Google Scholar 

The European Library 

Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI RAS) 

Dimensions 

THE JOURNAL IS A MEMBER OF

the Directory of Open Access Journals (DOAJ) 

the Digital Object Identifier Registration Agency (CrossRef) 

Journal materials are available under the Creative Commons Attribution 4.0 License



The right to the original layout and design belongs to the founder of the journal, the right of authorship to the articles belongs to the authors

Главный редактор

Косарев Александр Борисович, д-р техн. наук, проф., первый заместитель генерального директора АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 352781, <https://orcid.org/0000-0001-9684-036X>

Заместитель главного редактора

Карасев Михаил Николаевич, канд. юрид. наук, директор научно-образовательного центра, АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 337912, <https://orcid.org/0009-0008-5190-409X>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абдурахманов Одил Каландарович, д-р экон. наук, проф., ректор, Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан, Author ID: 813993, <https://orcid.org/0009-0008-8033-4153>

Бессоненко Сергей Анатольевич, д-р техн. наук, доцент, СГУПС, Новосибирск, Российская Федерация, Author ID: 719058, <https://orcid.org/0000-0001-5782-1596>

Верескун Владимир Дмитриевич, д-р техн. наук, проф., ректор, РГУПС, Ростов-на-Дону, Российская Федерация, Author ID: 513710, <https://orcid.org/0000-0002-9547-8167>

Глюзберг Борис Эйнихович, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 298472, <https://orcid.org/0000-0003-2430-7894>

Гуламов Абдулазиз Абдуллаевич, д-р экон. наук, проф., проректор по учебной работе, Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан, Author ID: 583321, <https://orcid.org/0000-0002-4702-7468>

Дунаев Олег Николаевич, д-р экон. наук, проф., МГИМО, Москва, Российская Федерация, Author ID: 315899, <https://orcid.org/0000-0002-0593-1029>

Ерофеев Михаил Николаевич, д-р техн. наук, проф., ИМАШ РАН, Москва, Российская Федерация, Author ID: 836604, <https://orcid.org/0000-0002-1048-3574>

Захаров Сергей Михайлович, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 731500, <https://orcid.org/0000-0003-0077-8376>

Кудрявцев Сергей Анатольевич, член-корреспондент РААСН, д-р техн. наук, проф., ДВГУПС, Хабаровск, Российская Федерация, Author ID: 614674, <https://orcid.org/0000-0001-9438-5033>

Куммер Себастьян, д-р экономики, проф., Венский экономический университет, Институт транспорта и логистики, Вена, Австрия, <https://orcid.org/0000-0002-4840-5256>

Кучумов Владислав Алексеевич, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 700131, <https://orcid.org/0000-0003-4025-4155>

Ли Сюэй, д-р наук, проф., Пекинский транспортный университет, Пекин, КНР

Мирошниченко Ольга Федоровна, д-р экон. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 384947, <https://orcid.org/0000-0002-3049-5476>

Науменко Сергей Николаевич, д-р техн. наук, ученый секретарь, АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 722006, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

Овчаренко Сергей Михайлович, д-р техн. наук, доцент, ректор, ОмГУПС, Омск, Российская Федерация, Author ID: 211825, <https://orcid.org/0000-0002-2985-3934>

Савин Александр Владимирович, д-р техн. наук, доцент, директор научного центра, АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 426312, <https://orcid.org/0000-0002-5561-5454>

Сирина Нина Фридриховна, д-р техн. наук, доцент, УрГУПС, Екатеринбург, Российская Федерация, Author ID: 436265, <https://orcid.org/0000-0001-9691-5181>

Фёдоров Сергей Васильевич, д-р техн. наук, проф., КГТУ, Калининград, Российская Федерация, Author ID: 617155, <https://orcid.org/0000-0003-3104-9862>

Фокс-Рабинович Герман Симонович, д-р техн. наук, Университет Макмастера, Гамильтон, Канада, <https://orcid.org/0000-0002-0258-587X>

Шаумаров Саид Санатович, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе и инновациям, Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан, Author ID: 914211, <https://orcid.org/0000-0001-8935-7513>

Шимановский Александр Олегович, д-р техн. наук, проф., Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь, Author ID: 481473, <https://orcid.org/0000-0001-8550-1725>

Шур Евгений Авелевич, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 764128, <https://orcid.org/0000-0003-4248-195X>

Эсвельд Конрад, д-р техн. наук, проф. железнодорожной инженерии, Делфтский технологический университет, Делфт, Нидерланды

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Виноградов Сергей Александрович, председатель, канд. техн. наук, генеральный директор АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация

Горячева Ирина Георгиевна, д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН, ИПМех РАН, Москва, Российская Федерация

Дынькин Борис Евгеньевич, д-р техн. наук, проф., почетный президент МАТУ АТР, РГУПС, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Колесников Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф., академик РАН, РГУПС, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Липидус Борис Моисеевич, д-р экон. наук, проф., председатель Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», Москва, Российская Федерация

Махутов Николай Андреевич, д-р техн. наук, проф., член-корреспондент РАН, ИМАШ РАН, Москва, Российская Федерация

Мачерет Дмитрий Александрович, д-р экон. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация

Мугинштейн Лев Александрович, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация

Назаров Олег Николаевич, канд. техн. наук, ОАО «РЖД», Москва, Российская Федерация

Розенберг Ефим Наумович, д-р техн. наук, проф., первый заместитель генерального директора АО «НИИАС», Москва, Российская Федерация

Смолянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, проф., УрГУПС, Екатеринбург, Российская Федерация

РЕДАКЦИЯ

Анохов Игорь Васильевич, начальник научно-издательского отдела,

Сиротенко Игорь Васильевич, научный редактор,

Редина Анна Эдуардовна, специалист,

Барашков Владислав Владимирович, руководитель группы дизайна

Поступившие в редакцию материалы не возвращаются. Гонорары не выплачиваются. Все статьи публикуются бесплатно.

Подписано к печати 27.06.2024. Формат бумаги 60×90 1/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 11,5. Тираж 300 экз. Заказ 168402. Цена свободная

Editor-in-Chief

Alexander B. Kosarev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, First Deputy General Director of the Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 352781, <https://orcid.org/0000-0001-9684-036X>

Deputy Editor-in-Chief

Mikhail N. Karasev, Cand. Sci. (Jur.), Director of the Science and Education Center, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 337912, <https://orcid.org/0009-0008-5190-409X>

EDITORIAL BOARD

Odil K. Abdurakhmanov, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Rector of the Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan, Author ID: 813993, <https://orcid.org/0009-0008-8033-4153>

Sergey A. Bessonenko, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation, Author ID: 719058, <https://orcid.org/0000-0001-5782-1596>

Vladimir D. Vereskun, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Rector of the Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation, Author ID: 513710, <https://orcid.org/0000-0002-9547-8167>

Boris E. Glyzberg, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 298472, <https://orcid.org/0000-0003-2430-7894>

Abdulaziz A. Gulamov, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Vice Rector for Academic Affairs, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan, Author ID: 583321, <https://orcid.org/0000-0002-4702-7468>

Oleg N. Dunaev, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Moscow State Institute of International Relations, Moscow, Russian Federation, Author ID: 315899, <https://orcid.org/0000-0002-0593-1029>

Mikhail N. Erofeev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, Author ID: 836604, <https://orcid.org/0000-0002-1048-3574>

Sergey M. Zakharov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 731500, <https://orcid.org/0000-0003-0077-8376>

Sergey A. Kudryavtsev, Corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russian Federation, Author ID: 614674, <https://orcid.org/0000-0001-9438-5033>

Sebastian Kummer, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Vienna University of Economics and Business, Vienna, Austria, <https://orcid.org/0000-0002-4840-5256>

Vladislav V. Kuchumov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 700131, <https://orcid.org/0000-0003-4025-4155>

Li Xuwei, Dr. Sci., Professor, Vice-President of the Engineering Union of China Transport System, Beijing Jiaotong University, China

Olga F. Miroshnichenko, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 384947, <https://orcid.org/0000-0002-3049-5476>

Sergey N. Naumenko, Dr. Sci. (Eng.), Scientific Secretary, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 722006, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

Sergey M. Ovcharenko, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Rector of the Omsk State Transport University, Omsk, Russian Federation, Author ID: 211825, <https://orcid.org/0000-0002-2985-3934>

Alexander V. Savin, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Director of the Scientific Center, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 426312, <https://orcid.org/0000-0002-5561-5454>

Nina F. Sirina, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russian Federation, Author ID: 436265, <https://orcid.org/0000-0001-9691-5181>

Sergey V. Fedorov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation, Author ID: 617155, <https://orcid.org/0000-0003-3104-9862>

German S. Fox-Rabinovich, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher of McMaster Engineering University, Hamilton, Ontario, Canada, <https://orcid.org/0000-0002-0258-587X>

Said S. Shaumarov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice Rector for Research and Innovation, Tashkent State Transport University, Uzbekistan, Tashkent, Author ID: 914211, <https://orcid.org/0000-0001-8935-7513>

Alexandr O. Shimanovsky, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus, Author ID: 481473, <https://orcid.org/0000-0001-8550-1725>

Evgeniy A. Schur, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation, Author ID: 764128, <https://orcid.org/0000-0003-4248-195X>

Coenraad Esveld, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Delft Technical University, General Director of the "Esveld Consulting Services", Delft, Netherlands

EDITORIAL COUNCIL

Sergey A. Vinogradov, Chairman, Cand. Sci. (Eng.), General Director of the Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation

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

Boris E. Dynkin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honored President of the IATU APC, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Vladimir I. Kolesnikov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Boris M. Lapidus, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chairman of the Joint Scientific Council of the Russian Railways Company, Moscow, Russian Federation

Nikolay A. Makhutov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding Member of

the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Dmitriy A. Macheret, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation

Lev A. Muginshtein, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Railway Research Institute, Moscow, Russian Federation

Oleg N. Nazarov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the Technical Policy Department, Russian Railways Company, Moscow, Russian Federation

Efim N. Rosenberg, Dr. Sci. (Eng.), Professor, First Deputy General Director of the Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transportation, Moscow, Russian Federation

Alexander V. Smolyaninov, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Wagon Department, Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russian Federation

EDITORIAL STAFF

Igor V. Anokhov, Head of the Scientific Publishing Department,

Igor V. Sirotenko, Scientific Editor,

Anna E. Redina, Specialist,

Vladislav V. Barashkov, Head of the Design Group

Received materials are not returned. Fees are not paid. All articles are published free of charge.

Signed to print on 27.06.2024. Format is 60×90 1/8. Offset printing. 11.5 printed sheets. 300 copies. Order No. 168402. Free price

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Нагруженность и износ автосцепок в пассажирском вагоне локомотивной тяги
А. В. Белянкин, В. В. Балакин, В. К. Мешков, М. А. Федоров 101–110

Разработка новых ремонтных профилей рельсов для различных условий эксплуатации
О. А. Сулов, И. В. Хромов 111–123

Кривые контактной усталости рельсовой стали
В. И. Сакало, А. В. Сакало 124–135

Определение дополнительного сопротивления движению поезда от подвагонных генераторов на основе анализа кривой скорости
И. О. Лобыцин, И. А. Панков, В. В. Федин, Н. А. Баранов,
К. И. Шведин, С. О. Литвинцев 136–147

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Автоматизация измерения стыковых зазоров рельсового пути магнитным методом
А. А. Марков, А. Г. Антипов, Е. А. Максимова 149–160

Комплексная оценка обращения скоростных пассажирских поездов на существующей железнодорожной инфраструктуре в Сибирском федеральном округе
Е. В. Климова 161–174

ВНИИЖТ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

Анатолий Петрович Абрамов — патриарх экономической транспортной науки
Л. А. Мазо, О. Ф. Мирошниченко, Е. Н. Ефимова, Г. Е. Писаревский 176–182

CONTENTS

TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Load and wear of automatic couplers in locomotive traction passenger car

Alexey V. Belyankin, Vadim V. Balakin, Vladimir K. Meshkov, Maksim A. Fedorov 101–110

Development of new rail repair profiles for different operating conditions

Oleg A. Suslov, Ilya V. Khromov 111–123

Rail steel contact fatigue curves

Vladimir I. Sakalo, Alexey V. Sakalo 124–135

Speed curve analysis-based determination of additional resistance to train motion from undercarriage generators

Igor O. Lobytin, Igor A. Pankov, Vladislav V. Fedin, Nikolay A. Baranov,
Konstantin I. Shvedin, Sergey O. Litvintsev 136–147

AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN RAILWAY TRANSPORT

Magnetic method of rail track joint gaps automated measurement

Anatoly A. Markov, Andrey G. Antipov, Ekaterina A. Maksimova 149–160

Comprehensive assessment of high-speed passenger trains circulation on the existing railway infrastructure in the Siberian Federal District

Ekaterina V. Klimova 161–174

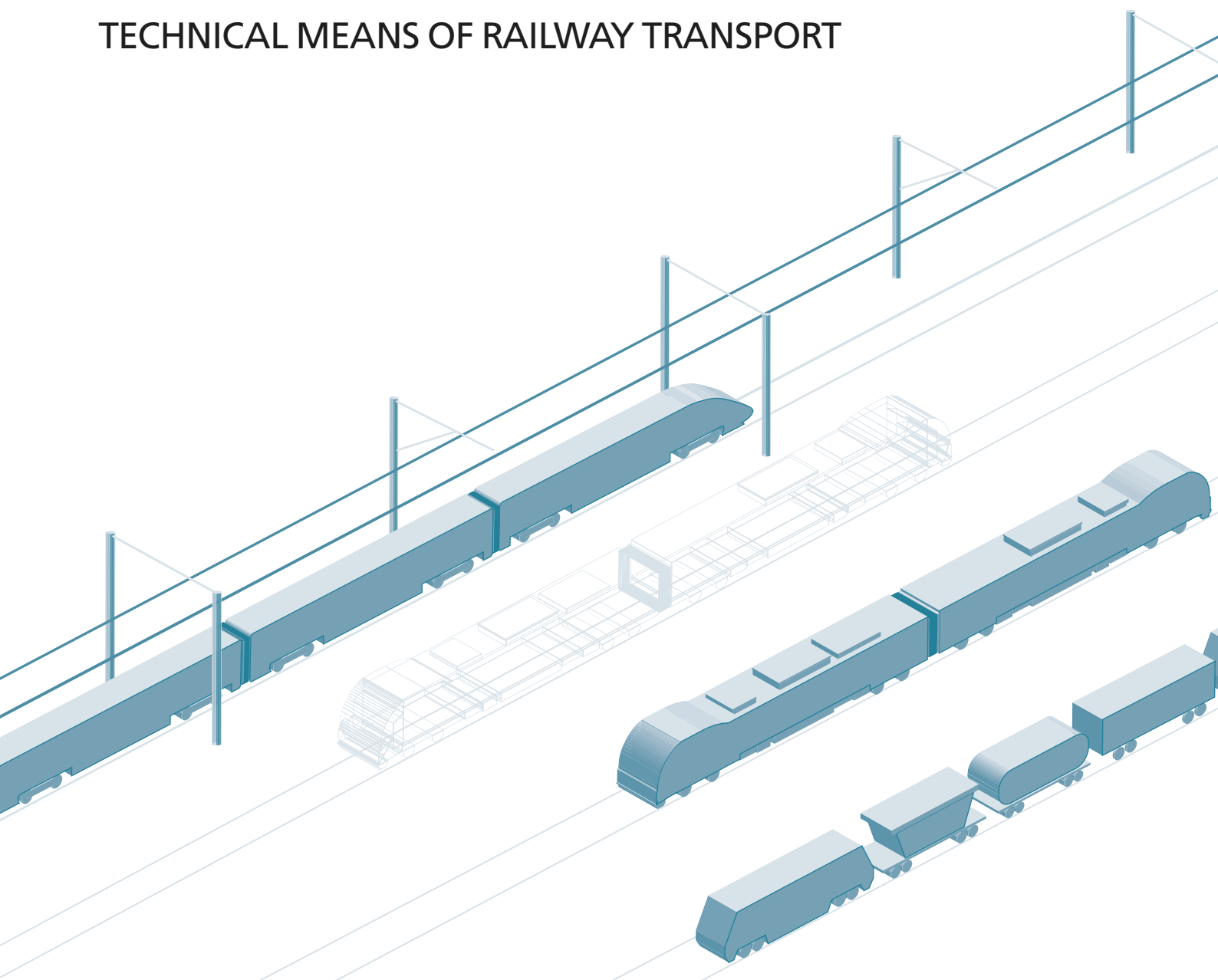
VNIIZHT: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW

Anatoliy Petrovich Abramov, patriarch of economic transport science

Leonid A. Mazo, Olga F. Miroshnichenko, Elena N. Efimova, Gennadiy E. Pisarevskiy 176–182

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT



Оригинальная статья

УДК 629.4.028

EDN: <https://elibrary.ru/oncqgm>

Нагруженность и износ автосцепок в пассажирском вагоне локомотивной тяги

А. В. Белянкин¹✉, В. В. Балакин², В. К. Мешков³, М. А. Федоров⁴¹Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники (ТИЦ ЖТ),
Тихвин, Российская Федерация²Производственное объединение «Бежицкая сталь»,
Брянск, Российская Федерация³Тверской вагоностроительный завод (ТВЗ),
Тверь, Российская Федерация⁴Федеральная пассажирская компания (ФПК),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. При применении автосцепки СА-3 в пассажирских вагонах локомотивной тяги ввиду ряда конструктивных особенностей подвижного состава и условий эксплуатации наблюдается повышенный износ трущихся поверхностей автосцепки, что требует проведения мероприятий по их упрочнению. Для грузовых вагонов вопрос нагруженности автосцепок хорошо изучен и представлен в научно-технической и нормативной документации. Для случая применения автосцепки СА-3 в пассажирском вагоне локомотивной тяги, по мнению авторов, недостаточно экспериментальных данных по продольным усилиям и относительным перемещениям автосцепок при эксплуатационных режимах. Отсутствие подобных исследований не позволяло изготовителям автосцепки СА-3, предназначенной для использования в пассажирском подвижном составе, обоснованно внедрять технологические процессы по упрочнению контактных поверхностей. Основной целью исследования являлось получение надежных экспериментальных данных по относительным перемещениям автосцепок при движении в составе пассажирского поезда, а также действующим продольным силам.

Материалы и методы. Основным методом проводимого исследования являлся метод непосредственных измерений относительных перемещений с использованием контактных датчиков перемещений. Для определения продольных сил применялись тензорезисторы, установленные на корпусе автосцепки. Предварительно до проведения опытной поездки осуществлялось определение масштаба измерительных схем растягивающими и сжимающими силами с использованием стендового оборудования испытательной лаборатории Тихвинского испытательного центра железнодорожной техники.

Результаты. Получены статистически достоверные данные по величинам продольных сил и перемещений автосцепок при движении вагона в составе пассажирского поезда локомотивной тяги.

Обсуждение и заключение. Определены продольные силы и перемещения автосцепки СА-3 при ее использовании в пассажирском вагоне локомотивной тяги. Полученные данные предназначены для последующего использования при проведении стендовых ресурсных испытаний автосцепки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пассажирские вагоны, автосцепка СА-3, продольные силы, поездные испытания

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Белянкин А. В., Балакин В. В., Мешков В. К., Федоров М. А. Нагруженность и износ автосцепок в пассажирском вагоне локомотивной тяги // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 101–110.

✉ abelyankin@railtest.ru (А. В. Белянкин)

© Белянкин А. В., Балакин В. В., Мешков В. К.,
Федоров М. А., 2024

Original article

UDK 629.4.028

EDN: <https://elibrary.ru/oncqgm>



Load and wear of automatic couplers in locomotive traction passenger car

Alexey V. Belyankin¹✉, Vadim V. Balakin², Vladimir K. Meshkov³, Maksim A. Fedorov⁴

¹Tikhvin Trial Centre for Railway Transport,
Tikhvin, Russian Federation

²Bezhitskaya Steel Production Association,
Bryansk, Russian Federation

³Tver Carriage Works,
Tver, Russian Federation

⁴Federal Passenger Company,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. A number of design features of the rolling stock and operating conditions of the SA-3 automatic coupler in locomotive traction passenger cars cause increased wear of the rubbing surfaces of the automatic coupler, which requires measures to strengthen them. The issue of automatic coupler loading for wagons is studied and presented in research, technical and regulatory documentation. The authors consider the experimental data on longitudinal forces and relative displacements of automatic couplers under operating modes to be insufficient in the case of the SA-3 automatic coupler in a locomotive traction passenger car. Lack of such studies did not allow manufacturers of SA-3 automatic couplers intended for use in passenger rolling stock to reasonably implement processes for hardening of contact surfaces. The study was primarily intended to obtain reliable experimental data on the relative displacements of automatic couplers during motion as part of a passenger train, as well as on the acting longitudinal forces.

Materials and methods. The main method of the research was direct measurements of relative displacements using contact displacement sensors. Longitudinal forces were determined by resistance strain gauges mounted on the automatic coupler body. The test ride was preceded by scaling of the measuring circuits by tensile and compressive forces using the bench equipment of the test laboratory of the Tikhvin Trial Centre for Railway Transport.

Results. The authors obtained statistically reliable data on longitudinal forces and displacements of automatic couplers when the carriage moves in a locomotive traction passenger train.

Discussion and conclusion. The authors determined the longitudinal forces and displacements of the SA-3 automatic coupler used in a locomotive traction passenger car. These data are intended for further use in bench service life testing of the automatic coupler.

KEYWORDS: passenger cars, SA-3 automatic coupler, longitudinal forces, train test

FOR CITATION: Belyankin A. V., Balakin V. V., Meshkov V. K., Fedorov M. A. Load and wear of automatic couplers in locomotive traction passenger car. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):101-110. (In Russ.).

✉ abelyankin@railtest.ru (A. V. Belyankin)

© Belyankin A. V., Balakin V. V., Meshkov V. K.,
Fedorov M. A., 2024

Введение. Пассажирские вагоны оснащены туповой полужесткой автосцепкой СА-3 по ГОСТ 32885–2014 с нижним ограничителем вертикальных перемещений¹. Применение автосцепки СА-3 на пассажирском подвижном составе осуществляется совместно с буферными устройствами, обеспечивающими поддержание автосцепок в растянутом состоянии с целью уменьшения зазоров и, как следствие, более плавную передачу продольных тягово-тормозных сил [1]. Центральное подвешивание пассажирских вагонов характеризуется существенными величинами прогибов относительно подвешивания грузовых вагонов, что в совокупности с наличием постоянных растягивающих сил от буферных устройств предположительно приводит к более интенсивному износу трущихся поверхностей автосцепок [2]. Практика применения автосцепки СА-3 на пассажирском подвижном составе локомотивной тяги показывает, что для обеспечения требуемого ресурса автосцепок на пробег вагона до 600 тыс. км. требуется проводить мероприятия по нанесению износостойких наплавов на трущиеся поверхности автосцепок².

Вопрос определения продольных сил для грузового подвижного состава и электропоездов различных категорий и типов рассматривался в работах ВНИИЖТ, см., например, [3, 4], и ООО «ВНИЦТТ» [5]. Данные по нагруженности автосцепных устройств спектрами продольных сил применительно к грузовым вагонам приведены в нормативных документах^{3, 4}, однако ни в стандарте⁵, ни в нормах для расчета и проектирования спектра по продольным нагрузкам и относительным перемещениям автосцепок для пассажирских вагонов не приведено. Имеются публикации, посвященные исследованиям надежности автосцепок [6] и формированию требований к уровню прочностной надежности литых деталей грузовых вагонов в целом и его обеспечению за счет механических свойств материалов [7]. Что касается пассажирских вагонов, то здесь испытывается недостаток исследований и, соответственно, данных как по спектру нагружения, так и по относительным перемещениям автосцепок.

Настоящая работа выполнена с целью получения статистически надежных данных по продольным

усилиям и перемещениям автосцепок при их эксплуатации в составе пассажирских поездов локомотивной тяги и определения нагрузок, обуславливающих интенсивность износа трущихся поверхностей автосцепок. Полученные данные предполагается использовать для выбора режимов стендовых ресурсных испытаний по определению износостойкости наплавов, применяемых на трущихся поверхностях автосцепок. Помимо этого, данные могут быть использованы изготовителем автосцепок для обоснованного выбора параметров упрочняемого слоя.

Работа выполнялась в два этапа: на первом этапе проводились поездные испытания автосцепок на пассажирском вагоне локомотивной тяги при его движении в составе поезда с целью сбора и анализа данных по продольным усилиям и перемещениям автосцепок. На втором этапе были выполнены стендовые натурные испытания на основании данных, полученных на первом этапе работы. В настоящей статье рассматриваются результаты первого этапа — поездных испытаний.

Методика определения продольных сил и взаимных относительных перемещений автосцепок. Для определения продольных сил были оборудованы тензорезисторами два образца автосцепок согласно рекомендации стандарта⁶. При планировании перечня фиксируемых в ходе испытаний процессов учитывались следующие основные виды возможных взаимных перемещений автосцепок: линейные перемещения относительно кузова в продольном направлении, угловые перемещения относительно кузова в горизонтальной плоскости, угловые перемещения автосцепки относительно кузова в вертикальной плоскости и взаимные относительные линейные перемещения автосцепок в вертикальном направлении. Эти перемещения могут оказывать влияние на износы автосцепок при движении и могут быть в последующем реализованы в ходе стендовых ресурсных испытаний.

Для измерения угловых перемещений в горизонтальной и вертикальной плоскостях использовался трехкоординатный датчик ИС 375 с возможностью измерения угловых отклонений от -75 до $+65^\circ$ с погрешностью измерения углов не более $\pm 3^\circ$. В качестве

¹ ГОСТ 32885–2014. Автосцепка модели СА-3. Конструкция и размеры: дата введения 2015-06-01. М.: Стандартинформ, 2015. 26 с.

² О введении новой системы технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов [Электронный ресурс]: приказ МПС РФ от 04.04.1997 № 9Ц (ред. от 13.01.2011). URL: <https://base.garant.ru/70489520> (дата обращения: 10.02.2024).

³ Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ; ВНИИЖТ, 1996. 317 с.

⁴ Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных): утв. МПС 11.07.1983; утв. Министерством тяжелого и транспортного машиностроения 01.11.1983. М., 1983. 260 с.

⁵ ГОСТ 34681–2020. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования: дата введения 2021-03-01. М.: Изд-во стандартов, 2020. 35 с.

⁶ ГОСТ 33788–2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества: дата введения 2017-05-01. М.: Изд-во стандартов, 2016. 42 с.

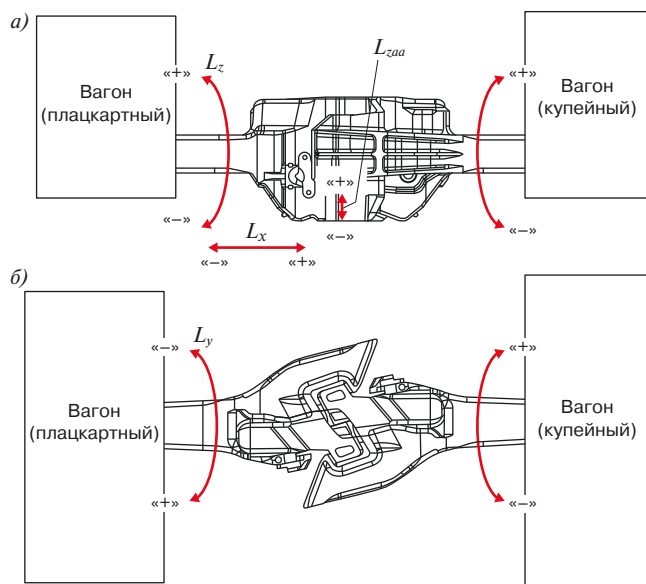


Рис. 1. Регистрируемые при испытаниях процессы (кузова вагонов показаны условно) вид сбоку (а), вид сверху (б): L_x — линейные перемещения автосцепки относительно кузова в продольном направлении; L_y — угловые перемещения автосцепки относительно кузова в горизонтальной плоскости; L_z — угловые перемещения автосцепки относительно кузова в вертикальной плоскости; L_{zda} — взаимные относительные линейные перемещения автосцепок в вертикальном направлении

Fig. 1. Processes recorded in the tests (car bodies are shown conventionally) side view (a), top view (b): L_x — linear displacements of the automatic coupler relative to the body in longitudinal direction; L_y — angular displacement of the automatic coupler relative to the body in the horizontal plane; L_z — angular displacement of the automatic coupler relative to the body in the vertical plane; L_{zda} — mutual relative linear displacements of automatic couplers in vertical direction

первичных преобразователей для измерения линейных перемещений применялись тросовые датчики серии RX50 с диапазоном измерения от 0 до 250 мм с максимальной погрешностью $\pm 0,5\%$. Регистрация производилась с частотой дискретизации 600 Гц с использованием универсального измерительного усилителя QuantumX MX1615 класс точности 0,05, нелинейность характеристики не более 0,02 %.

Регистрация приведенных выше динамических процессов производилась путем цифровой записи данных в файлы в непрерывном режиме. Схема автосцепки с обозначением регистрируемых процессов приведена на рис. 1.

Проводилось определение масштабов измерительных схем при приложении сжимающих и растягивающих сил с использованием стендового оборудования испытательной лаборатории. Величины растягивающих и сжимающих нагрузок при определении масштабов измерительных схем составляли 1500 кН.

Далее автосцепки устанавливались в пассажирские вагоны (купейный и плацкартный) в поезде нормальной длины (15 вагонов), следующем по маршруту Санкт-Петербург, Октябрьская ж. д. — Анапа, Северо-Кавказская ж. д. и обратно. Суммарная протяженность маршрута составила 4734 км. При поездке от ст. Санкт-Петербург до ст. Анапа вагоны находились в головной части состава — вагон (купейный) первый по ходу движения, вагон (плацкартный) второй по ходу движения. При поездке от ст. Анапа до ст. Санкт-Петербург вагоны находились в хвостовой части состава — вагон (купейный) последний по ходу движения, вагон (плацкартный) предпоследний по ходу движения. Маршрут выбирался исходя из представительной длины участка, разнообразия профиля и планов пути, различных типов пути (стыковой/бесстыковой), распределения скоростей, характерных для режима движения пассажирского поезда (см. рис. 2).

Поездные испытания проводились в сентябре 2023 г., температура окружающего воздуха лежала в пределах от $+14,5$ до $+25,0$ °С, относительная влажность воздуха от 56 до 91 %.

Результаты испытаний. Характерные примеры записи процессов продольной силы и относительных вертикальных перемещений автосцепок для случая движения вагона в голове и хвосте состава приведены на рис. 3 и 4. Анализ подобных графиков по маршруту следования показывает стохастический характер процессов вертикальных перемещений автосцепок друг относительно друга, имеют место резкие скачки, срывы трения, что характерно для процессов сухого трения. Прямой зависимости между наличием продольной силы в автосцепке и вертикальными перемещениями выявить не удалось: срывы трения проявляются как при наличии продольной силы, так и без нее. Указанное справедливо для положения вагонов в голове и хвосте состава.

Регистрируемые в ходе проведения испытаний процессы относятся к случайным, для статистической обработки результатов была выполнена их схематизация методом полных циклов. Данный метод обработки стандартизован⁷ и широко применяется при ходовых динамико-прочностных испытаниях подвижного состава [8].

В качестве основных результатов работы следует рассматривать полученные гистограммы распределения размахов исследуемых процессов продольных сил в автосцепках и процессов перемещений и их количества, приведенные к 10 тыс. км пробега (рис. 5–10). Данные графики позволяют наглядно

⁷ ГОСТ 25.101–83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов: дата введения 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1983. 25 с.

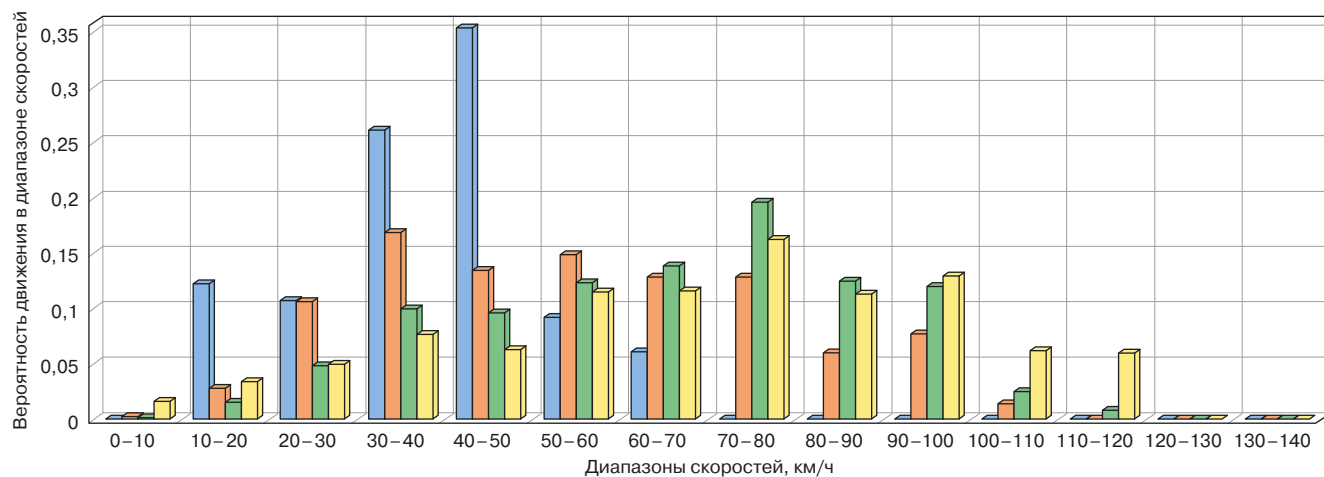


Рис. 2. Гистограмма распределения скоростей движения вагона в составе поезда для различных участков пути по маршруту следования Анапа — Санкт-Петербург:

— кривые радиусом до 400 м; — кривые радиусом от 400 до 700 м; — кривые радиусом от 700 до 1000 м; — прямые

Fig. 2. Car speed distribution histogram in the train for different track sections on the Anapa – St. Petersburg route:

— curves with a radius up to 400 m; — curves with a radius from 400 to 700 m; — curves with a radius from 700 to 1000 m; — straight lines

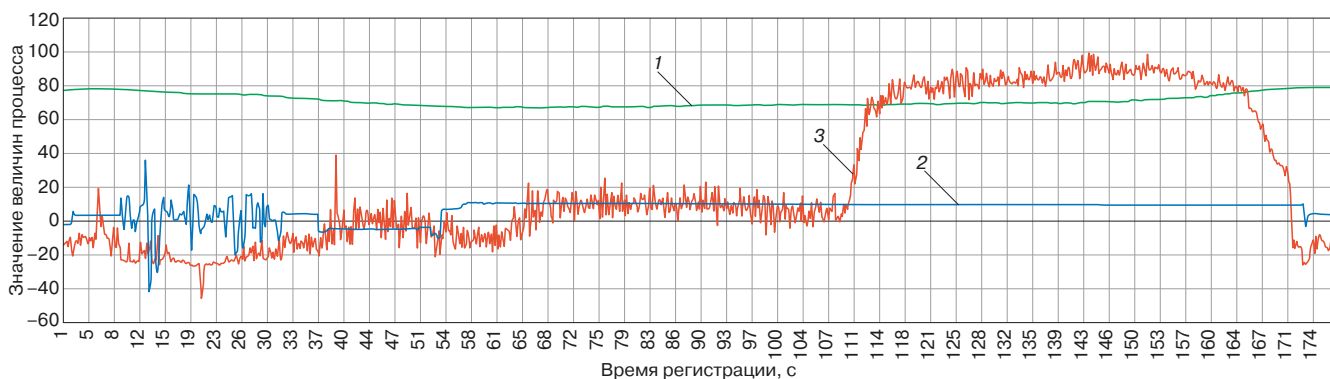


Рис. 3. Пример записи процессов продольной силы и относительных вертикальных перемещений автосцепок для случая движения вагона в голове состава:

1 — скорость движения вагона, км/ч; 2 — относительные вертикальные перемещения автосцепок, мм; 3 — продольная сила в автосцепке, кН

Fig. 3. Sample recording of the longitudinal force and relative vertical displacements of automatic couplers for a car motion in the head of a train:

1 — car velocity, km/h; 2 — relative vertical displacements of automatic couplers, mm; 3 — longitudinal force in the automatic coupler, kN

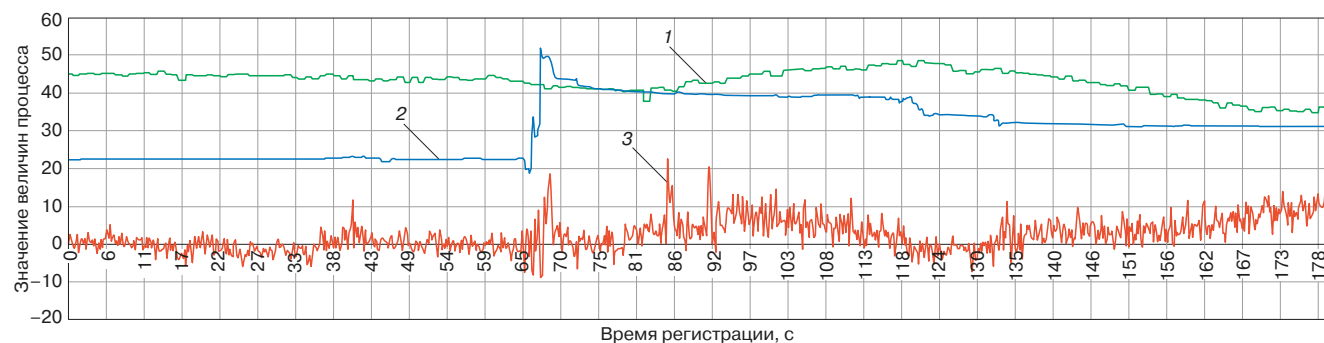


Рис. 4. Пример записи процессов продольной силы и относительных вертикальных перемещений автосцепок для случая движения вагона в хвосте состава:

1 — скорость движения вагона, км/ч; 2 — относительные вертикальные перемещения автосцепок, мм; 3 — продольная сила в автосцепке, кН

Fig. 4. Sample recording of the longitudinal force and relative vertical displacements of automatic couplers for a car motion in the tail of a train:

1 — car velocity, km/h; 2 — relative vertical displacements of automatic couplers, mm; 3 — longitudinal force in the automatic coupler, kN

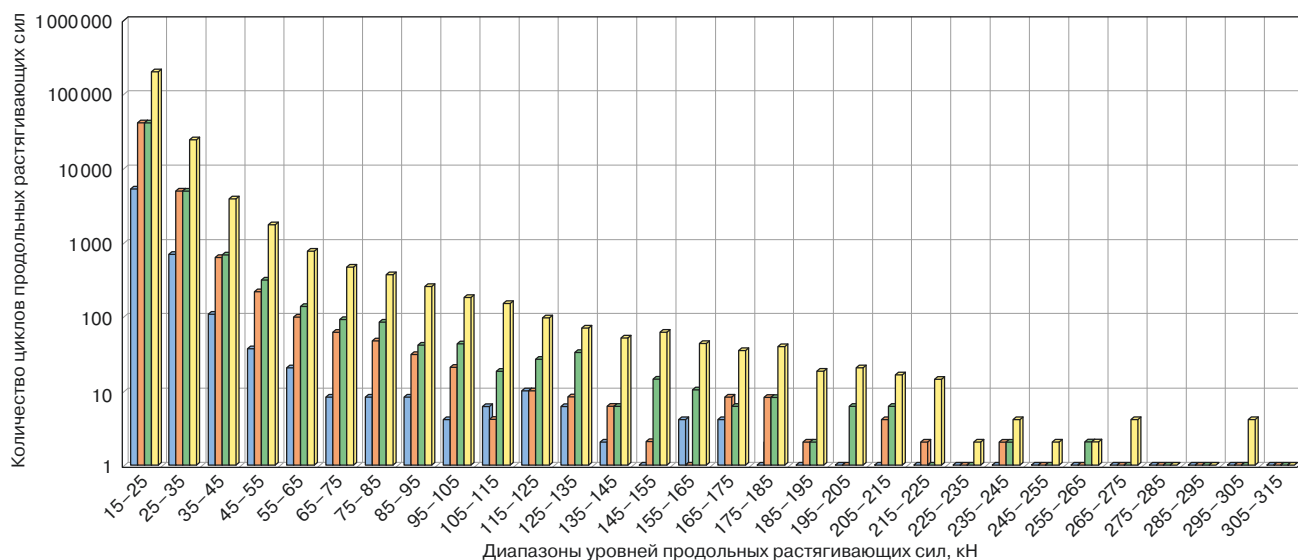


Рис. 5. Статистическая гистограмма распределения размахов продольных растягивающих сил в автосцепке для различных участков пути по всему маршруту следования, на 10 тыс. км пробега:

— кривые радиусом до 400 м; — кривые радиусом от 400 до 700 м; — кривые радиусом от 700 до 1000 м; — прямые

Fig. 5. Statistical distribution histogram of longitudinal tensile force magnitudes in automatic coupler for different track sections along the entire route, per 10 000 kilometers of mileage:

— curves with a radius up to 400 m; — curves with a radius from 400 to 700 m; — curves with a radius from 700 to 1000 m; — straight lines

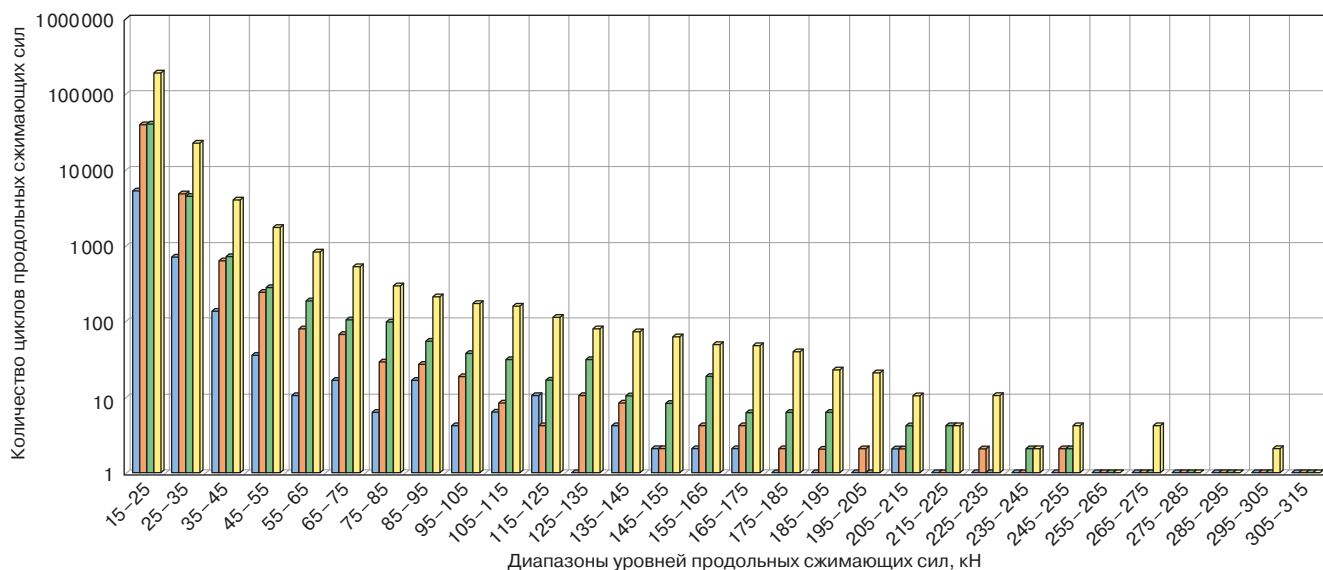


Рис. 6. Статистическая гистограмма распределения размахов продольных сжимающих сил в автосцепке для различных участков пути по всему маршруту следования, на 10 тыс. км пробега:

— кривые радиусом до 400 м; — кривые радиусом от 400 до 700 м; — кривые радиусом от 700 до 1000 м; — прямые

Fig. 6. Statistical distribution histogram of longitudinal compressive force magnitudes in automatic coupler for different track sections along the entire route, per 10 000 kilometers of mileage:

— curves with a radius up to 400 m; — curves with a radius from 400 to 700 m; — curves with a radius from 700 to 1000 m; — straight lines

оценить уровни регистрируемых процессов, количество и распределение применительно к различным участкам пути. Выделялись прямые и кривые участки с радиусом более 1000 м, кривые большого радиуса от 700

до 1000 м, кривые среднего радиуса от 400 до 700 м и кривые малого радиуса до 400 м.

Гистограммы на рис. 5–10 приведены с логарифмической шкалой по оси ординат. Зафиксированные

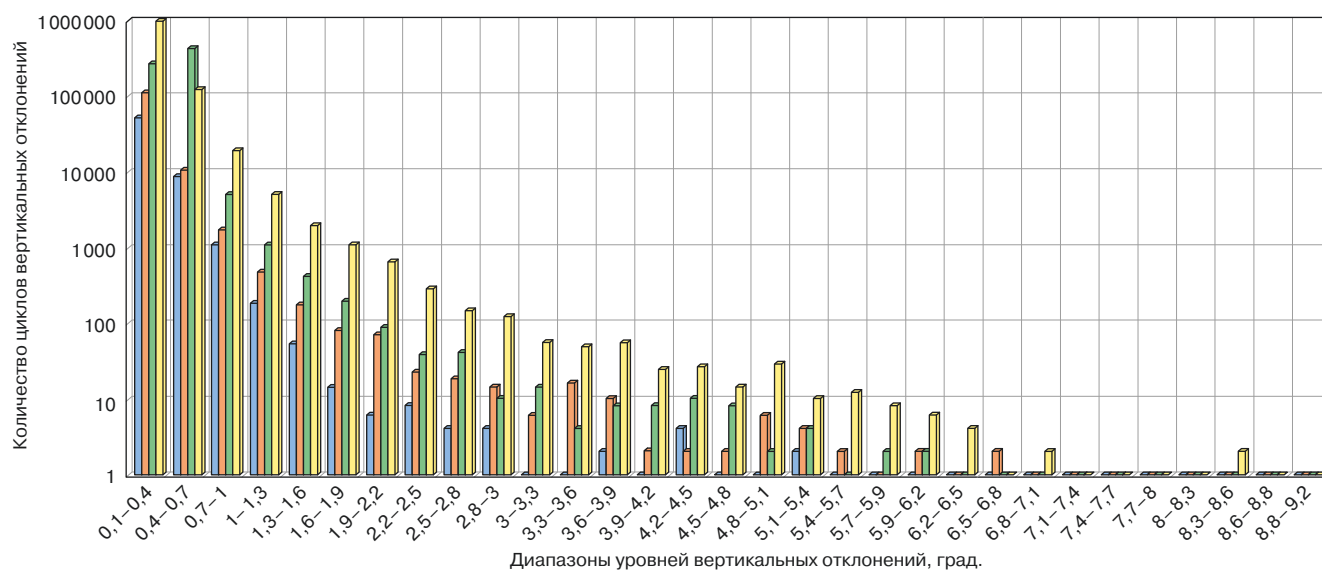


Рис. 7. Статистическая гистограмма распределения размахов вертикальных угловых отклонений автосцепки для различных участков пути по всему маршруту следования, на 10 тыс. км пробега:

— кривые радиусом до 400 м; — кривые радиусом от 400 до 700 м; — кривые радиусом от 700 до 1000 м; — прямые

Fig. 7. Statistical distribution histogram of vertical angular deviation magnitudes of automatic couplers for different track sections along the entire route, per 10 000 kilometers of mileage:

— curves with a radius up to 400 m; — curves with a radius from 400 to 700 m; — curves with a radius from 700 to 1000 m; — straight lines

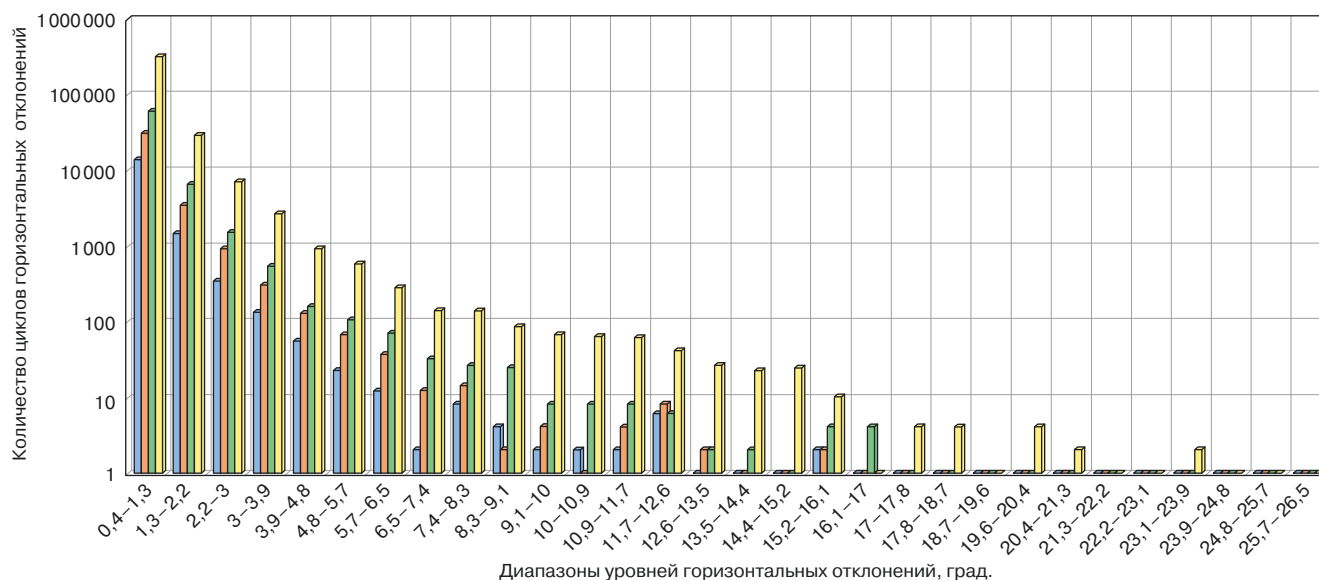


Рис. 8. Статистическая гистограмма распределения размахов горизонтальных угловых отклонений автосцепки для различных участков пути по всему маршруту следования, на 10 тыс. км пробега:

— кривые радиусом до 400 м; — кривые радиусом от 400 до 700 м; — кривые радиусом от 700 до 1000 м; — прямые

Fig. 8. Statistical distribution histogram of horizontal angular deviation magnitudes of automatic couplers for different track sections along the entire route, per 10 000 kilometers of mileage:

— curves with a radius up to 400 m; — curves with a radius from 400 to 700 m; — curves with a radius from 700 to 1000 m; — straight lines

положительные/отрицательные значения (см. схему на рис. 1) перемещений и отклонений практически равны, приведенные гистограммы для удобства восприятия построены для одного из направлений.

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Для всех исследуемых процессов наибольшие величины получены для случая движения вагонов в

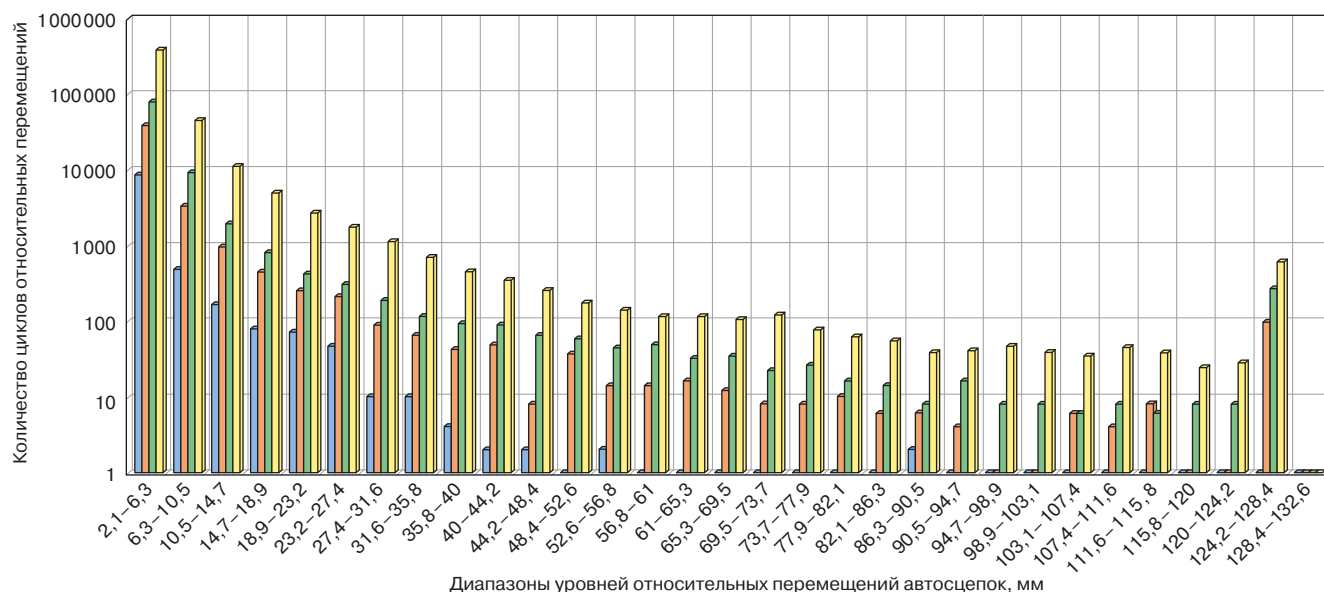


Рис. 9. Статистическая гистограмма размахов относительных перемещений автосцепок для различных участков пути по всему маршруту следования, на 10 тыс. км пробега:

— кривые радиусом до 400 м; — кривые радиусом от 400 до 700 м; — кривые радиусом от 700 до 1000 м; — прямые

Fig. 9. Statistical distribution histogram of automatic coupler relative displacement magnitudes for different track sections along the entire route, per 10 000 kilometers of mileage:

— curves with a radius up to 400 m; — curves with a radius from 400 to 700 m; — curves with a radius from 700 to 1000 m; — straight lines

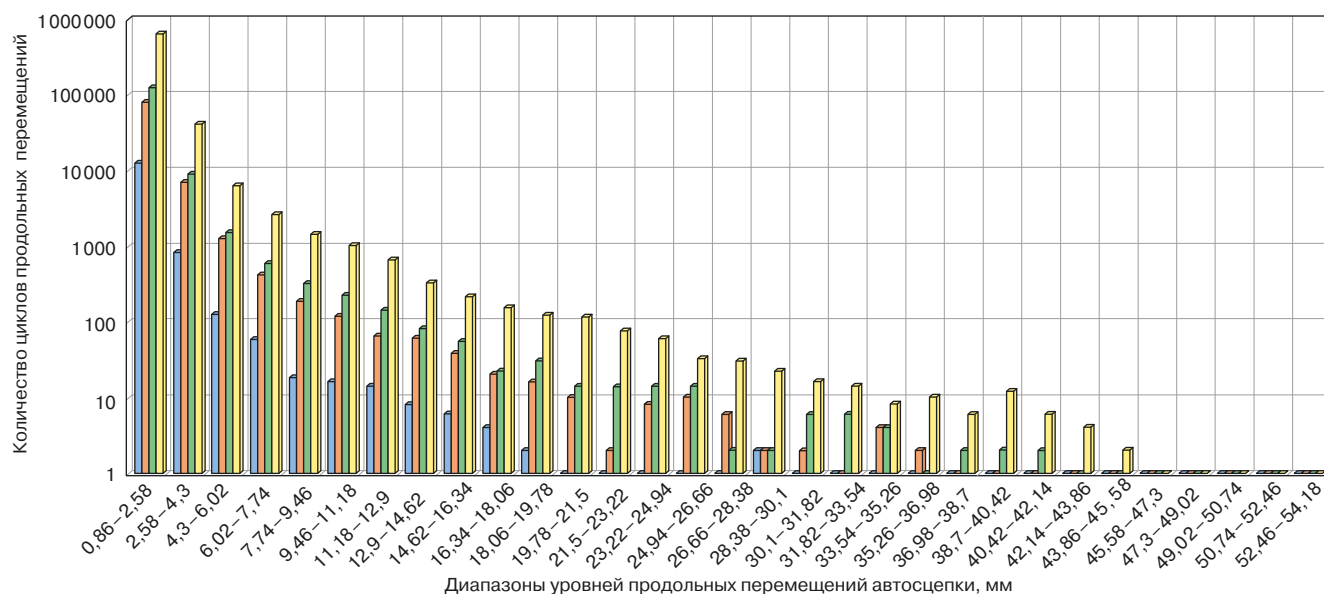


Рис. 10. Статистическая гистограмма распределения размахов продольных перемещений автосцепки относительно кузова для различных участков пути по всему маршруту следования, на 10 тыс. км пробега:

— кривые радиусом до 400 м; — кривые радиусом от 400 до 700 м; — кривые радиусом от 700 до 1000 м; — прямые

Fig. 10. Statistical distribution histogram of longitudinal displacement magnitudes of automatic coupler relative to the body for different track sections along the entire route, per 10 000 kilometers of mileage:

— curves with a radius up to 400 m; — curves with a radius from 400 to 700 m; — curves with a radius from 700 to 1000 m; — straight lines

прямых участках пути и кривых большого радиуса, что возможно объяснить нестационарностью режима ведения поезда на данных участках (набор скорости, торможение и др.), а также более высокими

скоростями движения, что подтверждается гистограммой распределения скоростей, приведенной на рис. 2.

2. Зарегистрированные сжимающие и растягивающие продольные усилия для реализованной в ходе

поездки тяги одним локомотивом в голове состава с достаточной степенью точности распределены по ровну. Указанное справедливо для кривых разных радиусов и прямых участков пути (см. рис. 5 и 6).

3. Уровень продольных сжимающих и растягивающих сил лежит в пределах до ± 250 кН, что существенно ниже величин продольных сил, установленных ГОСТ 33434–2015⁸ и в требованиях по проектированию автосцепных устройств в соответствии с Нормами для расчета и проектирования⁹. По количеству превалируют продольные силы с уровнем до ± 20 кН.

4. Зафиксированные величины отклонений автосцепки в горизонтальном (максимально до 20°) и в вертикальном направлении (максимально до 10°) лежат в пределах отклонений автосцепки за счет имеющихся допускаемых зазоров при прохождении кривых участков пути [9] (см. графики на рис. 7 и 8).

5. Продольные перемещения автосцепки относительно кузова вагона лежат в пределах до 45 мм (см. график на рис. 10). Предположительно данные перемещения связаны с естественными зазорами в автосцепном устройстве между поверхностями контура зацепления смежных автосцепок, клином тягового хомута, отверстиями в хомуте и хвостовике корпуса, которые могут достигать 40 мм на вагон [10].

6. Зафиксированы существенные, до 126 мм, относительные перемещения автосцепок относительно друг друга в вертикальной плоскости (рис. 9). Учитывая значительное количество, периодичность и величины данных перемещений, следует отметить их существенный вклад в износ трущихся поверхностей автосцепки.

Обсуждение и заключение. Основной целью исследования на данном этапе являлось получение статистически надежных данных по силовому и кинематическому взаимодействию автосцепок в пассажирском вагоне локомотивной тяги для режима движения реального пассажирского поезда. Анализ исследуемых процессов показывает, что к основным возмущениям, определяющим износ автосцепок, следует отнести значительные относительные перемещения автосцепок в вертикальной плоскости в совокупности с действующими величинами продольных сил. Полученный уровень продольных сил находится в пределах до 250 кН, что приближено к теоретически ожидаемому уровню, принимая во внимание результаты подобных исследований в электропоездах.

В ходе проведения работы получен представительный набор экспериментальных данных, описывающих кинематическое и силовое взаимодействие автосцепок в пассажирском вагоне локомотивной

тяги для режима движения реального пассажирского поезда.

Основным направлением дальнейших исследований является применение полученных результатов для определения ресурса автосцепок при проведении стендовых ресурсных испытаний. По результатам ходовых испытаний осуществляется суммирование полученных перемещений (градусов) по каждому отклонению (продольное, вертикальное, поперечное) за пройденный участок пути. Определяется доля кривых (малого, среднего, большого радиуса), подъемов, спусков с привязкой к профилю пути. Относительно полученных данных выполняется расчет числа циклов и величин нагружения таким образом, чтобы обеспечивающее воздействие было эквивалентно по повреждаемости эксплуатационному воздействию. Далее на стендовом оборудовании осуществляется приложение указанного спектра нагрузок и проводится оценка ресурса автосцепок на назначенный срок службы.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Анисимов П. С. Испытания вагонов: монография. М.: Маршрут, 2004. 197 с.
Anisimov P. S. *Car testing*. Moscow: Marshrut Publ.; 2004. 197 p. (In Russ.).
2. Влияние конструкции межвагонных связей пассажирских вагонов на их динамические характеристики / Е. С. Чечулин [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. 2014. № 4. С. 28–31. <https://doi.org/10.12737/23109>.
3. Chechulin E. S., Antipin D. Ya., Kobishchanov V. V., Rasin D. Yu. Influence of design of inter-car articulations of passenger cars on their dynamics. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2014;(4):28–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/23109>.
4. Определение нагруженности сцепных устройств электропоездов / В. И. Беляев [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 4. С. 297–305. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-4-297-305>.
5. Belyaev V. I., Gorskiy D. V., Stupin D. A., Konyshkov A. N. Evaluation of prevailing draft loads in the couplings of the electric trains. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(4):297–305. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-4-297-305>.
6. Численное моделирование динамики сцепления автосцепок / Д. В. Шевченко [и др.] // Вестник Научно-исследовательского

⁸ ГОСТ 33434–2015. Устройство сцепное и автосцепное железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки: дата введения 2016-09-01. М.: Стандартинформ, 2016. 14 с.

⁹ Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М., 1983.

института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78, № 3. С. 155–161. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-155-161>.

Shevchenko D. V., Kudryavtsev M. A., Orlova A. M., Ponomarev S. A., Sokolov A. M., Savushkina Yu. V. Numerical modeling of the dynamics of the clutch couplers. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(3):155-161. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-155-161>.

5. Костина Н. А. Уточнение характеристик нагруженности вагона продольными силами через автосцепку // Вестник Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1981. № 4. С. 36–39.

Kostina N. A. Clarification of the characteristics of the loading of a car by longitudinal forces through an automatic coupler. *Russian Railway Science Journal*. 1981;(4):36-39. (In Russ.).

6. Цветков В. Д. Надежность автосцепок с трещинами для случая внезапных хрупких разрушений: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.01. Брянск, 1982. 185 с.

Tsvetkov V. D. *Reliability of automatic couplers with cracks for the case of sudden brittle fractures: Cand. Sci. (Eng.) thesis: 05.05.01*. Bryansk; 1982. 185 p. (In Russ.).

7. Татаринцев В. А. Обоснование уровня прочности надежности литых деталей грузовых вагонов и его обеспечение за счет механических свойств материала: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.01. Брянск, 1984. 234 с.

Tatarintsev V. A. *Justification of the level of strength and reliability of cast parts of freight cars and its provision due to the mechanical properties of the material: Cand. Sci. (Eng.) thesis: 05.05.01*. Bryansk; 1984. 234 p. (In Russ.).

8. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.

Serensen S. V., Kogayev V. P., Shneyderovich R. M. *Bearing capacity and strength calculation of machine parts*. Moscow: Mashinostroyeniye Publ.; 1975. 488 p. (In Russ.).

9. Беляев В. И., Ступин Д. А. Сцепные и автосцепные устройства железнодорожного подвижного состава. М.: Трансinfo, 2012. 414 с.

Belyaev V. I., Stupin D. A. *Couplers and automatic couplers of railway rolling stock*. Moscow: Transinfo Publ.; 2012. 414 p. (In Russ.).

10. Гребенюк П. Т. Продольная динамика поезда. М.: Интекст, 2003. 96 с. (Труды Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта).

Grebennyuk P. T. *Longitudinal train dynamics*. Moscow: Intext Publ.; 2003. 96 p. (Proceedings of the Railway Research Institute). (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей Владимирович БЕЛЯНКИН,

руководитель испытательной лаборатории, Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники (ТИЦ ЖТ, 187556, Ленинградская область, г. Тихвин, Промплощадка, д. 6, стр. 1), Author ID: 1242583, <https://orcid.org/0009-0005-8798-9935>

Вадим Владимирович БАЛАКИН,

технический директор, производственное объединение «Бежикская сталь» (241035, г. Брянск, ул. Сталелитейная, д. 1, корп. А, оф. 1), <https://orcid.org/0009-0000-9130-5659>

Владимир Константинович МЕШКОВ,

главный сварщик, Тверской вагоностроительный завод (ТВЗ, 170003, г. Тверь, Петербургское шоссе, д. 45б), SPIN-код: 7627-4298, <https://orcid.org/0009-0008-7500-7545>

Максим Александрович ФЕДОРОВ,

главный эксперт Управления развития технологии и разработки нового подвижного состава, Федеральная пассажирская

компания (ФПК, 107078, г. Москва, ул. Маши Порываевой, д. 34), <https://orcid.org/0009-0001-7278-9800>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexey V. BELYANKIN,

Test Laboratory Manager, Tikhvin Trial Centre for Railway Transport (187556, Leningradskaya Oblast, Tikhvin, 6/1, Promploschadka), Author ID: 1242583, <https://orcid.org/0009-0005-8798-9935>

Vadim V. BALAKIN,

Technical Director, Bezhitskaya Steel Production Association (241035, Bryansk, 1A, Office 1, Staleliteynaya St.), <https://orcid.org/0009-0000-9130-5659>

Vladimir K. MESHKOV,

Chief Welder, Tver Carriage Works (170003, Tver, 45b, Petersburg Highway), SPIN-код: 7627-4298, <https://orcid.org/0009-0008-7500-7545>

Maksim A. FEDOROV,

Chief Expert of the Department for Technology Development and New Rolling Stock Design, Federal Passenger Company (107078, Moscow, 34, Masha Poryvaeva St.), <https://orcid.org/0009-0001-7278-9800>

ВКЛАД АВТОРОВ

Алексей Владимирович БЕЛЯНКИН. Проведение испытаний. Статистическая обработка результатов испытаний (55%).

Вадим Владимирович БАЛАКИН. Изготовление и предоставление образцов автосцепных устройств для проведения испытаний (15%).

Владимир Константинович МЕШКОВ. Анализ результатов испытаний (15%)

Максим Александрович ФЕДОРОВ. Определение исходных параметров для проведения поездных испытаний (15%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Alexey V. BELYANKIN. Testing. Statistical processing of the test results (55%).

Vadim V. BALAKIN. Manufacture and provision of samples of automatic couplers for testing (15%).

Vladimir K. MESHKOV. Test result analysis (15%).

Maksim A. FEDOROV. Determination of initial parameters for train tests (15%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 19.02.2024, рецензия от первого рецензента получена 04.03.2024, рецензия от второго рецензента получена 01.04.2024, принята к публикации 02.04.2024.

The article was submitted 19.02.2024, first review received 04.03.2024, second review received 01.04.2024, accepted for publication 02.04.2024.

Оригинальная статья

УДК 625.143.1 + 625.031.1

EDN: <https://elibrary.ru/spxxxe>

Разработка новых ремонтных профилей рельсов для различных условий эксплуатации

О. А. Суслов, И. В. Хромов✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время на рельсах преобладают контактно-усталостные дефекты, увеличилась интенсивность образования бокового и вертикального износов рельсов. Авторы считают, что необходима разработка новых ремонтных профилей для участков с различным планом пути по причине недостаточности ремонтных профилей в действующей нормативно-технической документации, при этом должны быть учтены особенности взаимодействия колес с рельсами в кривых различных радиусов и прямых.

Материалы и методы. С целью определения новых ремонтных профилей головки рельсов для различных условий эксплуатации были проведены расчеты влияния профилей колес и рельсов на силовое воздействие на путь с помощью программного комплекса «Универсальный механизм». Для выбора рациональных параметров поверхности катания головок рельсов применены методы математического анализа. Были смоделированы варианты конечного колеса с двухточечным контактированием: новое колесо и среднеизношенный профиль. Были смоделированы профили рельсов типа Р65: новые профили, Р65 среднесетевой, Р65К.

Результаты. На основании полученных в результате расчетов и анализа данных сформированы рекомендуемые параметры поверхности катания для минимизации интенсивности образования дефектов и износов рельсов. Разработаны ремонтные профили головок рельсов для различных условий эксплуатации с целью их применения в программах шлифования.

Обсуждение и заключение. В качестве критерия назначения шлифования целесообразно включить основные параметры поверхности катания: центральный радиус катания R_1 и длину дуги центрального радиуса d . Полученные в результате ремонтные профили могут быть использованы при актуализации действующей нормативно-технической документации на шлифование рельсов в пути.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рельс железнодорожный, ремонтный профиль, пропущенный тоннаж, повреждаемость, износ, радиус поверхности катания, длина дуги центрального радиуса, нормативно-техническая документация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Суслов О. А., Хромов И. В. Разработка новых ремонтных профилей рельсов для различных условий эксплуатации // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 111–123.



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 625.143.1+625.031.1

EDN: <https://elibrary.ru/spxxxe>



Development of new rail repair profiles for different operating conditions

Oleg A. Suslov, Ilya V. Khromov✉

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Currently, contact-fatigue defects prevail on rails with increased intensity of lateral and vertical rail wear. The authors consider it essential to develop rational repair profiles for sections with different track plan, as current repair profile regulations are insufficient, while taking into account the wheel and rail interaction in curves of different radii and straight lines.

Materials and methods. Optimal rail head repair profiles were determined for different operating conditions by calculating the effect of wheel and rail profiles on the force impact on the track using the Universal Mechanism software. The rational parameters of the rail head tread surface were selected by mathematical analysis. The authors modeled variants of a conical wheel with two-point contact: a new wheel and a moderately worn profile. R65 type rail profiles were modeled: new profiles, R65 medium-grid, R65K.

Results. The calculation and analysis data formed the basis for the recommended tread surface parameters to minimise the intensity of defect formation and rail wear. The authors developed rail head repair profiles for various operating conditions to be applied in grinding programmes.

Discussion and conclusion. Grinding assignment criteria should include the basic parameters of the tread surface: central rolling radius R_1 and arc length of the central radius d . The resulting repair profiles could be used to update the rail track grinding regulations.

KEYWORDS: rail, repair profile, handled tonnage, damage rate, wear, tread surface radius, central radius arc length, regulatory documentation

FOR CITATION: Suslov O. A., Khromov I. V. Development of new rail repair profiles for different operating conditions. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):111-123. (In Russ.).

Введение. Рост объемов перевозок, особенно грузовых, приводит к увеличенному поезвному воздействию на путь. В связи с этим в текущем содержании пути появляются новые аспекты, с которыми не приходилось сталкиваться еще 15 лет назад [1]. Характер повреждений рельсов, возникающих в процессе эксплуатации, изменился. Если раньше преобладали дефекты, связанные с качеством рельсовой стали, то сейчас основное внимание приходится уделять контактно-усталостным дефектам [2]. В данной ситуации требуется принятие дифференцированных мер противодействия интенсификации их образования и развития, причем в условиях сокращения длительности «окон» для выполнения путевых работ.

Помимо дефектов контактной усталости, увеличилась и интенсивность образования бокового и вертикального износов рельсов.

В действующей нормативно-технической документации (НТД)^{1,2} на шлифование рельсов в пути представлено 7 ремонтных профилей рельсов, а также 3 программы асимметричного шлифования для кривых малых и средних радиусов, не учтены особенности взаимодействия колес с рельсами в кривых различных радиусов. Этих профилей недостаточно для современных условий эксплуатации. Взаимодействие колеса и рельса является основой движения поездов по железным дорогам. По оценкам различных экспертов, из-за изнашивания в системе «колесо — рельс» потери расходуемых на тягу поездов топливно-энергетических ресурсов составляют от 10 до 30 % [3]. Необходима разработка рациональных ремонтных профилей для участков с различным планом пути для снижения интенсивности износов и развития дефектов контактной усталости в системе «колесо — рельс». Решение о необходимости разработки новых ремонтных профилей принято на совещаниях с участием представителей ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ», АО «РПМ», НПЦ ИНФОТРАНС, ФГБОУ ВО СГУПС.

В настоящее время АО «ВНИИЖТ» проводит работу в рамках проекта «Колесо — рельс» для улучшения взаимодействия главных элементов железнодорожного транспорта. С помощью программного комплекса «Универсальный механизм» разработаны ремонтные профили для оптимального взаимодействия в системе «колесо — рельс» с целью уменьшения износов и интенсивности развития дефектов контактной усталости. Добиться получения оптимальных параметров поверхности катания головок рельсов возможно только

с применением шлифования. О большом влиянии шлифования на оптимизацию взаимодействия колес и рельсов и увеличение их ресурса пишут в своих работах А. Ю. Абдурашитов [4–7], Л. Г. Крысанов [8], А. С. Ильиных, А. В. Матафонов [9], А. Guidat [10]. Перечисленные работы выполнены в период 1996–2014 гг., с тех пор изменились условия эксплуатации рельсов, увеличились длина и вес поезда, стали нормой более тяжелые условия движения в кривых малых радиусов, при этом сократилось наличие «окон» для выполнения работ по ремонту пути.

Внесение и апробация полученных профилей в НТД возможны в рамках предстоящей работы плана НТР ОАО «РЖД». Возможна и апробация полученных результатов на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», что обеспечит наименьшую продолжительность испытаний [11, 12]. Другим способом обработки рельсов в пути и в стационарных условиях является фрезерование, но при нем нет возможности изменять параметры поверхности катания: фреза формирует жестко заданный профиль головки рельса [13–15]. Цель данной работы — обоснование оптимального профиля рельса для условий эксплуатации.

Методика исследования. Для анализа расчета влияния профилей колес на силовое воздействие на путь [16, 17] были смоделированы следующие варианты конического колеса по ГОСТ 10791–2011³ (двухточечное контактирование): новое колесо (далее — newwagnw) и среднеизношенный профиль из эксплуатации (далее — wornwagnw100000km).

Для анализа расчета влияния профилей рельсов на силовое воздействие на путь были смоделированы следующие профили рельсов: Р65 согласно ГОСТ Р 51685–2013⁴ (далее — R65new); Р65К согласно ГОСТ 51685–2013 (далее — R65K); среднесетевой Р65 (далее — R65worn) (рис. 1), а также новые профили рельса Р65.

Для создания профиля рельса в программном комплексе необходимы значения геометрических параметров:

d — длина дуги центрального радиуса катания головки рельса, мм;

D — ширина головки рельса, измеряемая между точками пересечений боковой и нижней граней головки рельса, мм;

H — высота головки рельса, измеряемая между верхней точкой рельса и точкой пересечения нижних граней головки рельса на его вертикальной оси, мм;

¹ Об утверждении и введении в действие Инструкции по шлифовке и фрезерованию рельсов в пути и стационарных условиях: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2014 № 3185р (ред. от 03.06.2019). Доступ из АСПИЖТ.

² О введении в действие Технических указаний по шлифовке рельсов (вместе с Техническими указаниями по шлифованию рельсов и рельсовых элементов стрелочных переводов): утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22.02.2011 № 388р (ред. от 25.05.2022). Доступ из АСПИЖТ.

³ ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатанные. Технические условия: дата введения 2012-01-01. М.: Стандартинформ, 2011. 35 с.

⁴ ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 96 с.

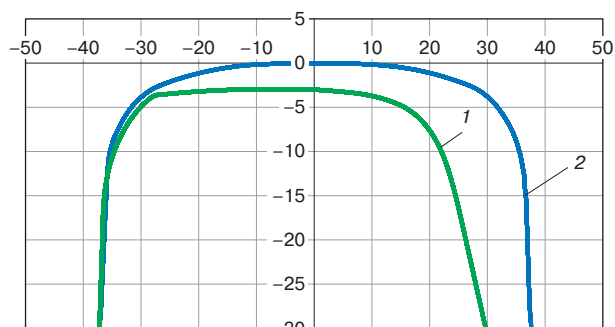


Рис. 1. Профили рельса типа Р65 (импорт из программного комплекса «Универсальный механизм»):

1 — изношенный рельс с боковым износом 13 мм и вертикальным износом 4 мм; 2 — новый рельс

Fig. 1. R65 type rail profiles (imported from the Universal Mechanism software):

1 — worn rail with lateral wear of 13 mm and vertical wear of 4 mm; 2 — new rail

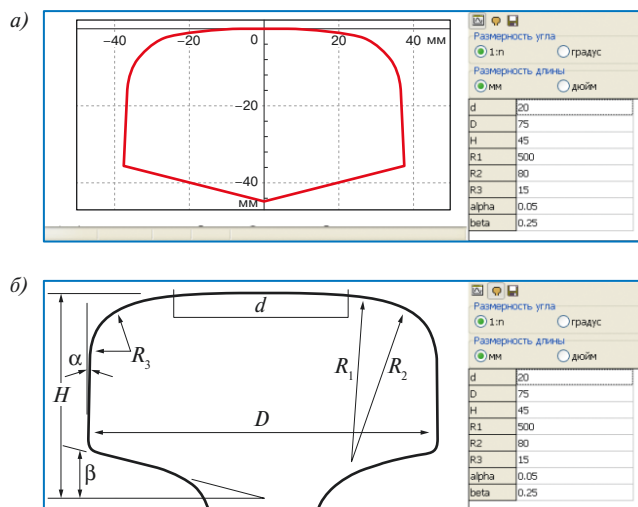


Рис. 2. Окно генератора профиля рельса в режимах отображения профиля (а) и схемы (б)

Fig. 2. Rail profile generator window in the profile display (a) and diagram display (b) modes

R_1 — центральный радиус катания головки рельса, мм;

R_2 — переходный радиус катания головки рельса, мм;

R_3 — радиус сопряжения переходного радиуса катания и боковой грани головки рельса, мм;

α — угол наклона боковой грани головки рельса относительно вертикальной оси рельса;

β — угол наклона нижней грани головки рельса относительно горизонтальной оси рельса.

На рис. 2. представлен интерфейс ввода вышеуказанных геометрических параметров в генератор профиля рельса.

Новые профили рельса Р65 были смоделированы по параметрам R_1 , d , R_2 , R_3 (рис. 2, б), где значение

параметра d выбирается исходя из минимизации краевых дефектов и равномерного распределения напряжений (табл. 1).

С помощью программного комплекса «Универсальный механизм» были получены расчетные значения сил воздействия на путь со стороны подвижного состава для различных параметров грузопотока и характеристик пути:

1. Различные профили колес.
2. Различные профили рельсов.
3. Тип тележки (двухосные).
4. Различная нагрузка на ось: 5,5; 6,0; 23,5; 25,0 т.
5. Радиус участков пути (м): прямые и пологие кривые ($R > 1200$), кривые среднего радиуса ($350 \leq R \leq 1200$) и кривые малого радиуса ($R < 350$).
6. Различные значения возвышения наружного рельса: 10, 80, 150 мм.
7. Различные значения подуклонки рельсов: 1/12, 1/20, 1/60.
8. Различные значения скорости: 40, 60, 80 км/ч.
9. Различные значения ширины колеи: 1505, 1520, 1530, 1540 мм.
10. Неровности геометрии колеи (хорошее качество пути; качество пути ближе к среднему; качество пути плохое, ближе к неудовлетворительному).
11. Различные значения коэффициентов трения (для поверхности катания — 0,25; 0,45; для бокового трения — 0,1; 0,25; 0,45).

По расчетным формулам, согласно методике расчета ресурса верхнего строения пути [18], были получены показатели повреждаемости (d_i) для элементов верхнего строения пути и накопления неисправностей рельсов. Повреждаемость рельса (для рассматриваемого вида дефекта) — показатель, функционально связывающий показатели взаимодействия пути и подвижного состава и условия эксплуатации с интенсивностью образования (накопления) рассматриваемого вида дефекта. Повреждаемость является нормированной, т. е. относительной величиной, измеряемой в единицах. Рассмотрены следующие показатели:

- дефекты поверхности катания (ДПК):

$$d_{\text{pc(ДПК)}} = \left[\left\langle \overline{\sigma_1^2} + (\widehat{\sigma_1})^2 \right\rangle + \left\langle \overline{\tau_1^2} + (\widehat{\tau_1})^2 \right\rangle \right]^{\frac{x_{\text{ДПК}}}{2}}; \quad (1)$$

- дефекты головки (ДГР):

$$d_{\text{pc(ДГР)}} = \left[\left\langle \overline{\sigma_1^2} + (\widehat{\sigma_1})^2 \right\rangle + \left\langle \overline{\sigma_2^2} + (\widehat{\sigma_2})^2 \right\rangle \right]^{\frac{x_{\text{ДГР}}}{2}}; \quad (2)$$

- вертикальный износ (ВИ):

$$d_{\text{pc(ВИ)}} = \left[\overline{MW_1^2} + (\widehat{MW_1})^2 \right]^{\frac{x_{\text{ВИ}}}{2}}; \quad (3)$$

- боковой износ (БИ):

$$d_{\text{pc(БИ)}} = \left[\overline{MW_2^2} + (\widehat{MW_2})^2 \right]^{\frac{x_{\text{БИ}}}{2}}; \quad (4)$$

для рельсовых скреплений:

$$d_{\text{скр}} = \left[\left(\overline{P_{\text{шп}}} \right)^2 + \left(\widehat{P_{\text{шп}}} \right)^2 \right]^{\frac{x_{P(\text{скр})}}{2}} + \left[\left(\overline{H_{\text{шп}}} \right)^2 + \left(\widehat{H_{\text{шп}}} \right)^2 \right]^{\frac{x_{H(\text{скр})}}{2}}, \quad (5)$$

где $\overline{\sigma_{1,2}}$ — приведенное среднее значение контактного давления в соответствующей точке контакта, МПа; $\widehat{\sigma_{1,2}}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение контактного давления в соответствующей точке контакта, МПа; $\overline{\tau_1}$ — приведенное среднее значение касательных напряжений в точке контакта, МПа; $\widehat{\tau_1}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение касательных напряжений в точке контакта, МПа; $x_{\text{ДПК}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние на повреждаемость дефектами поверхности катания нормальных давлений и касательных напряжений в точке контакта колеса—рельс на поверхности катания рельса; $x_{\text{ДГР}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние на повреждаемость дефектами поверхности катания нормальных давлений и касательных напряжений в точке контакта колеса—рельс на поверхности катания и боковой грани рельса; $x_{\text{ВИ}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние мощности сил трения по поверхности

катания рельса на его вертикальный износ; $x_{\text{БИ}}$ — степенной коэффициент, учитывающий влияние мощности сил трения по боковой грани рельса на его боковой износ; $x_{P(\text{скр})}$, $x_{H(\text{скр})}$ — степенные коэффициенты, учитывающие влияние вертикальной и горизонтальной сил, действующих от рельса на шпалу, на значение повреждаемости скреплений; $\overline{MW_1}$ — приведенное среднее значение мощности сил трения в точке контакта № 1, Вт; $\widehat{MW_1}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение мощности сил трения в точке контакта № 1, Вт; $\overline{MW_2}$ — приведенное среднее значение мощности сил трения в точке контакта № 2, Вт; $\widehat{MW_2}$ — приведенное среднеквадратическое отклонение мощности сил трения в точке контакта № 2, Вт; $\overline{P_{\text{шп}}}$ — среднее значение вертикальной силы, действующей на шпалу, кН; $\overline{H_{\text{шп}}}$ — среднее значение горизонтальной силы, действующей на шпалу, кН; $\widehat{P_{\text{шп}}}$ — среднеквадратическое отклонение значений вертикальных сил, действующих на шпалу; $\widehat{H_{\text{шп}}}$ — среднеквадратическое отклонение значений горизонтальных сил, действующих на шпалу.

Показатели повреждаемости вычисляются отдельно для правой и левой рельсовых нитей.

Для анализа влияния типа профиля колеса и очертаний профиля рельса на дефектность и износы рельсов

Таблица 1

Конфигурации новых профилей

Table 1

Configuration of new profiles

№ п/п	Обозначение профиля	Центральный радиус катания головки рельса R_1 , мм	Длина дуги центрального радиуса катания головки рельса d , мм	Переходный радиус катания головки рельса R_2 , мм	Радиус сопряжения переходного радиуса катания и боковой грани головки рельса R_3 , мм
1	R65_800(10)_80_15	800	10	80	15
2	R65_800(20)_80_15	800	20	80	15
3	R65_800(30)_80_15	800	30	80	15
4	R65_650(10)_80_15	650	10	80	15
5	R65_650(20)_80_15	650	20	80	15
6	R65_650(30)_80_15	650	30	80	15
7	R65_550(10)_80_15	550	10	80	15
8	R65_550(20)_80_15	550	20	80	15
9	R65_550(30)_80_15	550	30	80	15
10	R65_475(10)_80_15	475	10	80	15
11	R65_450(10)_80_15	450	10	80	15
12	R65_450(20)_80_15	450	20	80	15
13	R65_450(30)_80_15	450	30	80	15
14	R65_400(10)_80_15	400	10	80	15
15	R65_400(20)_80_15	400	20	80	15
16	R65_400(30)_80_15	400	30	80	15
17	R65_350(10)_80_15	350	10	80	15
18	R65_350(20)_80_15	350	20	80	15
19	R65_350(30)_80_15	350	30	80	15

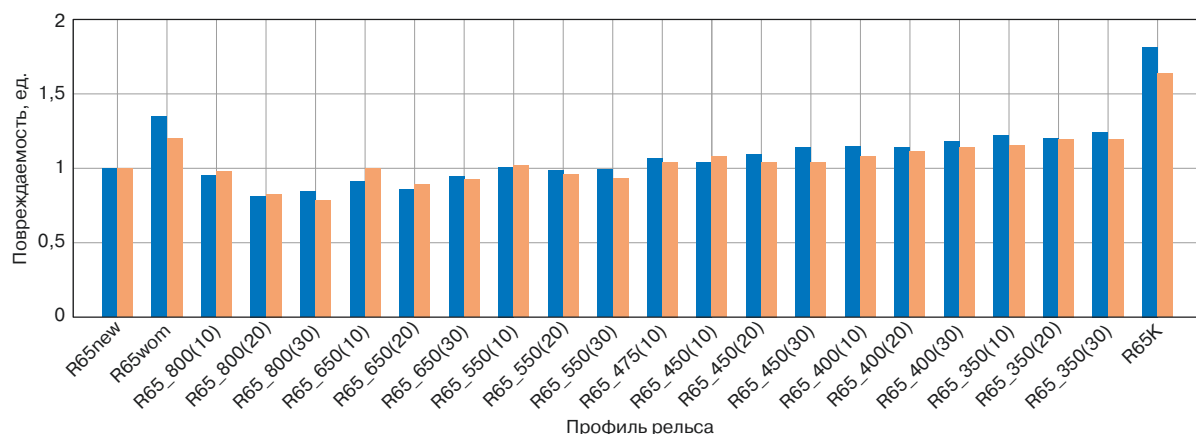


Рис. 3. Зависимость значения нормированной повреждаемости для дефектов головки рельса от различных типов профилей рельсов для колеса профиля newwagnw для прямого участка пути при скорости 60 км/ч:

■ — дефект головки правого (внутреннего) рельса; ■ — дефект головки левого (наружного) рельса

Fig. 3. Dependence of the normalised damage rate for rail head defects on different rail profile types for a newwagnw wheel profile for a straight track section at a speed of 60 km/h:

■ — defect in the right (inner) rail head; ■ — defect in the left (outer) rail head

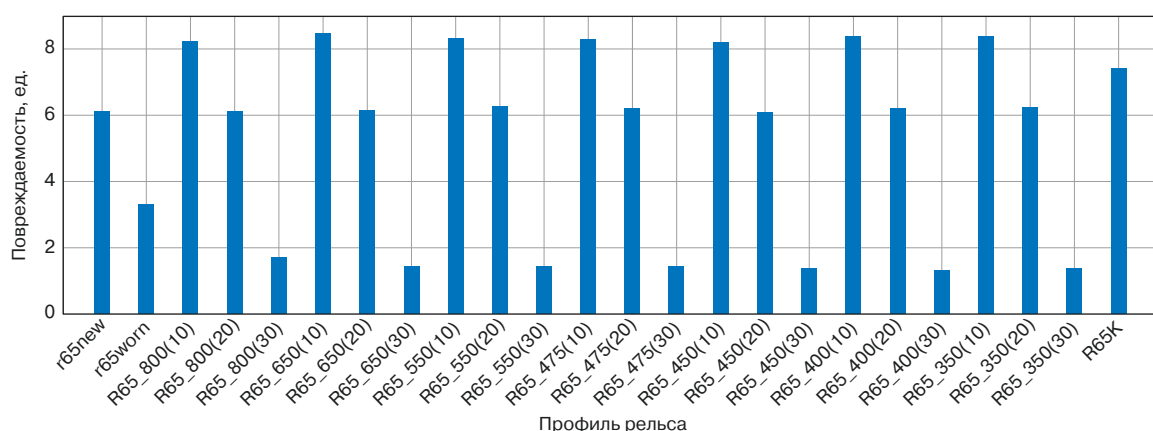


Рис. 4. Зависимость значения нормированной повреждаемости для бокового износа наружного рельса от различных типов профилей рельсов для колеса профиля wornwagnw100000km для участка пути R350 при скорости 60 км/ч

Fig. 4. Dependence of the normalised damage rate for lateral wear of the outer rail on different rail profile types for the wornwagnw100000km wheel profile for the R350 track section at 60 km/h

полученные данные были нормализованы (все полученные значения d_i были поделены на базисные значения).

За базисные значения дефектов при центрировании данных приняты значения дефектов при следующих условиях:

- дефекты поверхности катания, головки рельсов: участок пути — прямой, скорость — 60 км/ч, значение подуклонки рельсов — 0,05, профиль колеса — типовое неизношенное колесо, профиль рельса — типового неизношенный рельс Р65, коэффициент трения — 0,25, состояние пути — хорошее качество пути;

- вертикальный, боковой износы: участок пути — R1200, скорость — 60 км/ч, значение подуклонки рельсов — 0,05, непогашенное ускорение — значение, наиболее приближенное к нулю, профиль колеса —

типовое неизношенное колесо, профиль рельса — типового неизношенный рельс Р65, коэффициент трения — 0,25, состояние пути — хорошее качество пути.

По полученным нормализованным данным были построены гистограммы зависимостей значений повреждаемости для различных дефектов, типов профилей колес от различных типов профилей рельсов (рис. 3, 4, 5).

На основе полученных расчетных значений для каждого типа профиля колеса выбраны три типа профиля рельса, при которых нормализованные величины дефектов принимают минимальные значения.

Выбранные типы профилей рельсов с минимальными значениями повреждаемости дефектами поверхности катания представлены в табл. 2, износами — в табл. 3.

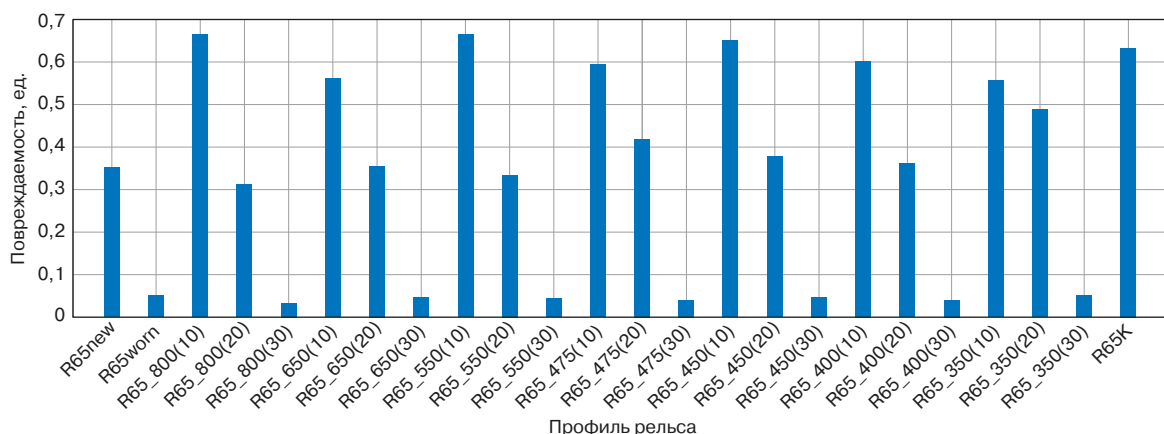


Рис. 5. Зависимость значения нормированной повреждаемости для бокового износа наружного рельса от различных типов профилей рельсов для колеса профиля wornwagnw100000km для участка пути R1200 при скорости 60 км/ч

Fig. 5. Dependence of the normalised damage rate for lateral wear of the outer rail on different rail profile types for the wornwagnw100000km wheel profile for the R1200 track section at 60 km/h

Таблица 2

Значения нормированной повреждаемости рельсов дефектами от различных сочетаний профилей колес и рельсов, ед.

Table 2

Normalised rail damage rates from defects caused by different combinations of wheel and rail profiles, units

№ п/п	Радиус	Профиль колеса	Правый (внутренний) рельс				Левый (наружный) рельс			
			Дефекты поверхности катания		Дефекты головки рельса		Дефекты поверхности катания		Дефекты головки рельса	
			Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение
1	350	newwagnw	R65_800(20)	0,742	R65_800(20)	0,641	R65_800(20)	0,704	R65worn	8,316
			R65_800(30)	0,743	R65_800(30)	0,642	R65_800(30)	0,699	R65_550(10)	8,935
			R65_650(20)	0,844	R65_650(20)	0,730	R65_650(30)	0,798	R65_400(10)	9,038
2	350	wornwagnw 100000km	R65_475(20)	1,083	R65_475(20)	0,951	R65worn	1,430	R65worn	1,671
			R65_450(20)	1,062	R65_450(20)	0,931	R65_350(20)	1,943	R65_400(30)	3,522
			R65_400(20)	1,100	R65_400(20)	0,963	R65K	1,553	R65_350(30)	3,313
3	650	newwagnw	R65_800(20)	0,775	R65_800(20)	0,689	R65_800(20)	0,697	R65worn	4,619
			R65_800(30)	0,776	R65_800(30)	0,689	R65_800(30)	0,696	R65_800(10)	5,117
			R65_650(20)	0,881	R65_650(20)	0,784	R65_650(30)	0,790	R65_650(10)	5,098
4	650	wornwagnw 100000km	R65_450(20)	1,326	R65_450(20)	1,193	R65worn	1,693	R65worn	1,517
			R65_400(20)	1,296	R65_400(20)	1,164	R65_400(20)	1,832	R65_400(30)	2,013
			R65_350(20)	1,287	R65_350(20)	1,153	R65_350(20)	1,773	R65_350(30)	2,058
5	1200	newwagnw	R65_800(20)	0,724	R65_800(20)	0,658	R65_800(20)	0,753	R65worn	2,019
			R65_800(30)	0,725	R65_800(30)	0,658	R65_800(30)	0,750	R65_800(20)	3,069
			R65_650(20)	0,823	R65_650(20)	0,749	R65_650(30)	0,852	R65_650(10)	3,048
7	1200	wornwagnw 100000km	R65_450(20)	1,353	R65_400(20)	1,165	R65_475(30)	1,857	R65_475(30)	1,562
			R65_400(20)	1,277	R65_350(20)	1,127	R65_450(30)	1,860	R65_450(30)	1,570
			R65_350(20)	1,237	R65_350(30)	1,230	R65_400(20)	1,878	R65_400(30)	1,585
8	Прямые	newwagnw	R65_800(20)	0,744	R65_800(20)	0,817	R65_800(20)	0,744	R65_800(20)	0,827
			R65_800(30)	0,743	R65_800(30)	0,841	R65_800(30)	0,744	R65_800(30)	0,787
			R65_650(30)	0,845	R65_650(20)	0,854	R65_650(30)	0,845	R65_650(20)	0,896
9	Прямые	wornwagnw 100000km	R65worn	1,372	R65worn	1,263	R65worn	1,336	R65worn	1,094
			R65_650(30)	1,664	R65_650(30)	1,530	R65_650(30)	1,644	R65_650(30)	1,344
			R65_550(30)	1,705	R65_550(30)	1,571	R65_550(30)	1,733	R65_550(30)	1,420

Таблица 3

Значения нормированной повреждаемости рельсов износом от различных сочетаний профилей колес и рельсов, ед.*

Table 3

Normalised rail damage rates from wear caused by different combinations of wheel and rail profiles, units*

№ п/п	Радиус	Профиль колеса	Правый (внутренний) рельс		Левый (наружный) рельс			
			Вертикальный износ		Вертикальный износ		Боковой износ	
			Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение	Профиль рельса	Значение
1	350	newwagnw	R65worn	20,785	R65worn	10,379	R65worn	4,545
			R65_800(10)	26,321	R65_800(10)	14,792	R65_650(30)	5,714
			R65_400(10)	27,050	R65_400(10)	14,950	R65_400(30)	5,786
2	350	wornwagnw 100000km	R65worn	17,796	R65worn	8,651	R65_450(30)	1,378
			R65_400(30)	17,746	R65_450(20)	11,375	R65_400(30)	1,354
			R65_350(30)	16,360	R65_350(30)	11,014	R65_350(30)	1,371
3	650	newwagnw	R65worn	4,483	R65worn	2,402	R65worn	1,107
			R65_550(10)	7,171	R65_550(10)	3,369	R65_800(30)	2,248
			R65K	7,155	R65_450(10)	3,391	R65_350(30)	2,242
4	650	wornwagnw 100000km	R65worn	2,835	R65worn	1,859	R65_800(30)	0,179
			R65_800(30)	3,969	R65_650(20)	2,827	R65_650(30)	0,204
			R65_650(30)	4,837	R65_550(20)	2,857	R65_550(30)	0,207
5	1200	newwagnw	R65worn	0,295	R65worn	0,327	R65worn	0,202
			R65_350(10)	0,743	R65_450(30)	0,886	R65_550(30)	0,864
			R65K	0,743	R65_350(10)	0,849	R65_450(30)	0,856
6	1200	wornwagnw 100000km	R65_550(10)	0,349	R65_550(10)	0,298	**	**
			R65_450(10)	0,345	R65_475(10)	0,303	**	**
			R65_400(10)	0,309	R65_400(10)	0,287	**	**

* Повреждаемость рельса (для рассматриваемого вида дефекта) — показатель, функционально связывающий показатели взаимодействия пути и подвижного состава и условия эксплуатации с интенсивностью образования (накопления) рассматриваемого вида дефекта. Повреждаемость является нормированной, т. е. относительной величиной, измеряемой в единицах.

** Большинство значений бокового износа в кривых равны нулю из-за отсутствия проскальзывания колес при переходе на криволинейный профиль с преимущественным одноточечным контактированием.

Из табл. 2 и 3 видно, что сочетание разных профилей колес с определенными профилями рельса дают наименьшую повреждаемость для определенных условий эксплуатации, а именно:

1. Для прямых и пологих кривых наименьшие значения дефектов поверхности катания для левого рельса обеспечивают профили рельса R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw) и R65_650(30) (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), для правого рельса — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения дефектов головки рельса для левого рельса обеспечивает профиль рельса R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw), для правого — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw).

2. Для кривых среднего радиуса наименьшие значения дефектов поверхности катания для левого рельса обеспечивают профили рельса R65_800(30)

(с профилем колеса newwagnw), для правого рельса — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw) и R65_650(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения дефектов головки рельса для левого рельса обеспечивает профиль R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), для правого — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw) и R65_650(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения вертикального износа для левого рельса обеспечивают профили R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_550(10) (с профилем колеса newwagnw), для правого рельса R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_650(30) (с профилем колеса wornwagnw100000km).

Таблица 4

Рекомендуемые параметры поверхности катания для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов типа R65

Table 4

Recommended tread surface parameters to minimise the defect formation intensity in R65 rails

Профиль колеса	Прямые и пологие кривые	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
		Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	$R_1 = 550 \div 650$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 350 \div 450$ мм $d = 15 \div 25$ мм	$R_1 = 400 \div 475$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 400 \div 475$ мм $d = 15 \div 25$ мм	$R_1 = 350 \div 400$ мм $d = 25 \div 30$ мм

Таблица 5

Рекомендуемые параметры поверхности катания рельса для минимизации интенсивности износов рельсов типа R65

Table 5

Recommended rail tread surface parameters to minimise wear intensity in R65 rails

Профиль колеса	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
	Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	$R_1 = 650 \div 800$ мм $d = 15 \div 25$ мм	$R_1 = 550 \div 800$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 350 \div 400$ мм $d = 25 \div 30$ мм	$R_1 = 350 \div 450$ мм $d = 20 \div 30$ мм

Наименьшее значение бокового износа для левого рельса обеспечивает профиль R65_800(30) (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km).

3. Для кривых малого радиуса наименьшие значения дефектов поверхности катания для левого рельса обеспечивают профили R65worn (с профилем колеса wornwagnw100000km) и R65K (с профилем колеса wornwagnw100000km), R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw), R65_650(30) (с профилем колеса newwagnw), R65_350(20) (с профилем колеса wornwagnw100000km), для правого рельса — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения дефектов головки рельса для левого рельса обеспечивает профиль R65worn (с профилем колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_400(10) (с профилем колеса newwagnw), для правого — R65_800(20) (с профилем колеса newwagnw), R65_800(30) (с профилем колеса newwagnw), R65_650(20) (с профилем колеса newwagnw).

Наименьшие значения вертикального износа для левого рельса обеспечивают профили R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_800(10) (с профилем колеса newwagnw), для правого рельса — R65worn (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km), R65_400(30) (с профилем колеса wornwagnw100000km), R65_350(30) (с профилем колеса wornwagnw100000km).

Наименьшее значение бокового износа для левого рельса обеспечивает профиль R65_400(30) (с профилями колес newwagnw, wornwagnw100000km).

По полученным результатам видно, что наибольшая повторяемость по всем условиям эксплуатации без учета типа профиля колеса наблюдается у следующих профилей для правого рельса:

- для прямых и пологих кривых — R65_800(20);
- для кривых среднего радиуса — R65_800(20) и R65_650(20);
- для кривых малого радиуса — R65_800(20).

Наибольшая повторяемость по всем условиям эксплуатации наблюдается у следующих профилей для левого рельса:

- для прямых и пологих кривых — R65_800(20);
- для кривых среднего радиуса — R65worn;
- для кривых малого радиуса — R65worn.

На основании полученных данных сформированы рекомендуемые в эксплуатации параметры поверхности катания для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов (табл. 4) и износов рельсов (табл. 5).

Схема с параметрами R_1 и d представлена на рис. 6.

Испытания, проводимые специалистами ВНИИЖТ на Восточном полигоне, показали, что при достижении тоннажа 100 млн т брутто в кривых малого радиуса на особо грузонапряженных участках пути имеет место раздавливание головки рельса и, как следствие,

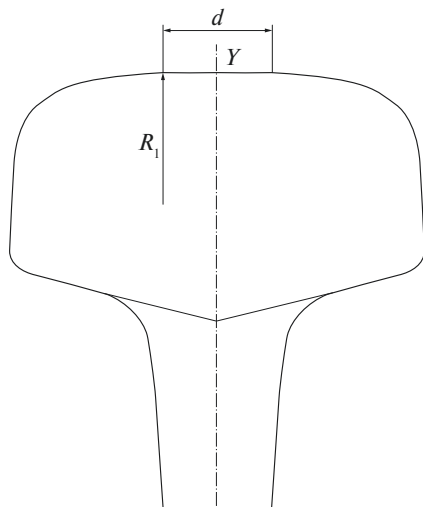


Рис. 6. Параметры контроля профиля рельса

Fig. 6. Rail profile control parameters intensity

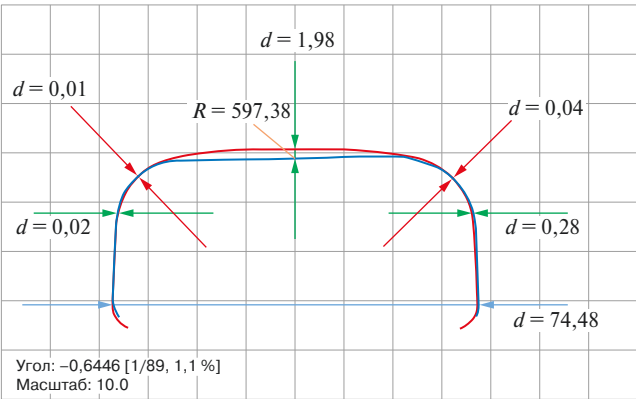


Рис. 7. Поперечный профиль головки рельса внутренней нити кривой радиуса 327 м после пропуска тоннажа 100 млн т брутто
Fig. 7. Transverse profile of the rail head of the inner thread of the curve of radius 327 m after handling a tonnage of 100 million gross tons

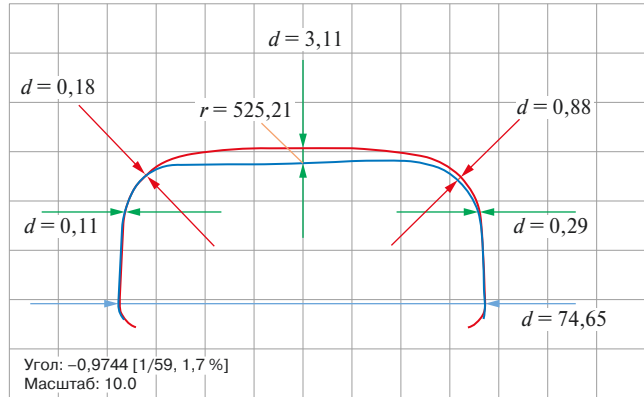


Рис. 8. Поперечный профиль головки рельса внутренней нити кривой радиуса 300 м после пропуска тоннажа 100 млн т брутто
Fig. 8. Transverse profile of the rail head of the inner thread of the curve of radius 300 m after handling a tonnage of 100 million gross tons

отрицательный радиус поверхности катания головки внутренней нити (рис. 7, 8).

При своевременном шлифовании этого можно было бы избежать и обеспечить лучшее взаимодействие в системе «колесо — рельс», которое, в свою очередь, обеспечило бы снижение интенсивности износа и образования дефектов контактной усталости. Также необходимо приведение величин возвышения наружного рельса в соответствие с фактически реализуемыми скоростями движения грузовых поездов.

Для оптимизации ремонтных профилей при различных условиях эксплуатации и расширения критериев назначения шлифования рельсов в качестве параметров контроля нужно дополнительно включить основные параметры поверхности катания головки рельса: центральный радиус катания R_1 и длину дуги центрального радиуса d . В случае выявления отступлений от требований норм следует назначать плановую профильную шлифовку. Параметры поверхности катания рельса R_1 и d для составления программ шлифования в зависимости от условий эксплуатации представлены в табл. 6 и 7.

Таблица 6

Значения R_1 (мм), d (мм) для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов

Table 6

R_1 (mm), d (mm) values to minimise rail defect formation intensity

Профиль колеса	Прямые и пологие кривые	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
		Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	600, 25	400, 20	435, 30	435, 20	375, 30

Таблица 7

Значения R_1 (мм), d (мм) для минимизации интенсивности износа рельсов

Table 7

R_1 (mm), d (mm) values to minimise rail wear rate

Профиль колеса	Кривые среднего радиуса		Кривые малого радиуса	
	Внутренний рельс	Наружный рельс	Внутренний рельс	Наружный рельс
Коническое колесо по ГОСТ 10791–2011 (двухточечное контактирование)	725, 20	725, 25	375, 30	375, 30

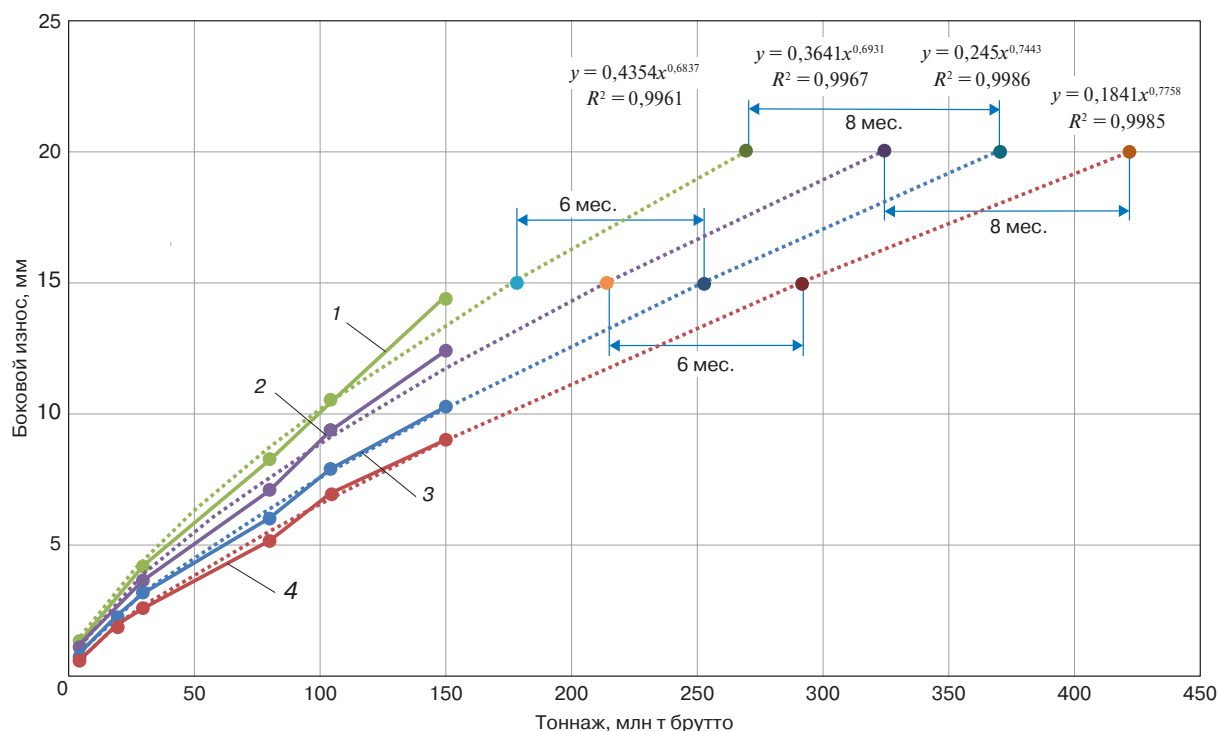


Рис. 9. Изменения бокового износа по мере роста тоннажа для кривых, где шлифование проводилось, и на участки, где шлифование не проводилось, с прогнозированием до достижения величин 15 и 20 мм:
1 — ДТ350; 2 — ДТ400; 3 — ДТ350Ш; 4 — ДТ400Ш

Fig. 9. Changes in lateral wear as tonnage increases for ground curves and on unground sections with projections until 15 and 20 mm are reached:
1 — ДТ350; 2 — ДТ400; 3 — ДТ350Sh; 4 — ДТ400Sh

Обсуждение и заключение. На основании анализа полученных данных сформулированы рекомендуемые параметры поверхности катания рельсов для минимизации интенсивности образования дефектов рельсов и интенсивности износа рельсов. Согласно проведенным расчетам для кривых малого радиуса значения нормированной повреждаемости рельсов износом в разы выше значений нормированной повреждаемости рельсов дефектами от различных сочетаний профилей колес и головки рельса. Таким образом, в случае преобладания на участке пути кривых малого радиуса рекомендуется:

для конических форм профилей колеса по ГОСТ 10791–2011 и внутреннего рельса выбирать ремонтный профиль рельса Р65 с головкой рельса радиусом в диапазоне $R_1 = 350 \div 400$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 25 \div 30$ мм, для наружного рельса — ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 350 \div 450$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 20 \div 30$ мм.

Согласно проведенным расчетам износы и дефекты поверхности катания и головки рельса для кривых среднего радиуса одинаково влияют на повреждаемость рельсов. Таким образом, в случае преобладания на участке пути кривых среднего радиуса рекомендуется:

для конического профиля колеса по ГОСТ 10791–2011 и внутреннего рельса выбирать ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 400 \div 450$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 15 \div 25$ мм, для наружного рельса — ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 400 \div 475$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 25 \div 30$ мм.

Значения нормируемой повреждаемости и износа рельса для прямых и пологих кривых в большинстве случаев равны нулю. Таким образом, в случае преобладания на участке пути прямых и пологих кривых рекомендуется:

для конического профиля колеса по ГОСТ 10791–2011 по обеим нитям выбирать ремонтный профиль рельса Р65 с головкой радиусом в диапазоне $R_1 = 550 \div 650$ мм и длиной дуги центрального радиуса, равной $d = 25 \div 30$ мм.

Испытания рельсов ДТ400ИК и ДТ350 проводились на Забайкальской и Восточно-Сибирской дирекциях инфраструктуры в кривых малых радиусов (290–400 м) [19]. Для снижения влияния состояния пути в расчет принимались данные, собранные в круговых кривых.

На рис. 9 приведен график изменения бокового износа с разбивкой на кривые, где шлифование

проводилось с применением ремонтных профилей, и на участки, где шлифование не проводилось, с прогнозированием достижения предельных значений 15 и 20 мм по мере увеличения наработки тоннажа.

Несмотря на то, что помимо шлифования на интенсивность износа оказывают влияние и ряд других эксплуатационных факторов (лубликация, возвышение упорной нити и т. д.), графики наглядно показывают его эффективность. Так, наработка рельсов по показателю предельного бокового износа упорных нитей в кривых малых радиусов для шлифованных рельсов была на 6–8 месяцев выше, чем для нешлифованных.

Выводы. 1. Предложены ремонтные профили головок рельсов для различных условий эксплуатации с целью их применения в программах шлифования.

2. В число критериев для назначения шлифования предлагается включить основные параметры поверхности катания: центральный радиус катания R_1 и длину дуги центрального радиуса d .

3. Апробация профилей для кривых малых радиусов проводилась на Забайкальской и Восточно-Сибирской дирекциях инфраструктуры.

4. Подтверждена эффективность шлифования для снижения бокового износа наружных нитей кривых: наработка рельсов по предельному боковому износу на участках, где шлифование проводилось, и участках, где оно не проводилось, была выше на 6–8 месяцев.

5. Полученные результаты могут быть использованы при актуализации действующей нормативно-технической документации на шлифование рельсов в пути.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Высокоскоростное шлифование рельсов // Железные дороги мира. 2011. № 8. С. 62–66. EDN: <https://elibrary.ru/okkjmt>.
High-speed rail grinding. *Zheleznyye dorogi mira*. 2011;(8):62-66. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/okkjmt>.
2. Эволюция повреждаемости рельсов с дефектами контактной усталости / Е. А. Шур [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2015. № 3. С. 3–9. EDN: <https://elibrary.ru/tuvqnp>.

Shur E. A., Borts A. I., Sukhov A. V., Abdurashitov A. Yu., Bazanova L. V., Zagranichek K. L. Evolution of the contact-fatigue defects caused rail failure rate. *Russian Railway Science Journal*. 2015;(3):3-9. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tuvqnp>.

3. Омарбеков А. К. О взаимодействии колеса и рельса пассажирских вагонов компании Patentes Talgo S.A. // Устройство и содержание пути и подвижного состава при тяжеловесном и скоростном движении поездов. Колесо — рельс: сб. науч. тр. науч.-практ. конф., Москва, 28–29 октября 2008 г. М.: ВНИИЖТ, 2008. С. 80–83.

Omarbekov A. K. On the interaction between wheel and rail of passenger cars of Patentes Talgo S.A. In: *Arrangement and maintenance of track and rolling stock for heavy-weight and high-speed train traffic. Wheel – Rail: Collection of sci. papers of research to practice conf., 28–29 October 2008, Moscow*. Moscow: VNIIZhT; 2008. p. 80–83. (In Russ.).

4. Абдурашитов А. Ю. Профильное шлифование как один из факторов продления срока службы рельсов в пути // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2000. № 6. С. 28–33.

Abdurashitov A. Yu. Profile grinding as a factor of track rail service life extension. *Russian Railway Science Journal*. 2000;(6):28-33. (In Russ.).

5. Абдурашитов А. Ю. Профильное шлифование рельсов: необходим комплексный подход // Путь и путевое хозяйство. 2003. № 5. С. 2–6.

Abdurashitov A. Yu. Profile rail grinding: a comprehensive approach is required. *Railway Track and Facilities*. 2003;(5):2-6. (In Russ.).

6. Абдурашитов А. Ю. Профильное шлифование рельсов // Путь и путевое хозяйство. 2005. № 4. С. 14–20.

Abdurashitov A. Yu. Rail profile grinding. *Railway Track and Facilities*. 2005;(4):14-20. (In Russ.).

7. Абдурашитов А. Ю., Аникеева А. В. Современные технологии профильного шлифования рельсов и их эффективность // Повышение эффективности устройства и содержания железнодорожного пути: сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ». М.: ВМГ-Принт, 2014. С. 4–12. EDN: <https://elibrary.ru/vjqezt>.

Abdurashitov A. Yu., Anikeeva A. V. Modern technologies of rail profile grinding and their efficiency. In: *Improving the efficiency of rail track arrangement and maintenance: Collection of the Railway Research Institute researchers papers*. Moscow: VMG-Print Publ.; 2014. p. 4–12. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vjqezt>.

8. Крысанов Л. Г. Эффективность профильной обработки рельсов // Путь и путевое хозяйство. 1996. № 12. С. 2–6.

Krysanov L. G. Rail profile machining efficiency. *Railway Track and Facilities*. 1996;(12):2-6. (In Russ.).

9. Ильиных А. С., Матафонов А. В. Российский и зарубежный опыт эксплуатации рельсошлифовальных поездов // Наука и техника транспорта. 2014. № 3. С. 99–103. EDN: <https://elibrary.ru/smzckh>.

Il'inykh A. S., Matafonov A. V. Russian and foreign experience of rail grinding train operation. *Science and Technology in Transport*. 2014;(3):99-103. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/smzckh>.

10. Guidat A. The fundamental benefits of preventive rail grinding. *Rail Engineering International*. 1996;25(1):4-6.

11. Анализ состояния рабочей поверхности рельсов опытных партий на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» / М. Ю. Хвостик [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77, № 3. С. 141–148. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-3-141-148>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V., Bykova O. A., Beresten' G. A. Performance analysis of the working surface of the rails from test batches on the test loop of JSC “VNIIZhT”. *Russian Railway Science Journal*. 2018;77(3):141-148. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-3-141-148>.

12. Хвостик М. Ю., Хромов И. В. Сравнение методов испытаний рельсов в эксплуатации // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 6. С. 9–12. EDN: <https://elibrary.ru/dryqbt>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V. Comparison of test methods for rails in operation. *Railway Track and Facilities*. 2022;(6):9-12. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/dryqbt>.

13. Хвостик М. Ю., Хромов И. В. Адаптация технологии фрезерования рельсов для применения на российских дорогах // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 2. С. 6–8. EDN: <https://elibrary.ru/jozbjo>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V. Adaptation of rail milling technology for application on Russian railways. *Railway Track and Facilities*. 2023;(2):6-8. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/jozbjo>.

14. Хвостик М. Ю., Хромов И. В. Адаптация технологии фрезерования рельсов для применения на российских дорогах // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 3. С. 8–10. EDN: <https://elibrary.ru/wgwklu>.

Khvostik M. Yu., Khromov I. V. Adaptation of rail milling technology for application on Russian railways. *Railway Track and Facilities*. 2023;(3):8-10. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/wgwklu>.

15. Шиладжян А. А., Хромов И. В. Испытания старогонных репрофилированных рельсов в московском метрополитене // Особенности системы ведения рельсового хозяйства на российских железных дорогах: сб. тр. ученых АО «ВНИИЖТ». М.: РАС, 2017. С. 118–126.

Шиладжян А. А., Хромов И. В. Tests of used reprofiled rails in the Moscow Metro. In: *Peculiarities of the rail maintenance system on Russian railways: Collection of the Railway Research Institute researchers papers*. Moscow: RAS Publ.; 2017. p. 118–126.

16. Орлова А. М., Савушкин Р. А., Федорова В. И. Разработка улучшенного профиля колеса для грузового вагона. Теоретическое обоснование // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77, № 5. С. 269–279. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-269-279>.

Orlova A. M., Savushkin R. A., Fedorova V. I. Development of an improved wheel profile for a freight car. Theoretical justification. *Russian Railway Science Journal*. 2018;77(5):269-279. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-269-279>.

17. Орлова А. М., Савушкина Ю. В., Федорова В. И. Моделирование движения вагона и расчет износа колес с профилем поверхности катания ВНИИЖТ // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78, № 1. С. 41–47. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-41-47>.

Orlova A. M., Savushkina Yu. V., Fedorova V. I. Modelling car motion and the calculation of the wear of wheels with the VNITSTT rolling surface profile. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(1):41-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-41-47>.

18. Заграничек К. Л., Назаров И. В., Суслов О. А. Методика расчета ресурса верхнего строения пути. М.: ВНИИЖТ, 2023. 59 с.

Zagranichnik K. L., Nazarov I. V., Suslov O. A. Methodology for calculating the service life of the upper track structure. Moscow: VNIIZhT; 2023. 59 p.

19. Хромов И. В., Дмитриев Д. А. Результаты сравнительных эксплуатационных испытаний рельсов на износостойкость // Железная дорога: путь в будущее: сб. материалов I Междунар. науч. конф. аспирантов и молодых ученых, Москва, 28–29 апреля 2022 г.. М.: ВНИИЖТ, 2022. С. 68–74. EDN: <https://elibrary.ru/qkafff>.

Khromov I. V., Dmitriev D. A. Results of comparative rail operation tests for wear resistance. In: *Railways: A Path to the Future: A source book of the I International Scientific Conference of Postgraduate and Young Scientists, 28–29 April 2022, Moscow*. Moscow: VNIIZhT; 2022. p. 68–74. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/qkafff>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Олег Александрович СУСЛОВ,

д-р техн. наук, технический эксперт, научный центр «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10)

Илья Владимирович ХРОМОВ,

главный специалист, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oleg A. SUSLOV,

Dr. Sci. (Eng.), Expert Engineer, Infrastructure Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.)

Ilya V. KHROMOV,

Chief Specialist, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.)

ВКЛАД АВТОРОВ

Олег Александрович СУСЛОВ. Разработка идеи и плана исследования, формирование целей и задач, планирование программы расчетов, редактирование рукописи статьи (60%).

Илья Владимирович ХРОМОВ. Подготовка данных, программирование, выполнение расчетов, анализ расчетных данных, написание статьи (40%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Oleg A. SUSLOV. Developing the research idea and plan, goal and task setting, planning the calculation programme, article manuscript editing (60%).

Ilya V. KHROMOV. Data preparation, programming, calculations, calculated data analysis, article writing (40%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 11.03.2024, рецензия от первого рецензента получена 16.04.2024, рецензия от второго рецензента получена 27.04.2024, принята к публикации 30.05.2024.

The article was submitted 11.03.2024, first review received 16.04.2024, second review received 27.04.2024, accepted for publication 30.05.2024.

Оригинальная статья
УДК 625.143:620.1:539.3
EDN: <https://elibrary.ru/euiibc>



Кривые контактной усталости рельсовой стали

В. И. Сакало, А. В. Сакало ✉

Брянский государственный технический университет (БГТУ),
Брянск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема контактно-усталостных повреждений рельсов приобрела особую актуальность в связи с ростом грузонапряженности железных дорог. Эффективным методом исследования влияния различных факторов на образование повреждений является метод математического моделирования динамики движения и процессов накопления контактно-усталостных повреждений в материале рельса. При моделировании процессов накопления повреждений используется кривая зависимости количества циклов нагружения колеса или расчетного сечения рельса до появления контактно-усталостных разрушений от значения выбранного критерия контактной усталости. Такая кривая может быть получена только экспериментальным путем.

Материалы и методы. Проведены стендовые испытания на контактную усталость образцов из рельсовой стали в форме роликов. Установка для испытаний оригинальной конструкции позволяла создавать нагрузку на ролики до 4000 Н. Обработка опытных данных выполнена с помощью метода конечных элементов. Задача перекачивания образца и контртела решалась в упругопластической постановке.

Результаты. Выполнено исследование влияния размеров и формы контактирующих поверхностей образцов для испытаний на контактную усталость на распределение контактных давлений. Сконструирована и изготовлена установка для испытаний на контактную усталость по схеме качения ролика по ролику. Проведены испытания образцов из рельсовой стали на контактную усталость. Обработка результатов выполнена с помощью метода конечных элементов, построены кривые контактной усталости рельсовой стали по трем критериям: комбинированному, критерию Данг Вана, амплитудному значению максимального касательного напряжения.

Обсуждение и заключение. В результате применения разработанного методического подхода были получены кривые контактной усталости рельсовой стали. Кривые могут быть использованы в моделировании процесса накопления контактно-усталостных повреждений в материале рельса при различных нагрузках на ось, динамических нагрузках, возникающих при движении подвижного состава в кривых и прямых участках пути, различных профилях катания колес и рельсов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рельсовая сталь, контактная усталость, образцы для испытаний на контактную усталость, установка для испытаний на контактную усталость, критерии контактной усталости, моделирование накопления контактно-усталостных повреждений

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сакало В. И., Сакало А. В. Кривые контактной усталости рельсовой стали // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 124–135.

Original article

UDK 625.143:620.1:539.3

EDN: <https://elibrary.ru/euiibc>



Rail steel contact fatigue curves

Vladimir I. Sakalo, Alexey V. Sakalo✉

Bryansk State Technical University,
Bryansk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The problem of contact fatigue damage of rails has become especially urgent with the intensified railway freight load. An effective method of studying various damage factors is mathematical simulation of the dynamics of motion and accumulation of contact fatigue damage in the rail material. The damage accumulation simulation uses a curve of dependence of the number of wheel loading cycles or design rail section until contact fatigue failure on the value of the selected contact fatigue criterion. This curve could only be obtained in an experiment.

Materials and methods. The authors performed bench-scale contact fatigue testing of roller-shape rail steel specimens. The test rig of original design created a load of up to 4000 N on the rollers. The experimental data were processed using the finite element method. The problem of rolling the specimen and the counterbody was solved in the elastoplastic formulation.

Results. The authors studied the effects of the size and shape of the contact surfaces for the contact fatigue test specimens on the distribution of contact pressures. They designed and built a roller-on-roller contact fatigue test rig. The researchers tested rail steel specimens for contact fatigue. The results were processed using the finite element method with the plotting of contact fatigue curves of rail steel according to three criteria: combined, Dang Van criterion, amplitude value of maximum shear stress.

Discussion and conclusion. The developed methodological approach yielded contact fatigue curves of rail steel. The curves may be used in simulations of the accumulation of contact fatigue damage in the rail material under different axle loads, dynamic loads arising when the rolling stock moves in curves and straight track sections with different rolling profiles of wheels and rails.

KEYWORDS: rail steel, contact fatigue, contact fatigue test specimens, contact fatigue test rig, contact fatigue criteria, contact fatigue damage accumulation simulation

FOR CITATION: Sakalo V.I., Sakalo A.V. Rail steel contact fatigue curves. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):124-135. (In Russ.).

Введение. Увеличение объема грузовых перевозок на отечественных магистралях приводит к интенсивному росту количества контактно-усталостных повреждений рельсов. За период с 2019 по 2021 г. доля дефектов контактно-усталостного происхождения возросла с 48 до 55 % от общего числа дефектов [1]. Для решения проблемы прогнозирования контактно-усталостной долговечности рельсов разрабатываются методы моделирования возникновения контактно-усталостных повреждений рельсов на основе различных подходов и критериев контактной усталости [2, 3]. Одним из подходов является компьютерное моделирование накопления повреждений [4]. Для реализации этого подхода необходимы кривые зависимости контактно-усталостной долговечности (количества циклов переменных напряжений до образования выщербин) рельсовой стали от значения критерия, в качестве которого может использоваться максимальное контактное давление, амплитудное значение максимального касательного напряжения, критерий Данг Вана и другие. Кривые могут быть использованы для качественного сравнения сопротивления контактной усталости рельсов выпуска разных заводов, рельсов с разной структурой сталей (например, бейнитных и перлитных заэвтектоидных и др.). Для каждой марки стали усталостные кривые получают путем испытания образцов. С использованием кривых контактной усталости расчет долговечности рельсов может быть выполнен для различных условий эксплуатации: при различных нагрузках на ось, в прямых и кривых участках пути, при различных профилях поверхностей катания колес и рельсов.

Целью настоящей работы является получение кривых контактной усталости рельсовой стали, необходимых для компьютерного моделирования процессов накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах. В ходе исследования решались следующие задачи: выбор формы и размеров образцов, разработка установки для испытаний на контактную усталость, проведение испытаний на контактную усталость образцов, обработка результатов испытаний и построение кривых контактной усталости рельсовой стали.

Методика исследования. Как правило, в лабораторных условиях для испытаний образцов на контактную усталость используются машины трения, позволяющие реализовать схему качения ролика по ролику. В [5] приведены результаты испытаний с образцами типа роликов диаметром 30 мм и толщиной 8 мм. Образец из бандажной стали имел цилиндрическую форму, образец из рельсовой стали — торообразную, описанную радиусом 25 мм (рис. 1). В средней части образца из рельсовой стали поверхность катания цилиндрическая шириной 4 мм. Пару контактирующих

образцов составляли: один из бандажной стали, другой из рельсовой. Каждый из них имел индивидуальный привод, при этом продольное проскальзывание в контакте составляло 10 %. Испытания проводились на девяти уровнях нагрузки на образцы, при которых максимальное давление в контакте варьировалось от 496 до 1570 МПа. На поверхности образцов подавалось легкое минеральное масло. Испытания продолжались до появления на поверхностях образцов контактно-усталостных трещин.

В [6] приведены результаты экспериментальных исследований контактной усталости рельсовой стали с целью определения влияния остаточных напряжений на ее долговечность. Испытания проводились на высокоскоростной установке, позволяющей моделировать шеллинг поверхностей катания. Диаметры образцов: колесной стали — 500 мм, рельсовой стали — 350 мм. Профили поверхностей катания назначались такими, чтобы контакт был подобен контакту колеса и рельса на линиях высокоскоростной сети железных дорог «Синкансэн» (Япония). Испытания проводились на трех уровнях нагрузки на ролики: 13,7; 15,6 и 31 кН, которые соответствовали нагрузкам для натуральных условий 75, 85 и 170 кН. Моделировалось движение экипажа со скоростью 200 км/ч. В контакте создавалась продольная касательная сила, равная по величине 0,02 от нормальной нагрузки на модель колеса. В качестве лубриканта использовалась вода. Остаточные напряжения в образце из рельсовой стали определялись после испытания на контактную усталость с вырезанием фрагментов образца на середине ширины поверхности катания и измерением их деформации, соответствующей релаксации напряжений во фрагменте.

В [7] описаны испытания с образцом, отличающимся по форме от ранее рассмотренных. Образец представлял собой кольцо диаметром 30 мм с диаметром внутренней поверхности 16 мм и толщиной 12,7 мм. Поверхность катания образца — плоская торцевая. Нижний образец фиксировался в корпусе установки с горизонтальным расположением торцевой поверхности. На него устанавливалась обойма с шариками диаметром 3,69 мм. На шарики опирался верхний образец, закрепленный на валу, по вертикальной осевой линии которого прикладывалась нагрузка. Испытания велись при скорости вращения вала 1840 об/мин на шести уровнях нагрузки, при которых максимальные контактные давления были равны 2165, 2434, 2724, 3117, 3434 и 5696 МПа. В качестве лубриканта, подаваемого на поверхности катания, использовалось минеральное масло. Для отключения установки и таймера при возникновении заданного уровня вибраций использовался виброметр. Повышенные вибрации свидетельствовали о появлении повреждений

на поверхности образца. Такого же типа образец для испытания рельсовой стали на контактную усталость применялся в [8]. Плоские образцы в виде колец были вырезаны из слоя рельсовой стали, максимально приближенного к поверхности катания. Образец имел диаметр наружной поверхности 26 мм и толщину 6 мм. Испытания проводились на установке следующего устройства. В центральной части установки расположен электродвигатель с зубчатым колесом с вертикально ориентированной осевой линией. Зубчатое колесо входит в зацепление с девятью шестернями, установленными в подшипниковых узлах, расположенных в окружном направлении вокруг зубчатого колеса. Испытываемый образец устанавливается на валу шестерни. На него опираются 4 шарика диаметром 4,8 мм из подшипниковой стали ШХ15, расположенные в обойме. Сверху на обойму с шариками укладывается шайба, через которую прикладывается нагрузка. Установка позволяет испытывать одновременно 9 образцов. Скорость вращения вала с зубчатым колесом составляет 4250 об/мин.

В [9, 10] приведены результаты испытаний перлитных и бейнитных сталей на контактную усталость. Образцы выполнялись из двух марок рельсовой перлитной стали и четырех марок бейнитной стали. Использовалась машина трения типа Амслер в режиме контакта диска с диском. Машина типа Амслер в этом режиме обеспечивает нагрузку на образцы до 2000 Н. Для приложения более высоких нагрузок тензометрическая пружина заменялась на пружину с большей жесткостью, что обеспечило проведение испытаний с нагрузками от 700 до 5000 Н. Использовались цилиндрические образцы диаметром 35 мм, толщиной 10 мм с фасками. Ширина поверхности катания составляла 4 мм. Для периодического определения деформаций сдвига точек подконтактного слоя, обусловленных пластическими деформациями, без разрезания образцов один из них выполнялся составным из двух одинаковых частей (рис. 2). На стыкуемых поверхностях составного образца наносилась сетка с размещением 50 линий на 1 мм. Две половины составного образца плотно скреплялись тремя болтами. Периодически испытания прерывались и замерялись перемещения внедрений точек с помощью микроскопа с увеличением $400\times$.

С использованием результатов испытаний авторами приведенных выше работ получены кривые контактной усталости рельсовых сталей в виде зависимости количества циклов нагрузки до появления контактно-усталостных повреждений от максимального контактного давления. Критерий контактной прочности — максимальное контактное давление —

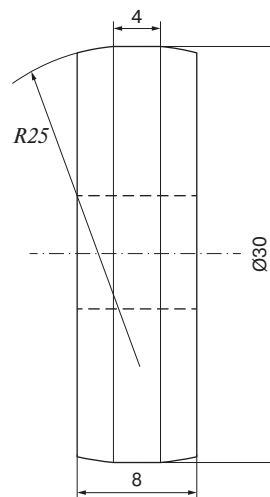


Рис. 1. Образец из рельсовой стали [5]

Fig. 1. Rail steel specimen [5]

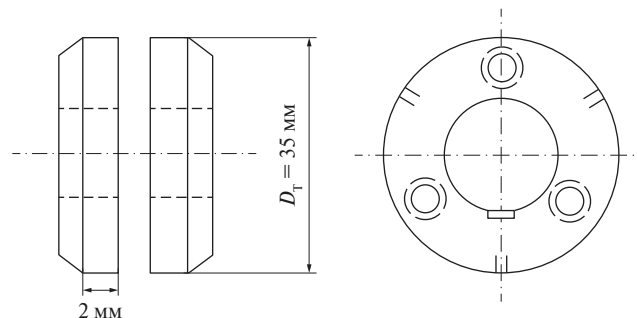


Рис. 2. Составной образец [9, 10]

Fig. 2. Composite rail steel specimen [9, 10]

используется в расчетах на контактную усталость, хотя он не позволяет учесть такой фактор, как наличие касательной силы в контакте. Напряженное состояние в подконтактном слое материала может оцениваться лишь косвенным образом.

В настоящей работе решаются задачи проведения испытаний рельсовой стали на контактную усталость и с использованием их результатов получения кривых контактной усталости в зависимости от критериев, которые позволяют учесть в том или ином виде компоненты трехосного напряженного состояния в точках подконтактного слоя.

Выбор формы образцов для испытания на контактную усталость. В рекомендациях Р-50-54-30-87 «Методы испытаний на контактную усталость»¹ приведен обширный перечень геометрических форм образцов и контртел. Из них в испытаниях на контактную усталость рельсовых сталей нашли применение:

¹ Расчеты и испытания на прочность. Методы испытаний на контактную усталость. Рекомендации Р-50-54-30-87: утв. приказом ВНИИММ от 08.12.1987 № 379. М., 1988. 122 с.

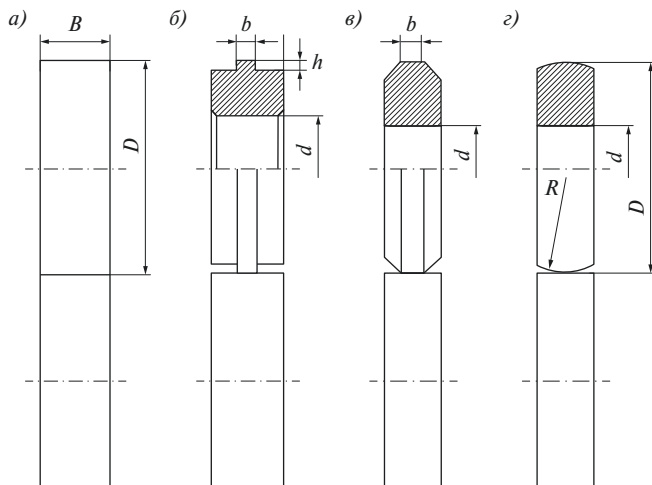


Рис. 3. Геометрические формы образцов для испытания на контактную усталость:
 а — цилиндрические; б — с буртиком; в — с фасками;
 г — с тороидальной поверхностью

Fig. 3. Geometric shapes of specimens for rolling contact fatigue testing:
 a — cylindrical; б — with flange; в — with chamfers;
 г — with toroidal surface

цилиндр с цилиндром, тороид с цилиндром, шар с плоской плитой.

Планирование испытаний на контактную усталость начинается с выбора размеров испытываемых образцов и формы их контактирующих поверхностей. Важным аспектом является необходимость соблюсти баланс: получить большое давление в контакте при относительно небольшой нагрузке на ролики. С помощью метода конечных элементов авторами исследовано влияние формы контактирующих поверхностей роликов на максимальное давление в контакте [11].

К образцам, использующимся для испытаний на контактную усталость, предъявляются два основных требования: постоянство распределения давлений по длине контакта, сохранение геометрии поверхностей катания в ходе испытаний. К выполнению этих требований близки ролики цилиндрической формы (рис. 3, а). Для них под длиной контакта понимается размер полосы контакта по образующей цилиндра, а под шириной — размер полосы по направлению качения.

Эпюра распределения давлений в контакте роликов диаметром $D = 40$ мм и толщиной $B = 8$ мм при приложенной к ним нагрузке P , равной 880 Н, и максимальном давлении $p_0 = 1000$ МПа приведена на рис. 4, а. Она получена при решении в упругой постановке. Лишь вблизи торцевых плоскостей образца на небольших участках наблюдается снижение давлений. Это объясняется тем, что в центральной части образца напряженное состояние — плоская деформация, а у торцов — плоское напряженное состояние.

Для получения максимального давления около 2000 МПа погонная нагрузка на образцы должна быть

равной 1146 кН/м. При толщине образца 8 мм необходимо приложить нагрузку 9,168 кН. Для проведения таких испытаний необходима установка с максимальной нагрузкой около 10 кН, в то время как установки для испытания на контактную усталость в режиме диск — диск обеспечивают приложение наибольшей нагрузки 2 кН.

Если образец имеет толщину $B = 3$ мм, то при приложении нагрузки 880 Н погонная нагрузка должна составлять 293 кН/м, а максимальное условное герцевское давление — 3200 МПа. Материал подконтактного слоя при этом пластически деформируется. Поэтому решение выполнено в упругопластической постановке и получено распределение давлений, показанное на рис. 4, б. По всей длине контакта они распределены неравномерно.

С целью уменьшения нагрузки на образцы уменьшают ширину поверхности катания за счет выполнения буртиков шириной b и высотой h (рис. 3, б).

В [12] использованы образцы с буртиком с размерами $D = 60$ мм, $B = 10$ мм, $h = 1,5$ мм, $b = 1,5$ мм, в [13] — с размерами $D = 60$ мм, $B = 20$ мм, $b = 5$ мм, $h = 3$ мм. Здесь было выполнено решение контактной задачи для образца диаметром $D = 40$ мм с буртиком размерами $b = 3$ мм, $h = 3$ мм при нагрузках $P = 880$ Н и $P = 3600$ Н. При небольшой нагрузке, равной 880 Н, не вызывающей пластических деформаций в подконтактном слое, давления близки к постоянным по длине контакта (рис. 4, в). При большой нагрузке $P = 3600$ Н для получения максимального давления хотя бы 1420 МПа, вызывающей пластические деформации, распределение давлений (рис. 4, г) еще более неравномерное, чем для образца толщиной $B = 3$ мм без буртика (рис. 4, б).

Уменьшение ширины поверхности катания образца достигается также снятием фасок (рис. 3, в). Составные образцы с шириной поверхности катания 4 мм использованы в [9, 10]. Фаски сняты под углом 45° . Распределения давлений по полосе контакта для образцов с фасками, снятыми под углами 30 и 45° , при нагрузках $P = 1000$ Н и максимальном давлении 1000 МПа показаны на рис. 4, д, е. Они слабо зависят от угла наклона фаски и характеризуются явно выраженными краевыми эффектами по концам полосы контакта. Для всех приведенных вариантов максимальное давление принималось равным давлению на середине длины полосы контакта.

В [14, 15] в качестве контртел использованы ролики диаметром 40 мм, изготовленные из твердого сплава ВК8 (рис. 3, г). Они имеют тороидальную поверхность катания, описанную радиусом 18 мм. В процессе испытаний такие ролики прокатывают на образце желоб, по краям которого наблюдаются краевые эффекты.

Для проведения испытаний образцов из рельсовой стали на контактную усталость авторами выбрана схема качения ролика по ролику, представленная на рис. 3, в:

- первый образец — цилиндрический диаметром 40 мм с фасками, снятыми под углом 30° , толщина 8 мм, ширина дорожки катания 3 мм;

- второй образец — цилиндрическое контртело диаметром 40 мм, толщиной 8 мм.

Установка для испытания образцов на контактную усталость. Для испытания образцов на контактную усталость используются машины трения марок СМЦ-2, ИИ 5018, 2070 СМТ-1, которые в режиме диск — диск обеспечивают максимальное усилие сжатия образцов до 2000 Н, что недостаточно для создания нужного давления. Авторами была сконструирована установка для испытания образцов при нагрузках, достигающих 4000 Н [11].

Все узлы установки смонтированы на основании 8 (рис. 5). На нем установлен электродвигатель 1 мощностью 1,1 кВт со скоростью вращения 1000 об/мин, упругая муфта 2, вал 3, опирающийся на корпусные шарикоподшипники 4 и 5, установленные на плите 10. На консольную часть вала насаживается образец 12. Для надежной фиксации образца на валу его консольная часть выполнена конической. Образец 12 с конической посадочной поверхностью насаживается затяжкой гайки. Между торцом образца и гайкой установлена тарельчатая пружина. Испытываемый образец диаметром 40 мм с фасками, снятыми под углом 30° , имеет ширину дорожки катания 3 мм.

Второй образец (цилиндрическое контртело) диаметром 40 мм насажен на вал с двумя подшипниками и установлен в каретке 6. На каретку опирается рычаг 7, один конец которого фиксируется в проушине 11, а ко второму присоединена тяга 14. Передаточное число рычага равно 6. Для приложения нагрузки к рычагу используется пружина 16, затяжка которой обеспечивается гайкой 18, насаженной на нарезную часть тяги 14. Жесткость пружины равна 30,5 Н/мм. Для измерения осадки пружины служит стержень 19 и шкала 15. Установка обеспечивает максимальную нагрузку на образцы 4000 Н при осадке пружины 22 мм. Общий вид установки показан на рис. 6.

В качестве лубриканта используется вода. На посадочные поверхности она подается фитильным методом. Количество циклов нагружения образцов определяется по времени испытаний. Испытания заканчиваются при появлении на поверхности образца выщербины размером 2...3 мм или при повышении уровня шума установки.

Результаты испытания образцов из рельсовой стали на контактную усталость. Испытания проведены на 6 уровнях нагрузки P на образцы: 780, 1140, 1396, 1602, 2838, 3450 Н. Максимальные контактные давления p_0 при этом составили 950, 1152, 1270, 1360, 1814, 2000 МПа

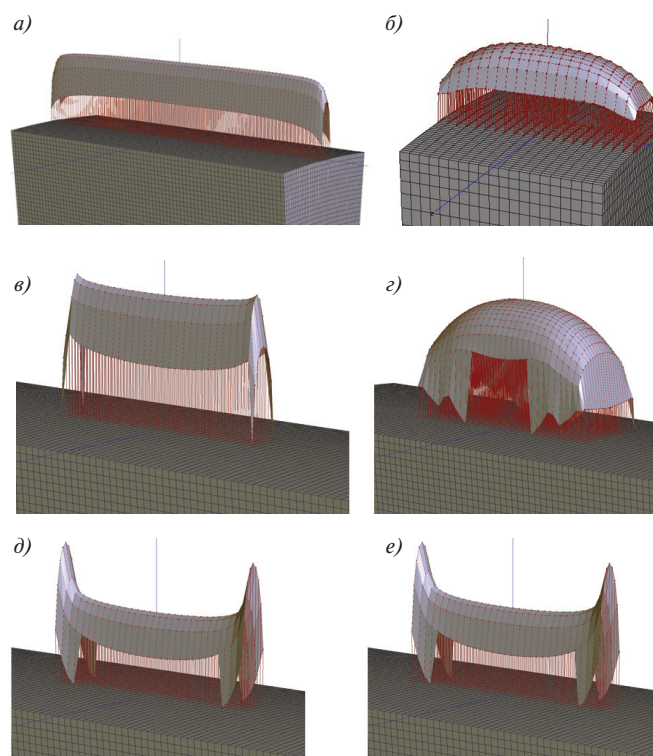


Рис. 4. Распределение давлений на поверхностях контакта образцов: а — цилиндрический образец, $D=40$ мм, $B=8$ мм, решение в упругой постановке, $P=880$ Н, $p_0=1000$ МПа; б — цилиндрический образец, $D=40$ мм, $B=3$ мм, решение в упругопластической постановке, $P=880$ Н, $p_0=1000$ МПа; в — образец с буртиком, $h=3$ мм, $b=3$ мм, решение в упругой постановке, $P=880$ Н, $p_0=1000$ МПа; г — образец с буртиком, $h=3$ мм, $b=3$ мм, решение в упругопластической постановке, $P=3600$ Н, $p_0=1420$ МПа; д — образец с фасками, снятыми под углами 30° , $b=3$ мм, решение в упругой постановке, $P=1000$ Н, $p_0=1000$ МПа; е — образец с фасками, снятыми под углами 45° , $b=3$ мм, решение в упругой постановке, $P=1000$ Н, $p_0=1000$ МПа

Fig. 4. Pressure distribution on the contact surfaces of specimens: а — cylindrical specimen, $D=40$ mm, $B=8$ mm, elastic solution, $P=880$ N, $p_0=1000$ MPa; б — cylindrical specimen, $D=40$ mm, $B=3$ mm, elasto-plastic solution, $P=880$ N, $p_0=1000$ MPa; в — specimen with flange, $h=3$ mm, $b=3$ mm, elastic solution, $P=880$ N, $p_0=1000$ MPa; г — specimen with flange, $h=3$ mm, $b=3$ mm, elasto-plastic solution, $P=3600$ N, $p_0=1420$ MPa; д — specimen with chamfers taken at an 30° , $b=3$ mm, elastic solution, $P=1000$ N, $p_0=1000$ MPa; е — specimen with chamfers taken at an 45° , $b=3$ mm, elastic solution, $P=1000$ N, $p_0=1000$ MPa

соответственно. Была проведена серия испытаний с подачей на поверхности катания образцов индустриального масла И-20А. Появления контактно-усталостных трещин на образцах при перечисленных нагрузках не обнаружено. Вторая серия испытаний проведена с подачей на поверхности воды. Образцы вырезаны из головки бывшего в эксплуатации рельса Р65 категории ДТ350 по ГОСТ Р 51685–2013². Торцевыми поверхностями они располагались перпендикулярно

² ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 95 с.

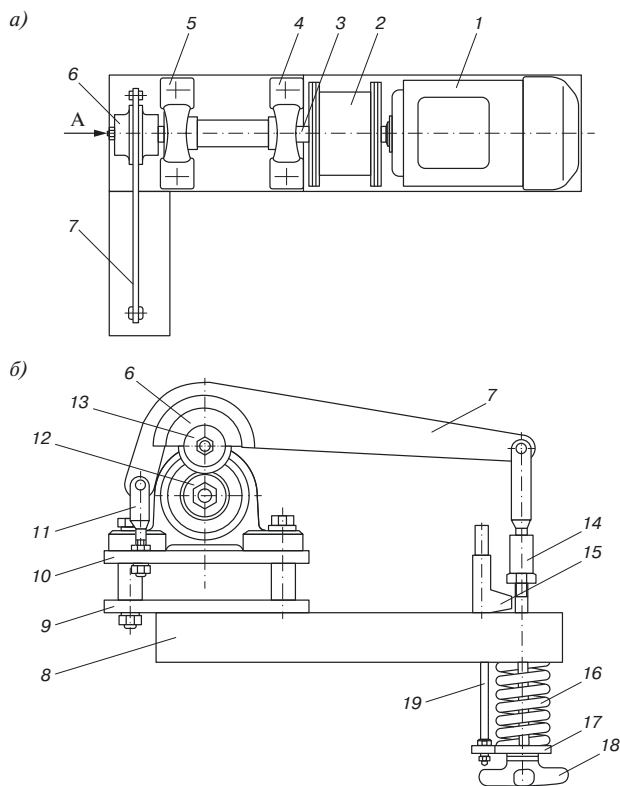


Рис. 5. Схема установки для испытания образцов на контактную усталость:

a — вид сверху; *б* — вид по А; 1 — электродвигатель; 2 — упругая муфта; 3 — вал; 4, 5 — корпусной подшипник; 6 — каретка; 7 — рычаг; 8 — основание; 9, 10 — плита; 11 — проушина; 12 — образец; 13 — контртело; 14 — тяга; 15 — шкала; 16 — пружина; 17 — чашка; 18 — гайка; 19 — стержень

Fig. 5. Scheme of the test rig for testing specimens for rolling contact fatigue:

a — view from above; *б* — view A; 1 — electric motor; 2 — elastic coupling; 3 — shaft; 4, 5 — bearing; 6 — carriage; 7 — lever arm; 8 — base; 9, 10 — plate; 11 — eye; 12 — specimen; 13 — counterbody; 14 — rod; 15 — scale; 16 — spring; 17 — bowl; 18 — nut; 19 — bar



Рис. 6. Общий вид установки для испытания образцов на контактную усталость

Fig. 6. General view of the test rig for testing specimens for rolling contact fatigue

оси рельса. Образцы № 18 и 19 вырезаны из под-контактного слоя головки рельса с расположением торцевых поверхностей параллельно поверхности катания.

Результаты испытаний представлены в табл. 1. Кроме нагрузок и максимальных расчетных давлений в ней представлено количество циклов до появления выщербины и ширина полосы контакта $2b$. Выщербины имели размеры: 2 мм по ширине поверхности катания образца, 3 мм в окружном направлении, глубину 0,15...0,28 мм. Вид образца с выщербиной показан на рис. 7.

Для образцов № 17 и 18, один из которых вырезан с расположением торцевой поверхности перпендикулярно оси рельса, а другой с расположением торцевой поверхности параллельно поверхности катания, получены близкие результаты по количеству циклов до появления выщербин.

Обработка результатов испытаний. Построение кривых контактной усталости. Для построения кривых контактной усталости выполнена обработка результатов испытаний с помощью метода конечных элементов. Цель обработки результатов испытаний — получение компонентов напряжений в подконтактной области образца с учетом остаточных напряжений при нагрузке, приложенной в испытаниях, и вычисление с их использованием значений трех критериев контактной прочности: амплитудного значения максимального касательного напряжения, Данг Вана и комбинированного. Для получения остаточных напряжений моделировалось качение образцов на длине пути качения, достаточной для получения участка, свободного от влияния краевых эффектов.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов из рельсовой стали на контактную усталость

Table 1

Results of contact fatigue testing of rail steel specimens

№ образца	Нагрузка P , Н	Максимальное контактное давление p_0 , МПа	Ширина полосы контакта $2b$, мм	Число циклов нагружения $N \cdot 10^6$
12	3450	2000	0,732	1,055
13	2838	1814	0,664	1,135
14	1602	1360	0,500	1,830
15	1396	1270	0,466	1,880
17	1140	1152	0,420	1,970
18	1140	1152	0,420	1,830
19	780	950	0,348	3,030

Моделировалось перекачивание образца и контртела. Контактная задача качения решалась в упруго-пластической постановке. Для построения конечно-элементных моделей фрагментов образца и контртела использовалась плоская сетка. На рис. 8, а показана сетка для образца.

Сетка сгущена к поверхности контакта с целью более точного определения положения точки с наибольшим значением критерия контактной прочности. К краям контакта размеры элементов также уменьшены в связи со значительными градиентами напряжений в области краевых эффектов. Объемная конечно-элементная модель фрагмента образца получалась методом протягивания: плоская сетка поворачивалась вокруг оси образца на угол, соответствующий выбранному размеру конечного элемента, прилегающего к поверхности катания, по оси z (рис. 8, б). С использованием узлов плоской сетки, расположенных на ее двух соседних позициях, создавались восьмиузловые конечные элементы объемной конечно-элементной модели.

Размер конечно-элементной сетки по направлению качения образцов вдоль оси z выбран таким, чтобы длина моделируемого фрагмента равнялась сумме длин 54 конечных элементов, включая отступы по 7 элементов от торцов до первой и последней позиции, в которых к образцам прикладывались нагрузки, чтобы избежать влияния краевых эффектов. Длина пути качения с учетом отступов равнялась сумме длин 40 элементов с тем, чтобы после перекачивания роликов из позиции 1 в позицию 41 на середине пути в позиции 21 получить остаточные напряжения, свободные от краевых эффектов. Аналогично строилась конечно-элементная сетка фрагмента контртела. При этом обеспечивалось условие согласованности координат контактирующих узлов. Размер конечных элементов по направлению качения вдоль оси z принимался таким, чтобы на ширине контакта укладывалось 8–10 узлов.

Модели контртела и образца устанавливались в положение, при котором в начальный линейный контакт входили узлы сеток, занимающих первую позицию. К модели контртела прикладывалась нагрузка, при которой проводились испытания на контактную усталость, и решалась контактная задача в упругопластической постановке. Затем выполнялась процедура разгрузки, в результате которой вычислялись остаточные деформации и напряжения в образце. Для установки в следующую позицию модели поворачивались на угол, соответствующий размеру конечного элемента по оси z , вокруг своих осей. Повторялось нагружение моделей и решение контактной задачи с учетом остаточных деформаций, полученных на предыдущей позиции. Перекачивание осуществлялось до достижения позиции 41. В результате на всем протяжении пути качения



Рис. 7. Образец с контактно-усталостной выщербиной

Fig. 7. Specimen with contact fatigue crack

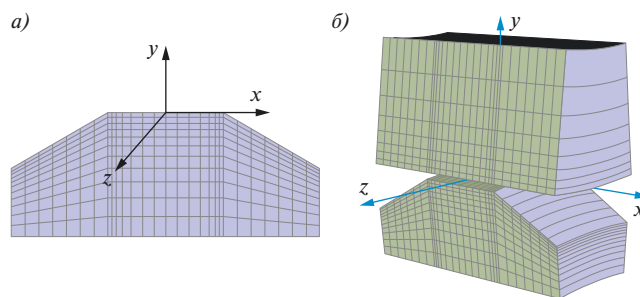


Рис. 8. Конечно-элементная модель:

а — плоская сетка для построения трехмерной модели образца;
б — трехмерные конечно-элементные модели образца и контртела

Fig. 8. Finite element model:

а — flat mesh for constructing a three-dimensional model of the specimen;
б — three-dimensional finite element models of the specimen and counterbody

от позиции 1 до позиции 41 получалось поле остаточных напряжений в образце.

После прокатывания модели помещались на середину пути качения в позицию 21, к ним прикладывалась такая же нагрузка, как и при моделировании перекачивания, и решалась контактная задача с учетом остаточных напряжений. Значения напряжений получались для каждого узла i плоской сетки для каждой ее позиции j . Для получения характеристик цикла напряжений использованы их значения в положениях сетки от позиции 11 до позиции 33.

Для определения значения критерия амплитудного значения максимального касательного напряжения $\tau_{\max}^a$ на первом проходе вычислялось максимальное касательное напряжение $\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ для каждого узла i в позициях j .

Путем деления суммы вычисленных значений $\tau_{\max}$ на количество позиций n вычислялось среднее напряжение

$$\tau_{\max}^m = \sum \tau_{\max} / n. \quad (1)$$

Таблица 2

Значения критериев контактной усталости в зависимости от нагрузки на образцы

Table 2

Values of contact fatigue criteria depending on the load on the specimens

Нагрузка P , Н	3450	2838	1602	1396	1140	780
Напряжения по критерию амплитудного значения максимального касательно-го напряжения $\tau_{\max}^a$, МПа	360	333	266	247	234	203
Напряжения по критерию Данг Вана τ_{DV} , МПа	193	188	128	120	136	116
Напряжения по комбинированному критерию σ_{RCF} , МПа	462	382	306	280	260	223

На втором проходе определялось амплитудное значение для всех позиций узла

$$\tau_{\max}^a = \tau_{\max} - \tau_{\max}^m. \quad (2)$$

В качестве критерия $\tau_{\max}^a$ для узла принималось наибольшее из них.

Для определения значения критерия Данг Вана τ_{DV} [3] на первом проходе кроме $\tau_{\max}$ для узла i в позициях j определялось также гидростатическое напряжение $\sigma_h = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$. В качестве критерия принималось наибольшее значение величины

$$\tau_{DV} = \tau_{\max}^a + \alpha_{DV} \sigma_h. \quad (3)$$

Значение коэффициента Данг Вана α_{DV} принималось равным 0,26 [16].

Для определения значений комбинированного критерия [17] для каждого узла i в позициях j определялись главные напряжения и значение эквивалентного напряжения:

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} + (1 - 2\nu) \sigma_h. \quad (4)$$

Определялись максимальное и минимальное эквивалентные напряжения $\sigma_{eq}^{\max}, \sigma_{eq}^{\min}$, а также среднее $\sigma_{eq}^m = (\sigma_{eq}^{\max} + \sigma_{eq}^{\min})/2$

и амплитудное $\sigma_{eq}^a = (\sigma_{eq}^{\max} - \sigma_{eq}^{\min})/2$.

В качестве критерия для узла i принималось значение величины

$$\sigma_{RCF} = \psi_{\sigma} \sigma_{eq}^m + \sigma_{eq}^a, \quad (5)$$

где ψ_{σ} — коэффициент, учитывающий асимметрию цикла эквивалентных напряжений.

Значения критериев контактной усталости приведены в табл. 2.

Для построения кривой контактной усталости использована зависимость

$$N = C \sigma_c^{-m}, \quad (6)$$

где σ_c — выбранный критерий контактной прочности, характеризующий напряженное состояние в области контакта; N — число циклов переменных напряжений до появления выщербин усталостного характера; C, m — константы материала, определяемые экспериментально.

Константы материала C и m получены с помощью аппроксимации результатов, приведенных в табл. 2. Значения констант для трех критериев контактной усталости представлены в табл. 3.

Кривые контактной усталости представлены на рис. 9.

В качестве примера в программном комплексе «Универсальный механизм» с помощью модуля UM RCF Rail выполнено моделирование процесса накопления контактно-усталостных повреждений в материале рельса Р65, уложенного в прямом участке пути, и для наружного рельса в кривой радиусом

Таблица 3

Значения констант материала рельсовой стали для трех критериев контактной усталости

Table 3

Values of rail steel constants for three contact fatigue criteria

Критерий контактной усталости	Константа материала в выражении для кривой контактной усталости (6)	
	C	m
Комбинированный критерий	$5,988 \cdot 10^9$	1,424
Критерий Данг Вана	$4,966 \cdot 10^9$	1,606
Критерий амплитудного значения максимального касательного напряжения	$3,333 \cdot 10^{10}$	1,767

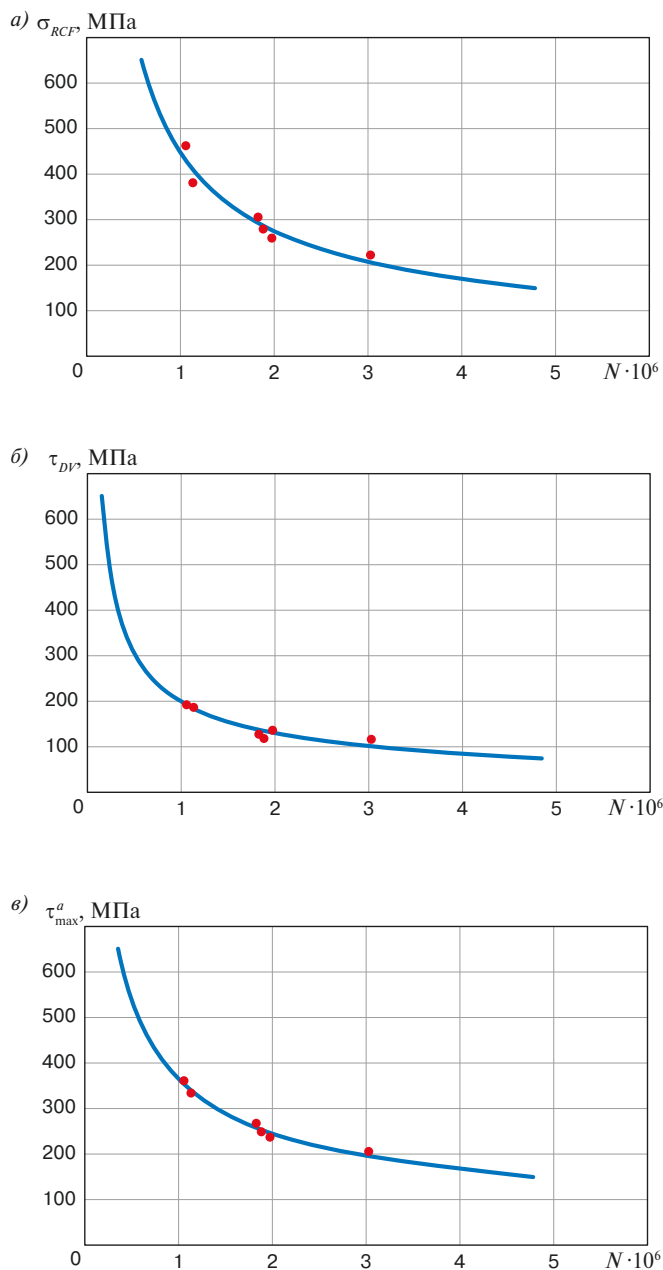


Рис. 9. Кривые контактной усталости, полученные с использованием критерия:

a — комбинированного; b — Данг Вана; v — амплитудного значения максимального касательного напряжения; N — число циклов до разрушения; $\bullet$ — эксперимент; — — аппроксимация

Fig. 9. Contact fatigue curves obtained using the criterion: a — combined; b — Dang Van; v — amplitude value of the maximum shear stress; N — number of cycles to failure; $\bullet$ — experiment; — — approximation

600 м. Результаты моделирования с использованием полученной кривой контактной усталости рельсовой стали для комбинированного критерия после пропущенного тоннажа 100 млн т показаны на рис. 10.

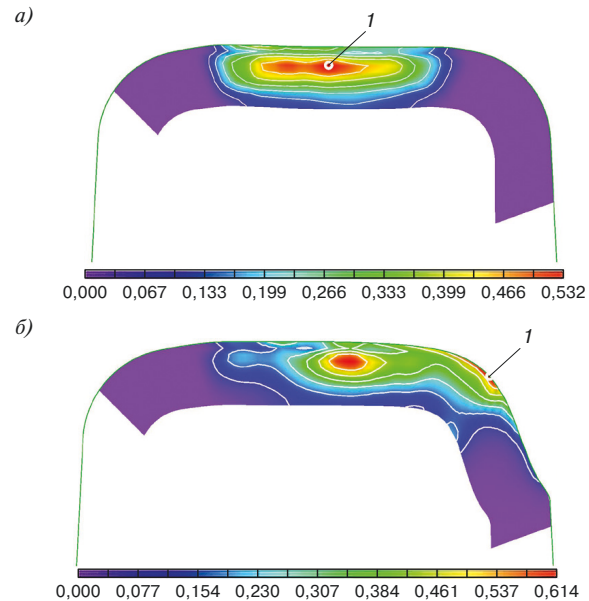


Рис. 10. Пример визуализации результатов моделирования с использованием кривой контактной усталости рельсовой стали для комбинированного критерия — изолинии накопленной поврежденности в поперечном сечении рельса Р65 после пропущенного тоннажа 100 млн т:

a — рельс в прямом участке пути; b — наружный рельс в кривой радиусом 600 м; I — точка с максимальным значением накопленной поврежденности

Fig. 10. Example of visualisation of simulation results using a contact fatigue curve of rail steel for a combined criterion — isolines of accumulated damage in the cross section of the R65 rail after passing a tonnage of 100 million tons:

a — rail in straight track section; b — outer rail in curve with 600 m radius; I — point with the maximum value of accumulated damage

Обсуждение и заключение. Рост грузонапряженности железных дорог страны за прошедшее двадцатилетие привел к увеличению количества дефектов контактно-усталостного происхождения, преимущественно это трещины и выкрашивание металла на поверхности катания рельса. Проблема контактно-усталостных повреждений поверхности катания головки приобрела особую актуальность. Эффективным методом исследования влияния таких факторов, как повышение нагрузок от колес на рельсы, скоростей движения железнодорожного транспорта, геометрии поверхностей катания колес и рельсов, является метод математического моделирования динамики движения и процессов накопления контактно-усталостных повреждений. При моделировании процессов накопления контактно-усталостных повреждений используется кривая зависимости количества циклов нагружения колеса или расчетного сечения рельса до появления контактно-усталостных разрушений от значения выбранного критерия контактной усталости. Основное внимание авторов уделено получению параметров таких кривых для

рельсовой стали при использовании критериев контактной усталости: комбинированного, критерия Данг Вана, амплитудного значения максимального касательного напряжения.

Для получения кривых контактной усталости решались следующие задачи: исследование влияния геометрии образцов для испытания на контактную усталость на распределение контактных давлений; выбор формы образцов; разработка и изготовление установки для испытания на контактную усталость, позволяющей получать максимальные давления в контакте образцов, имеющих формы дисков, достигающие 2000 МПа; проведение испытаний, математическое моделирование процессов перекачивания образцов с решением контактных задач качения в упругопластической постановке; обработка результатов испытаний и математического моделирования, получение параметров кривых контактной усталости.

Исследование законов распределения давлений в контакте различных образцов с использованием конечно-элементных моделей показало, что лучшим вариантом является пара цилиндрических образцов, обеспечивающих сохранение геометрической формы поверхностей катания в процессе испытаний и постоянные давления по длине контакта, если отношение длины контакта к ширине близко к десяти. Однако для получения высоких максимальных давлений необходимо обеспечить приложение больших нагрузок на образцы. В образцах с буртиками при больших нагрузках пластические деформации охватывают буртик по всей высоте и ширине, следствием чего является сильно выраженная неравномерность давления по длине контакта. Образцы с фасками обеспечивают лучшее распределение давлений по длине контакта за исключением краевых эффектов на его краях. Для испытаний выбран образец диаметром 40 мм, толщиной 8 мм со снятыми под углом 30° фасками, с шириной поверхности катания 3 мм.

Для проведения испытаний разработана и изготовлена установка, обеспечивающая приложение нагрузки на образцы с получением максимальных контактных давлений до 2000 МПа. Установка характеризуется консольным расположением образца, с приложением к контртелу нагрузки с помощью рычага и динамометрической пружины, скоростью вращения образца 1000 об/мин, с фитильной подачей лубриканта на поверхность катания образца.

Проведены две серии испытаний с подачей на поверхности катания двух вариантов лубриканта: масла И-20А и воды. При подаче масла контактно-усталостных разрушений не наблюдалось. Это отмечалось и в работах других авторов. При подаче воды испытания проводились до появления выщербин на образце. При выбранной форме образца и цилиндрическом контртеле на краях поверхности катания, где

проявлялись краевые эффекты, появлялись микротрещины, однако они не приводили к образованию выщербин. Выщербины возникали на середине поверхности катания или вблизи нее. Это позволило сделать вывод о допустимости использования образцов с фасками.

При обработке результатов испытаний процесс перекачивания образцов моделировался с использованием конечно-элементных моделей. Контактные задачи качения решались в упругопластической постановке. Получены параметры кривых контактной усталости рельсовой стали с использованием трех критериев: комбинированного, критерия Данг Вана, амплитудного значения максимального касательного напряжения.

Полученные в работе кривые контактной усталости могут быть использованы в моделировании процессов накопления контактно-усталостных повреждений в рельсовой стали для различных эксплуатационных условий: при различных нагрузках на ось, динамических нагрузках, возникающих при движении единицы подвижного состава в кривых и прямых участках пути, при различных профилях поверхностей катания колес и рельсов.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бурков Д. Н., Ваганова О. Н. Актуальные проблемы рельсового хозяйства // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 8. С. 2–7.
2. Burkov D. N., Vaganova O. N. Actual problems of rail facilities. *Railway Track and Facilities*. 2022;(8):2-7. (In Russ.).
3. Захаров С. М., Торская Е. В. Подходы к моделированию возникновения поверхностных контактно-усталостных повреждений в рельсах // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77, № 5. С. 259–268. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-259-268>.
4. Zakharov S. M., Torskaya E. V. Approaches to modeling occurrence of rolling contact fatigue damages in rails. *Russian Railway Science Journal*. 2018;77(5):259-268. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-259-268>.
5. Сакало В. И., Сакало А. В. Критерии для прогнозирования возникновения контактно-усталостных повреждений в колесах железнодорожного подвижного состава и рельсах // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78, № 3. С. 141–148. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-141-148>.
6. Sakalo V. I., Sakalo A. V. Criteria for predicting the initiation of rolling contact fatigue damage in the railway wheels and rails. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(3):141-148. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-141-148>.
7. Сакало В. И., Сакало А. В., Коссов В. С. Механика контактного взаимодействия колеса и рельса. М.: Берлин: Директ-Медиа, 2021. 376 с. EDN: <https://www.elibrary.ru/jychir>.

Sakalo V. I., Sakalo A. V., Kossov V. S. *Mechanics of contact interaction of wheel and rail*. Moscow, Berlin: Direct-Media; 2021. 376 p. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/jychir>.

5. Akaoka J., Hirasawa K. Fatigue Phenomena under Rolling Contact Accompanied with Sliding. *Bulletin of JSME*. 1959;2(5):43-50. <https://doi.org/10.1299/jsme1958.2.43>.

6. Ishida M., Abe N. Experimental study on rolling contact fatigue from the aspect of residual stress. *Wear*. 1996;191:65-71.

7. Liu C. R., Choi Y. Rolling contact fatigue life model incorporating residual stress scatter. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2008;50(12):1572-1577. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2008.10.008>.

8. Борц А. И., Долгих Л. В., Заграничек К. Л. Испытания рельсов на выносливость // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 2. С. 16–22.

Borts A. I., Dolgikh L. V., Zagranichek K. L. Rail endurance testing. *Railway Track and Facilities*. 2013;(2):16-22. (In Russ.).

9. Clayton P., Su X. Surface initiated fatigue of pearlitic and bainitic steels under wear lubricated rolling/sliding contact. *Wear*. 1996;200:63-73.

10. Su X., Clayton P. Ratchetting strain experiments with a pearlitic steel under rolling/sliding contact. *Wear*. 1997;205:137-143.

11. Сакало В. И., Сакало А. В. Контактная усталость рельсовых и колесных сталей. Лабораторные испытания // Пятый научно-технический семинар «Компьютерное моделирование на железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ», Брянск, 4–6 октября 2022. Брянск: БГТУ, 2022. С. 99–102.

Sakalo V. I., Sakalo A. V. Contact fatigue of rail and wheel steels. Laboratory tests. In: *Fifth scientific and technical workshop "Computer simulation in railway transport: dynamics, strength, wear", 4–6 October 2022, Bryansk*. Bryansk, BG TU; 2022. p. 99–102. (In Russ.).

12. Ramalho A. Wear modelling in rail—wheel contact. *Wear*. 2015;330-331:524-532.

13. Zhao X., Wang Z., Wen Z., Wang H., Zeng D. The initiation of local rolling contact fatigue on railway wheels: An experimental study. *International Journal of Fatigue*. 2020;132:105354. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105354>.

14. Повышение стойкости вагонных колес в эксплуатации карбонитридным упрочнением стали / Л. М. Школьник [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1994. № 6. С. 40–44.

Shkolnik L. M., Markov D. P., Proydak Y. S., Prokhorenko I. M., Tsurenko V. N., Miroshnichenko N. G., Bondarenko L. I. Increasing the endurance of railway wheels in operation by carbonitride hardening of steel. *Russian Railway Science Journal*. 1994;(6):40-44. (In Russ.).

15. Марков Д. П. Повышение твердости колес подвижного состава // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1995. № 3. С. 10–17.

Markov D. P. Improving the hardness of rolling stock wheels. *Russian Railway Science Journal*. 1995;(3):10-17. (In Russ.).

16. Dang Van K., Maitournam M. H. On some recent trends in modeling of contact fatigue and wear in rail. *Wear*. 2002;253(1-2):219-227. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(02\)00104-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(02)00104-7).

17. Sakalo V., Sakalo A., Rodikov A., Tomashevskiy S. Computer modeling of processes of wear and accumulation of rolling contact fatigue damage in railway wheels using combined criterion. *Wear*. 2019;432-433: 102900. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.05.015>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Иванович САКАЛО,

д-р техн. наук, профессор, кафедра наземных транспортно-технологических комплексов, Брянский государственный технический университет (БГТУ, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7), Author ID: 174319, <https://orcid.org/0009-0008-7747-581X>

Алексей Владимирович САКАЛО,

канд. техн. наук, доцент, кафедра наземных транспортно-технологических комплексов, Брянский государственный

технический университет (БГТУ, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7), Author ID: 556528, <https://orcid.org/0000-0002-9137-9620>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir I. SAKALO,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Land Transport and Technological Complexes, Bryansk State Technical University (241035, Bryansk, 7, 50th October Anni Blvd), Author ID: 174319, <https://orcid.org/0009-0008-7747-581X>

Alexey V. SAKALO,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Land Transport and Technological Complexes, Bryansk State Technical University (241035, Bryansk, 7, 50th October Anni Blvd), Author ID: 556528, <https://orcid.org/0000-0002-9137-9620>

ВКЛАД АВТОРОВ

Владимир Иванович САКАЛО. Обзор и анализ состояния вопроса, проведение исследований по выбору размеров и формы контактирующих поверхностей роликов, конструирование установки для испытаний образцов на контактную усталость, проведение испытаний образцов из рельсовой стали на контактную усталость, оценка результатов, редактирование и подготовка текста статьи (50 %).

Алексей Владимирович САКАЛО. Обзор и анализ состояния вопроса, проведение исследований по выбору размеров и формы контактирующих поверхностей роликов, разработка и программная реализация математических моделей, компьютерное моделирование, оценка результатов, редактирование и подготовка текста статьи (50 %).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Vladimir I. SAKALO. Review and analysis of the state of the issue, research on selection of size and shape of contacting surfaces of rollers, design of the specimen contact fatigue test rig, testing rail steel specimens for contact fatigue, evaluation of results, article editing and preparation (50 %).

Alexey V. SAKALO. Review and analysis of the state of the issue, research on selection of size and shape of contacting surfaces of rollers, development and software implementation of mathematical models, computer simulation, evaluation of results, article editing and preparation (50 %).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 28.03.2024, рецензия от первого рецензента получена 01.04.2024, рецензия от второго рецензента получена 18.04.2024, рецензия от третьего рецензента получена 22.04.2024, принята к публикации 03.05.2024.

The article was submitted 28.03.2024, first review received 01.04.2024, second review received 18.04.2024, third review received 22.04.2024, accepted for publication 03.05.2024.



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 629.4.016.12

EDN: <https://elibrary.ru/irmexl>



Определение дополнительного сопротивления движению поезда от подвагонных генераторов на основе анализа кривой скорости

И. О. Лобыцин✉, И. А. Панков, В. В. Федин, Н. А. Баранов,
К. И. Шведин, С. О. Литвинцев

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. При выполнении тяговых расчетов учет дополнительного сопротивления движению поезда от действия подвагонных генераторов производится на основе статистических данных, полученных в результате натурных испытаний образцов подвижного состава. Сравнительный анализ расчетных и фактических результатов показал наличие системных отклонений, при которых значения реального расхода топливно-энергетических ресурсов превышают расчетные значения.

Материалы и методы. Для анализа и детализации применялись данные блока памяти микропроцессорной системы управления и диагностики электровоза, данные расшифровки записей комплексного локомотивного устройства безопасности и системы взаимодействия с локомотивом по технической радиосвязи. Применены методы аппроксимации и экстраполяции массивов данных, численного интегрирования, статистической обработки данных, метод энергооптимального тягового расчета.

Результаты. При учете в методике тягового расчета влияния подвагонных генераторов на сопротивление движению, показатели расхода топливно-энергетических ресурсов превысили значения расхода без учета влияния генераторов в среднем на 15%. Установлено, что интенсивность применения электрического оборудования пассажирских вагонов оказывает переменное влияние на работу подвагонных генераторов. Главным достижением исследования стало создание нового способа определения силы сопротивления движению от воздействия подвагонных генераторов.

Обсуждение и заключение. Применение предлагаемого способа по оценке дополнительных сил сопротивления движению поезда от действия подвагонных генераторов можно масштабировать, используя в различных задачах движения поездов, которые можно решить, опираясь на статистические данные с применением математических моделей. Разработанный авторами алгоритм найдет свое применение в системах расчета, анализа и планирования расхода топливно-энергетических ресурсов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пассажирский вагон, подвагонные генераторы, силы сопротивления движению, тяговый расчет, локомотив, бортовые системы, статистический анализ

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лобыцин И. О., Панков И. А., Федин В. В., Баранов Н. А., Шведин К. И., Литвинцев С. О. Определение дополнительного сопротивления движению поезда от подвагонных генераторов на основе анализа кривой скорости // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 136–147.

✉ Lobysin.igor@vniizht.ru (И. О. Лобыцин)

© Лобыцин И. О., Панков И. А., Федин В. В., Баранов Н. А.,
Шведин К. И., Литвинцев С. О., 2024



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.4.016.12

EDN: <https://elibrary.ru/irmexl>



Speed curve analysis-based determination of additional resistance to train motion from undercarriage generators

Igor O. Lobytsin✉, Igor A. Pankov, Vladislav V. Fedin, Nikolay A. Baranov,
Konstantin I. Shvedin, Sergey O. Litvintsev

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Traction calculations take into account additional resistance to train motion from the action of undercarriage generators using statistical data from field tests of rolling stock samples. Comparative analysis of calculated and actual results shows system deviations with real fuel and energy consumption exceeding the calculated values.

Materials and methods. The analysis and detailing involved data of the memory block of the electric locomotives microprocessor control and diagnostic system, transcripts of the integrated train safety system and locomotive technical radio communication system. The authors applied methods of data array approximation and extrapolation, numerical integration, statistical data processing, and the method of energy-optimal traction calculation.

Results. Traction calculation of the influence of undercarriage generators on resistance to movement shows that fuel and energy consumption exceeds the consumption without the influence of generators by 15% in average. The researchers found that the intensity of electrical equipment use in passenger cars has a variable effect on the performance of undercarriage generators. Most notably, the research prompted a new way of determining the resistance to motion from undercarriage generators.

Discussion and conclusion. This method of estimating the additional resistance to train motion from undercarriage generators can be scaled to various train movement problems solved with statistical data using mathematical models. The algorithm developed by the authors would find its application in the systems of calculation, analysis and planning of fuel and energy resources consumption.

KEYWORDS: passenger car, undercarriage generators, resistance to motion (drag), traction calculation, locomotive, on-board systems, statistical analysis

FOR CITATION: Lobytsin I. O., Pankov I. A., Fedin V. V., Baranov N. A., Shvedin K. I., Litvintsev S. O. Speed curve analysis-based determination of additional resistance to train motion from undercarriage generators. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):136-147. (In Russ.).

✉ Lobytsin.igor@vniizht.ru (I. O. Lobytsin)

Введение. Дополнительное сопротивление движению подвижного состава зависит от ряда сторонних факторов, влияющих на движение поезда и способствующих возникновению дополнительного расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) для поддержания необходимой скорости движения. Одним из факторов являются силы сопротивления движению, дополнительно возникающие в процессе эксплуатации подвижного состава. Данные силы регулировать невозможно, однако необходимо четко представлять себе природу возникновения последних, значение и характер действия для верного их отображения при последующем расчете расхода ТЭР.

Определенные силы дополнительного сопротивления движению имеют как положительное, так и отрицательное влияние на результирующую скорость поезда и в процессе поездки могут изменяться неоднократно, при этом особое внимание стоит уделить учету постоянно воздействующих замедляющих сил. В пассажирском движении такие силы возникают от работы подвагонных генераторов и зависят от текущей скорости движения, номинальной мощности генератора и объема потребляемой электроэнергии на нужды пассажиров.

В послевоенный период советскими инженерами активно проводилась оценка степени влияния подвагонных генераторов на скорость движения и расход ТЭР путем проведения большого числа натурных испытаний. Определение сил сопротивления движению наиболее обширно и систематически проводилось с помощью метода скатывания и динамометрического метода с последующей обязательной опытной поездкой [1]. Так, например, зимой 1955 г. ЦНИИ МПС провел на Октябрьской железной дороге опытные поездки, которые позволили установить эти характеристики. Во время указанных поездок между Москвой и Ленинградом в поездах №28/29 и 31/32, состоящих из 12 цельнометаллических вагонов (масса одного поезда составила 700 т), включалось в среднем 10 подвагонных генераторов со средней минимальной мощностью каждого около 4 кВт. В результате после 348 систематических замеров тока и напряжения стало видно, что средняя за рейс условная мощность генератора, приходящаяся на один вагон, составляет $P' = 1,27$ кВт. Кроме того, во время испытания установлено, что мощность генератора при выключенном освещении вагона составила

87% мощности того же генератора при включенном освещении. Этот факт свидетельствует о том, что большая часть электрической энергии, вырабатываемой подвагонными генераторами, расходуется не на освещение, а на работу электровентиляторов и питание радиоустановки^{1,2}.

Надо заметить, что определение сил сопротивления движению от действия подвагонных генераторов базируется на результатах экспериментальных исследований прошлого века, использующих в качестве математического описания выражения мощности подвагонного генератора и эквивалентной мощности на ободу колеса [1]:

$$\frac{1000 \cdot P}{\eta_r \eta_n} = \omega M \cdot 9,81, \quad (1)$$

где P — мощность на клеммах генератора, кВт; η_r — КПД генератора; η_n — КПД передачи от оси к генератору; ω — угловая скорость колеса, рад/с; M — момент сопротивления колеса, обусловленный работой подвагонного генератора, Н·м; 9,81 — ускорение свободного падения, м/с².

Тема влияния подвагонных генераторов пассажирских вагонов на эксплуатацию подвижного состава неоднократно затрагивалась работниками железнодорожной отрасли, а результаты проводимых исследований легли в основу математических моделей оценки движения пассажирских поездов. Однако стоит отметить, что публикации исследователей имеют ряд недостатков, требующих устранения для последующего применения в настоящих условиях. Так, например, результаты работы П. Н. Астахова [1], опубликованные более шестидесяти лет назад, требуют актуализации в силу значимых изменений научной деятельности и технологических решений, применяемых при изготовлении современных пассажирских вагонов. По этой же причине работа В. А. Петракова [2] также требует повторного исследования. Кроме того, стоит уделить внимание работам, в основе которых лежат совершенно новые способы определения сопротивления движению. В работе А. В. Климович [3] описан интересный подход, который можно применить для оценки влияния подвагонных генераторов на сопротивление движению, однако обязательное условие движения поезда в режиме выбега вынуждает вновь накладывать ограничения, влияющие на итоговый результат.

¹ Об утверждении Правил тяговых расчетов для поездной работы [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=672553#82zSqCUljwSHzng5> (дата обращения: 19.02.2024).

² Патент № 2803206 Российская Федерация, МПК В61К 13/00, G01P 3/00, G01M 17/08. Способ определения сопротивления движению подвижного состава от подвагонных генераторов на основе анализа кривой скорости: № 2023105758: заявл. 13.03.2023; опубл. 11.09.2023 / Лобыцин И. О., Панков И. А., Селезнев Г. Е.; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. EDN: <https://www.elibrary.ru/vieoym>.

На сегодняшний день при расчете дополнительного сопротивления движению пассажирского поезда от воздействия подвагонных генераторов, в соответствии с документом «Правила тяговых расчетов для поездной работы»³, применяется формула (2) или полученные на основании данной формулы номограммы (рис. 1). Характеристика изменения величины сопротивления от подвагонного генератора имеет гиперболический вид; при этом увеличение скорости приводит к снижению сил сопротивления из-за увеличения инерционной величины вращающихся масс. Пороговое значение скорости подключения подвагонного генератора принято в соответствии с Правилами тяговых расчетов⁴ равным 35 км/ч. В связи с этим учитывать действия данных сил при математическом расчете необходимо лишь после превышения пороговой скоростной величины:

$$W_{\text{пр}} = \frac{1300 \cdot P'}{q_o \cdot v}, \quad (2)$$

где P' — средняя условная мощность подвагонного генератора, приходящаяся на один вагон поезда, кВт; q_o — нагрузка на ось, т; v — скорость движения поезда, км/ч.

Значение величины P' определяется из выражения

$$P' = \frac{P_{\text{пр}} n_{\text{бк}} + (P_{\text{пр}} + P_{\text{гк}}) n_{\text{кв}} + (P_{\text{пр}} + P_{\text{гк}}) n_{\text{р}} + P_{\text{пгб}} n_{\text{пб}}}{m_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{пр}}$ — фактическая мощность подвагонного генератора, расходуемая на служебные нужды пассажирского вагона, кроме кондиционирования воздуха, кВт. Для среднесетевых условий принимать $P_{\text{пр}} = 6,6$ кВт; $n_{\text{бк}}$ — число пассажирских вагонов без кондиционирования воздуха, не имеющих подвагонных генераторов, ед.; $P_{\text{гк}}$ — фактическая среднесуточная мощность подвагонного генератора, расходуемая на работу климатической установки (кондиционера), кВт. Следует принимать в сентябре — апреле на всей сети $P_{\text{гк}} = 3$ кВт (питание низковольтного отопления), в мае — августе для Приволжской и Северо-Кавказской железных дорог $P_{\text{гк}} = 10$ кВт, для остальной сети $P_{\text{гк}} = 2$ кВт; $n_{\text{кв}}$ — число пассажирских вагонов с кондиционированием воздуха, ед.; $P_{\text{пр}}$ — фактическая мощность подвагонного генератора, расходуемая на служебные нужды вагона-ресторана, кроме кондиционирования воздуха, кВт. Для среднесетевых условий принимать $P_{\text{пр}} = 11,5$ кВт; $n_{\text{р}}$ — число вагонов-ресторанов, ед.; $P_{\text{пгб}}$ — фактическая мощность подвагонного генератора, расходуемая на служебные нужды почтовых и багажных вагонов, кВт. Для среднесетевых условий $P_{\text{пгб}} = 3$ кВт; $n_{\text{пб}}$ — число почтовых и багажных вагонов, ед.; $m_{\text{п}}$ — общее число вагонов в поезде, ед.

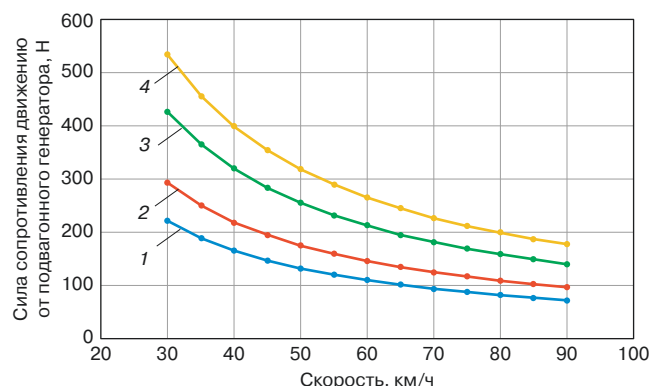


Рис. 1. Величина полного дополнительного сопротивления движению от подвагонного генератора в зависимости от скорости движения поезда при разных значениях средней условной мощности использования генератора P' :

1 — при $P' = 5$ кВт; 2 — при $P' = 6,6$ кВт; 3 — при $P' = 9,6$ кВт; 4 — при $P' = 12$ кВт

Fig. 1. Total additional resistance to motion from the undercarriage generator as a function of train speed at different average rated power utilisations of the generator P' :

1 — at $P' = 5$ kW; 2 — at $P' = 6,6$ kW; 3 — at $P' = 9,6$ kW; 4 — at $P' = 12$ kW

Отметим, что средняя условная мощность в реальных эксплуатационных условиях отличается от расчетного значения, что отражается на итоговых результатах при выполнении тяговых расчетов. Данные отличия связаны прежде всего с такими факторами, как:

- интенсивность применения электрооборудования пассажирского вагона;
- время суток (влияние на потребность подключения осветительных устройств);
- сезонность и температура окружающей среды (использование кондиционеров);
- тип применяемого подвагонного генератора (влияет на номинальную мощность генератора).

Перед инженерами железнодорожной отрасли всегда стояла задача разработки некоего единого метода расчета, который являлся бы менее ресурсозатратным, наиболее точным и имеющим возможность максимального учета влияния сторонних факторов. Поэтому работниками научного центра «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» АО «ВНИИЖТ» была поставлена задача по уточнению воздействия подвагонных генераторов на расход ТЭР для последующего применения результатов при проведении тяговых расчетов в пассажирском движении.

Разработанный и предлагаемый авторами метод позволяет при помощи современных цифровых систем контроля и диагностики тягового подвижного

³ Об утверждении Правил тяговых расчетов для поездной работы. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EX&n=672553#82zSqCUljwSHzng5> (дата обращения: 19.02.2024).

⁴ Там же.

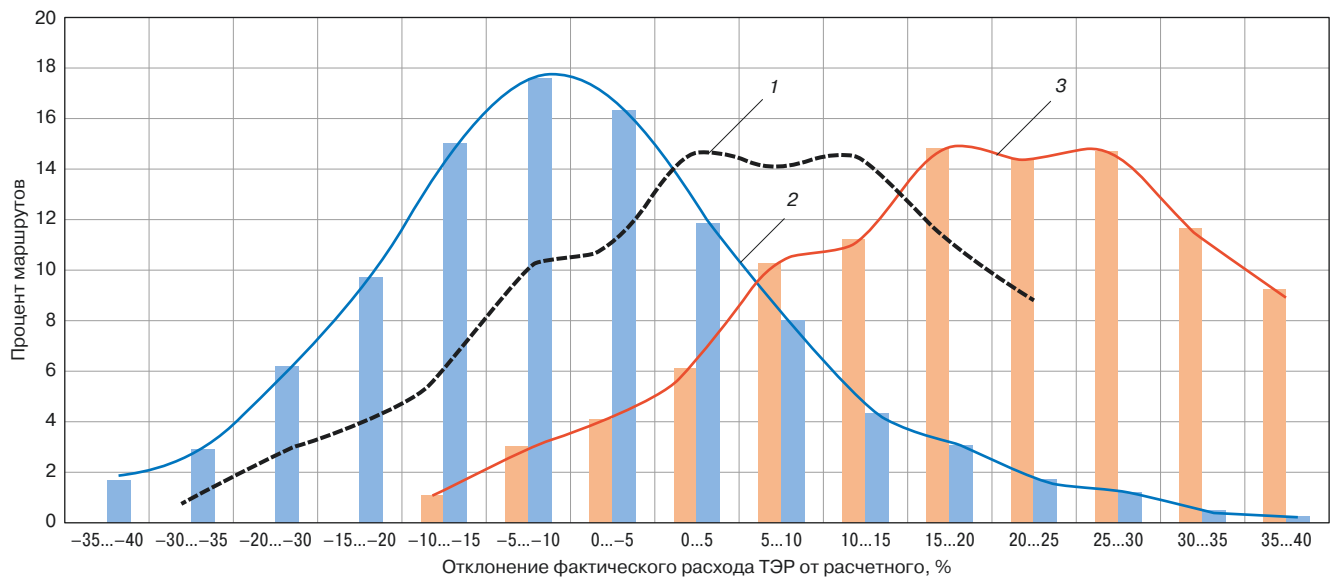


Рис. 2. Распределение поездок по отклонениям расчетных и фактических значений ТЭР для пассажирского и грузового движения: 1 — смещение распределения при учете влияния подвагонных генераторов в расчетах; 2 — грузовое движение; 3 — пассажирское движение

Fig. 2. Distribution of trips by deviations of estimated and actual fuel and energy values for passenger and freight traffic: 1 — distribution bias given the influence of undercarriage generators in calculations; 2 — goods traffic; 3 — passenger traffic

состава эффективно проводить расчеты сопротивления движению на основе регистрируемых данных, тем самым уменьшая расходы на проведение натурных экспериментов и снижая нагрузку на железнодорожную инфраструктуру.

Анализ фактического расхода ТЭР на тягу поездов.

Для выполнения сравнительного анализа данных фактического расхода ТЭР и результатов расчета с применением энергооптимального тягового расчета (ЭТР) используются исходные данные по расходу и рекуперации электроэнергии, полученные из маршрутов машиниста системы централизованной обработки маршрутов машиниста. Рассмотрена выборка из маршрутов машиниста и ЭТР за июль 2020 г. для поездок в границах Южно-Уральской железной дороги.

На рис. 2 представлено процентное распределение поездок по отклонениям расчетных и фактических значений ТЭР для пассажирского и, для сравнения, грузового движения по способу К. М. Попова, С. А. Виноградова⁵. При этом для пассажирского движения производилось распределение из 1155 поездок в составе с головными электровозами ЭП1 или ЭП2К, а для грузового из 7015 поездок в составе с головным двухсекционным электровозом ЭЭС6.

Для оценки степени влияния подвагонного генератора на расход ТЭР было принято произвести

ЭТР без учета сил сопротивления движению вагонов от действия генераторов, а после — с учетом данных сил. Такие расчеты выполняются с применением программного продукта для реализации ЭТР, разработанного в АО «ВНИИЖТ», и отличаются исходными данными⁶. Так, для учета влияния подвагонного генератора в исходных данных ЭТР были учтены результаты, полученные с использованием формулы (2).

По результатам программного расчета для сравнительного анализа изменения расхода ТЭР в пассажирском движении определяются следующие параметры: $WErg$ — расчет расхода ТЭР на основе алгоритмов ЭТР; $WSch$ — расчет расхода ТЭР с остановками по промежуточным станциям на основе алгоритмов ЭТР; $WErgKPD$ — расчет расхода ТЭР с учетом полинома КПД на основе алгоритмов ЭТР.

Каждый из предложенных вариантов расчета расхода ТЭР имеет свою исходную расчетную модель, отличающуюся данными плана и профиля пути, серией тягового подвижного состава, числом вагонов и их массой, общей протяженностью участка, числом остановок, скоростными ограничениями. В связи с этим итоговые расчетные величины расхода ТЭР и отклонения отражены в табл. 1 по каждой моделируемой поездке.

Расчет расхода ТЭР с применением ЭТР показывает, что при учете дополнительного сопротивления

⁵ Патент № 2788656 Российская Федерация, МПК B60L 3/12, G01R 21/133. Способ определения нормативного расхода энергоресурса на поездку пригородного моторвагонного поезда: № 2022117143; заявл. 24.06.2022; опубл. 24.01.2023 / Попов К. М., Виноградов С. А.; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. EDN: <https://www.elibrary.ru/dugngs>.

⁶ Ябло И. А. Метод расчета энергооптимальных траекторий движения поезда: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 2007. 24 с.

Таблица 1

Отклонения показателей расхода ТЭР на основании ЭТР с учетом влияния сопротивления движению поезда от подвагонного генератора

Table 1

Deviations of fuel and energy consumption indicators based on energy-optimal traction calculation given the resistance to train motion from the undercarriage generator

Номер расчета	Расход ТЭР без влияния подвагонного генератора, Вт·ч			Расход ТЭР с учетом влияния подвагонного генератора, Вт·ч			Отклонение расхода ТЭР с учетом влияния подвагонного генератора, %		
	WErg	WErgKPD	WSch	WErg	WErgKPD	WSch	ΔWErg	ΔWErgKPD	ΔWSch
1	2 010 473	2 426 449	2 211 564	2 353 896	2 820 553	2 656 783	14,59	13,97	16,76
2	6 651 330	7 873 229	7 108 867	7 971 298	9 418 645	8 341 642	16,56	16,41	14,78
3	3 778 422	4 260 563	4 132 275	4 341 968	4 876 055	4 664 926	12,98	12,62	11,42
4	5 257 760	6 612 861	5 516 808	6 190 005	7 746 350	6 485 000	15,06	14,63	14,93
5	8 057 267	9 488 224	8 040 775	9 588 581	11 328 615	9 556 189	15,97	16,25	15,86
Среднее отклонение по расчетным участкам, %							15,03	14,78	14,75

Таблица 2

Результаты изменения величины токов тяговых электродвигателей для реализации необходимой силы тяги, компенсирующей замедление от включения подвагонных генераторов*

Table 2

Changes in electric tractive motor currents for the required traction to compensate for deceleration caused by running undercarriage generators*

Номер тягового электродвигателя ЭП1 № 037	Ток тягового электродвигателя, А				Отклонения по участкам Δ, %			
	при Δt = 0 с	при Δt = 3 с	при Δt = 15 с	при Δt = 19 с	0–3	3–15	15–19	0–19
	при v = 32 км/ч	при v = 33 км/ч	при v = 34 км/ч	при v = 35 км/ч				
1	124	140	138	150	11,43	1,45	8,00	17,33
2	126	138	140	150	8,70	1,43	6,67	16,00
3	126	144	142	154	12,50	1,41	7,79	18,18
4	136	150	150	164	9,33	0,00	8,54	17,07
5	130	148	146	162	12,16	1,37	9,88	19,75
6	132	150	150	158	12,00	0,00	5,06	16,46
Средняя величина отклонения, %					11,02	0,94	7,66	17,47

* Расчет выполнен применительно к генераторам ЭГВ08, DCG4435.

движению от подвагонного генератора увеличиваются расчетные показатели расхода в среднем на 15%, на основании чего происходит снижение общего отклонения расчетного расхода от фактического для пассажирского движения, т. е. график распределения отклонений по пассажирскому движению (рис. 2) принимает смещение влево относительно первоначального положения, что отмечено кривой 1. Эти вполне обоснованные корректировки позволяют повысить точность ЭТР, тем самым изменить отклонения по поездкам для грузовых и пассажирских поездов, распределив их в максимально близких интервалах [4].

Для поддержания плавности хода и компенсации постоянно возникающих как замедляющих, так и ускоряющих сил на тяговом подвижном составе,

участвующем в пассажирском движении, применяется специализированная микропроцессорная система управления и диагностики (МСУД). Информация, полученная с устройств хранения информации МСУД, позволяет оценить влияние подвагонного генератора на работу тягового привода локомотива и рассмотреть процесс компенсации мощности при возникновении замедляющих сил от подвагонного генератора [5].

Для количественной оценки изменения величины токов тяговых электродвигателей электроваза ЭП1 № 037 в составе пассажирского поезда на основании расшифровки данных программы просмотра и анализа «МСУ Анализатор» была составлена табл. 2, в которой отображено изменение контролируемых параметров в соответствующий промежуток времени.

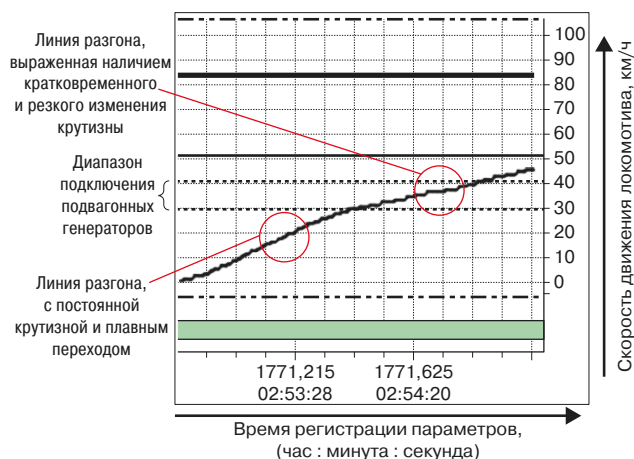


Рис. 3. Фрагмент расшифровки кассеты регистрации КЛУБ электровоза ЭП2К

Fig. 3. Transcript fragment of the recording tape of the EP2K electric locomotive integrated train safety system

По результатам анализа выявлено, что подключение подвагонных генераторов способствовало ступенчатому повышению токов тяговых электродвигателей на 17,47 % для поддержания плавного процесса набора скорости поезда, а само подключение происходило в два этапа с отклонениями в 11,02 и 7,66 % и периодами между бросками 12 с.

Такая особенность наблюдается как по данным блока памяти МСУД электровоза, так и по данным расшифровки кассеты регистрации комплекса локомотивных устройств безопасности (КЛУБ). На рис. 3 представлен фрагмент расшифровки кассеты регистрации КЛУБ электровоза ЭП2К, следовавшего в составе поезда № 78 Москва — Абакан.

При масштабировании этого фрагмента в диапазоне 30–40 км/ч и дальнейшем исследовании процесса изменения характера наклона скоростной кривой по данному диапазону наблюдается явное изменение темпа набора скорости (при скорости 36 км/ч угол наклона скоростной кривой уменьшается на протяжении 10 с, после чего происходит его значительное увеличение); подобного рода изменения присутствуют на других анализируемых расшифровках.

В процессе разгона и подключения подвагонных генераторов отчетливо заметно их влияние на изменение ускоряющей силы поезда, что подтверждается данными МСУД и КЛУБ, однако при отключении систем автономного питания пассажирского вагона, а также в процессе торможения каких-либо изменений кривой скорости выявлено не было. Это связано с тем, что угловые скорости колесных пар пассажирского вагона остаются неизменными [6].

В работе Н. В. Гребенникова, А. А. Зарифьяна [7] выполнялось математическое моделирование процесса торможения пассажирского вагона, оснащенного подвагонным генератором. По результатам

расчета авторами было выявлено, что продольные силы в контакте «колесо — рельс» первой (свободной) оси полностью определяются действием тормозного момента величиной 3400 Н, а продольные силы второй колесной пары включают в себя суммарный тормозной и электромагнитный момент от подвагонного генератора, равный 7000 Н. Несмотря на разницу продольных замедляющих сил в контакте первой и второй осей колесных пар, отключение генератора не сопровождается увеличением общего ускорения поезда по причине малой начальной скорости движения, относительно высокой инерционной составляющей и наличием основного сопротивления движению поезда.

В ходе углубленного анализа регистрационных параметров систем МСУД и КЛУБ пассажирских электровозов было установлено, что влияние электромагнитного момента, создаваемого подвагонным генератором, возможно определить с использованием скоростной кривой, оценивая диапазон трогания электровоза и его последующий разгон до скорости автоматического подключения генератора.

Стоит также отметить, что, помимо расшифровки данных с бортовых систем электровоза, кривую скорости можно также получить благодаря системе взаимодействия с локомотивом посредством технологической радиосвязи (далее — СВЛТР), а это позволяет облегчить оценку влияния подвагонного генератора в плане получения исходных данных с бортов пассажирских электровозов.

Предлагаемый способ. Так как момент включения подвагонного генератора влияет на результирующие ускоряющие силы поезда, возникла идея учета дополнительного сопротивления на основе анализа скоростной кривой путем оценки зоны изменения интенсивности разгона в диапазоне скоростей 30–40 км/ч, при котором в системе продольных сил подвижного состава появляются дополнительные силы от работы подвагонных генераторов. На рис. 4 схематично представлено графическое определение силы сопротивления движению подвагонного генератора на основе анализа кривой скорости, полученной с бортовых систем локомотивов.

Согласно рис. 4 влияние подвагонного генератора на характер движения тягового подвижного состава оценивается в интервале временного разгона от t_0 до t_i при достижении скоростей 30–40 км/ч. Определение изменения скорости Δv_p между фактической скоростной кривой 1, полученной по данным бортовых систем учета параметров локомотива, и расчетной кривой 2, построенной путем аппроксимации фактического массива данных ниже скорости 30 км/ч с последующей экстраполяцией до 40 км/ч, позволяет найти численное изменение ускорения при создании дополнительного сопротивления движению в момент времени t_i . При последующем переносе Δv_p на тяговую характеристику

локомотива (рис. 5) определяется величина расчетной силы тяги ΔF_p , которая была необходима для компенсации тормозных сил поезда, вызванных включением подвагонного генератора. На основании того, что расчетная сила тяги ΔF_p была затрачена на поддержание скорости поезда, справедливо равенство $\Delta F_p = W_{\text{пр}}$, которое является решением задачи по наиболее точному определению сил сопротивления движению поезда от тормозного момента подвагонного генератора для каждого пассажирского поезда в частности.

Для оценки влияния подвагонных генераторов на итоговый расход ТЭР локомотивом необходимо и достаточно из найденного расчетного сопротивления движению $\Delta F_p = W_{\text{пр}}$ выделить величину средней условной мощности подвагонного генератора P' , которая является неизменной основополагающей расчетной величиной (согласно Правилам тяговых расчетов для поездной работы⁷), характеризующей долю влияния подвагонных генераторов на суммарное сопротивление движению пассажирского поезда.

Для получения наиболее точного значения данной величины предполагаются повторные исследования интервалов разгона поезда (0–40 км/ч) с выявлением фактической мощности $P_{\text{ми}}$ по каждому расчетному интервалу и дальнейшее определение среднего арифметического значения фактической мощности генератора по текущей поездке. Выполнение подобного рода анализа позволяет в дальнейшем осуществить четкое разделение потерь ТЭР, связанных с преодолением сил сопротивления движению, возникающих исключительно в пассажирском движении.

Предлагаемый способ определения средней условной мощности подвагонного генератора на основе анализа кривой скорости⁸ разделяется на несколько последовательно выполняемых этапов, отображенных на рис. 6 [8].

Осуществим расчет средней условной мощности генератора с применением предлагаемого способа. В качестве примера используются данные по скорости и времени ее регистрации из СВЛТР для пассажирского поезда, следовавшего с электровозом ЭП20, и 16 пассажирскими вагонами при средней нагрузке на ось 15,25 т.

Согласно этапу 1 определяется массив исходных данных $[v_i; t_i]$, полученных с бортовых систем записи информации локомотива, где v_i — скорость движения локомотива на i -м участке пути, t_i — время фиксации показаний на i -м участке пути. В базе данных СВЛТР данная информация хранится в виде таблицы и включает данные о серии тягового подвижного состава, его номере, информацию о секции, с которой

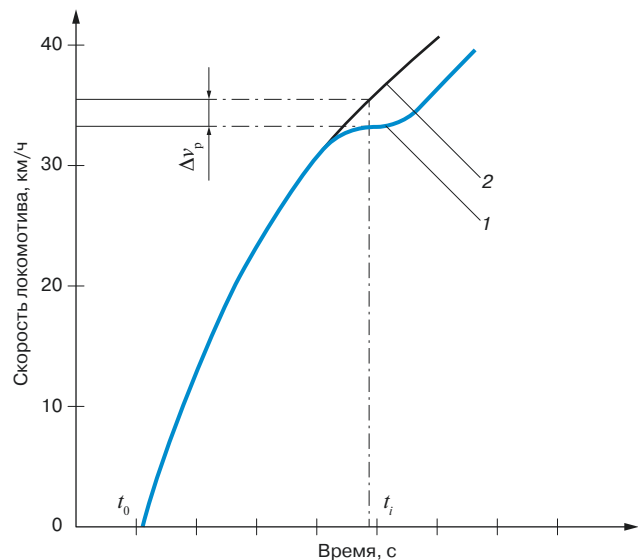


Рис. 4. Определение силы сопротивления движению на основе кривой скорости:
1 — фактическая скоростная кривая; 2 — расчетная скоростная кривая

Fig. 4. Determination of resistance to motion from a speed curve:
1 — actual speed curve; 2 — estimated speed curve

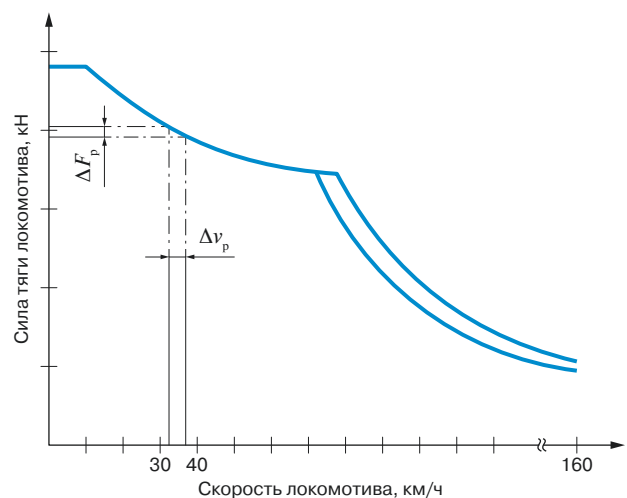


Рис. 5. Условное отображение тяговой характеристики локомотива ЭП20 с конструкционной скоростью 160 км/ч

Fig. 5. Conventional representation of EP20 locomotive traction with design speed of 160 km/h

осуществляется регистрация параметров, а также непрерывную запись фактической скорости и географических координат с постоянной фиксацией времени.

На этапе 2 происходит определение значений v_{pi} , t_{pi} , где v_{pi} — скорость движения локомотива при разгоне на

⁷ Об утверждении Правил тяговых расчетов для поездной работы. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXR&n=672553#82zSqCUljwSHzng5> (дата обращения: 19.02.2024).

⁸ Павловский А. И. Исследование и оценка сопротивлений движению вагонов на сортировочных горках: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1989. 24 с.

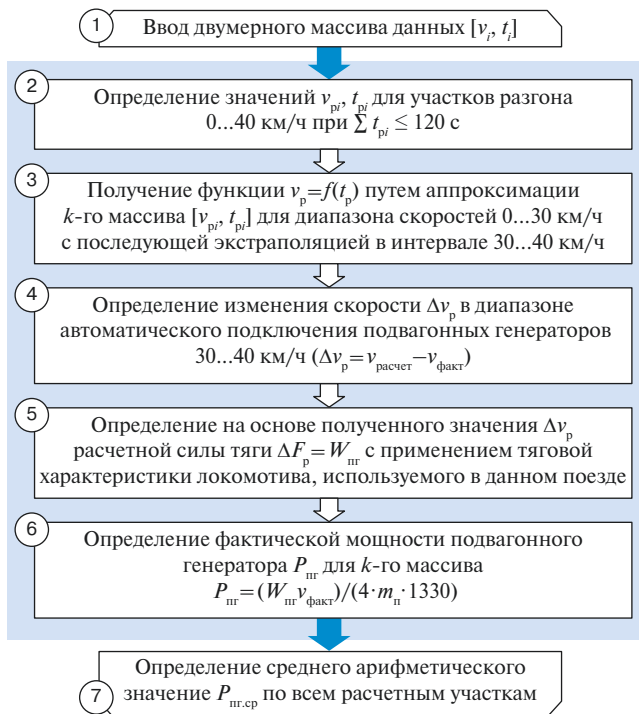


Рис. 6. Этапы реализации способа определения средней условной мощности подвагонных генераторов на основе анализа кривой скорости

Fig. 6. Implementation stages of the method for determining the average rated power of undercarriage generators based on speed curve analysis

loc_type	loc_num	sec_num	speed	lat	lon	dt	record_dt	Δ
273	44	0	15	44,10	39,08	26.10.2020 8:00	26.10.2020 8:00	0
273	44	0	20	44,10	39,08	26.10.2020 8:00	26.10.2020 8:00	10
273	44	0	26	44,09	39,08	26.10.2020 8:00	26.10.2020 8:00	25
273	44	0	30	44,09	39,08	26.10.2020 8:01	26.10.2020 8:01	38
273	44	0	32	44,09	39,08	26.10.2020 8:01	26.10.2020 8:01	50
273	44	0	33	44,09	39,08	26.10.2020 8:01	26.10.2020 8:01	62
273	44	0	35	44,09	39,08	26.10.2020 8:01	26.10.2020 8:01	72
273	44	0	37	44,09	39,08	26.10.2020 8:01	26.10.2020 8:01	83

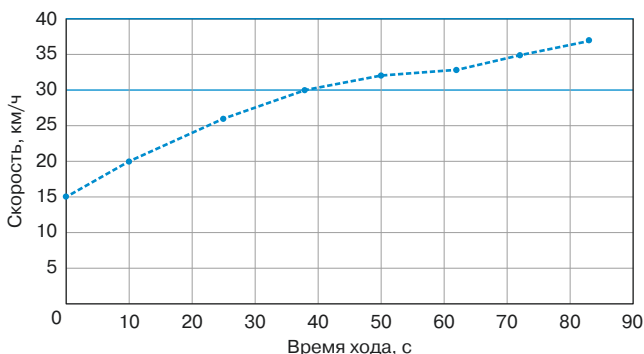


Рис. 7. Определение участков разгона по данным СВЛТР

Fig. 7. Determination of acceleration sections from the locomotive technical radio communication system data

i -м участке пути, t_{pi} — время фиксации показаний при разгоне на i -м участке пути для участков разгона поезда 0...40 км/ч с выполнением условия $\sum t_{pi} \leq 120$ с. Соблюдение данного условия свидетельствует о том, что разгон поезда осуществляется в данном участке непрерывно. Согласно выбранному примеру, на рис. 7 представлен участок разгона поезда, в котором насчитывается 8 зарегистрированных параметров скорости с общим временем разгона (Δ), составившим 83 с. На данном рисунке можно наблюдать снижение ускорения поезда по причине подключения подвагонного генератора на интервале 30–35 км/ч.

Этап 3 характеризуется преобразованием полученного массива в полиномиальную функцию для последующего определения расчетного значения скорости — $v_{p, \text{расчет}}$ в зоне подключения генераторов. На рис. 8 отображена расчетная кривая, полученная вследствие аппроксимации кубическим полиномом массива данных при скорости менее 30 км/ч с дальнейшим экстраполированием по интервалу 30...40 км/ч. При совместном рассмотрении фактической и расчетной кривой скорости можно выделить три явно выраженных зоны⁹ [9]:

I зона (начальная зона) — в данной зоне наблюдается равномерный набор скорости, характеризующийся действием ускоряющих сил.

II зона (зона перехода) — в ней осуществляется возникновение тормозного эффекта от подключения подвагонного генератора, при этом фактическая кривая будет иметь так называемую просадку в процессе повышения скорости. Между тем расчетная кривая показывает движение поезда без возникновения тормозных сил.

III зона (зона восстановления) — в данной зоне происходит восстановление ускоряющих сил системами автоматического управления тяговым подвижным составом для поддержания заданного темпа увеличения скорости (об этом свидетельствует подобие расчетной кривой во II зоне и фактической кривой в III зоне).

На этапе 4 осуществляется определение изменения скорости $\Delta v_p = v_{p, \text{расчет}} - v_{p, \text{факт}}$ в месте перехода II и III зоны, так как данный промежуток является местом полного подключения подвагонного генератора, после чего происходит компенсация тормозящих сил системами тягового подвижного состава.

Для данного примера $v_{p, \text{расчет}} = 35,31$ км/ч, $v_{p, \text{факт}} = 33$ км/ч, $\Delta v_p = 2,31$ км/ч.

На этапе 5 определяется расчетная сила тяги $\Delta F_p = W_p$ с использованием тяговой характеристики локомотива. На рис. 9 представлена тяговая характеристика пассажирского электровагона ЭП20. Для удобства

⁹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662629 Российская Федерация. Моделирование движения с учетом переменного сопротивления среды: № 2021661630: заявл. 23.07.2021; опублик. 02.08.2021 / Бородин К. И., Конев С. Ф., Конев А. С.; заявитель Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина. EDN: <https://www.elibrary.ru/ytetlz>.

и более точного определения силы тяги предполагается представить характеристику в виде математической функции в интервале 12...60 км/ч, и для данного интервала квадратичная регрессия с коэффициентом корреляции равна 0,998 [10].

Согласно выполненному расчету $F_{\text{расчет}} = 392\,733$ Н при скорости 35,31 км/ч, $F_{\text{факт}} = 396\,919$ Н при скорости 33 км/ч. Величина расчетной силы тяги $\Delta F_p = W_{\text{пр}} = 4186$ Н. Это свидетельствует о том, что 1,06 % силы было дополнительно потрачено на компенсацию сопротивления тормозного электромагнитного момента подвагонного генератора при фактической скорости движения.

На этапе 6 необходимо выявить величину фактической мощности генератора $P_{\text{пр}}$, определенную для данного участка:

$$P_{\text{пр}} = \frac{v_{\text{пр}} W_{\text{пр}}}{4 \cdot m_{\text{п}} \cdot 1330} = \frac{33 \cdot 4186}{4 \cdot 16 \cdot 1330} = 1,63 \text{ кВт}. \quad (4)$$

Для более точного определения средней мощности подвагонного генератора на этапе 7 происходит повторная процедура расчетов согласно 2–6 этапам, позволяющая определить нужное значение фактической мощности по каждому участку разгона в отдельности.

Для данного примера был выполнен повторный расчет на отдельных участках разгона после остановок по станциям, в ходе которого было выявлено среднее арифметическое значение фактической мощности подвагонного генератора по текущей поездке, численно равное 1,71 кВт. Стоит отметить, что также был произведен ряд других расчетов средней мощности подвагонных генераторов пассажирских поездов с электровозами ЭП2К, ЭП1П и тепловозом ТЭП70. В ходе этих расчетов среднее значение мощности подвагонного генератора распределялось в диапазоне 1,2...5,4 кВт, притом что расчеты были выполнены в холодные времена года.

Необходимо отметить, что для получения качественных результатов расчета мощности подвагонных генераторов предлагаемым способом, а следовательно, и определения действующих сил сопротивления движению необходимо обязательно ввести ряд условий и допущений.

Во-первых, для обработки данных принимается массив $[v_i; t_i]$ с бортовых систем тех локомотивов, которые имеют переменную тяговую характеристику в зоне ограничения силы тяги при скоростях 0...40 км/ч. Так, например, данные, полученные с электровозов серии ЭП20 с конструкционной скоростью 200 км/ч, не будут подходящими для анализа, так как ограничение силы тяги имеет постоянное значение в необходимом скоростном диапазоне.

Во-вторых, определение участков разгона при 0...40 км/ч и соответствующих значений v_{pi} , t_{pi} выполняется на станциях, имеющих площадку крутизной не

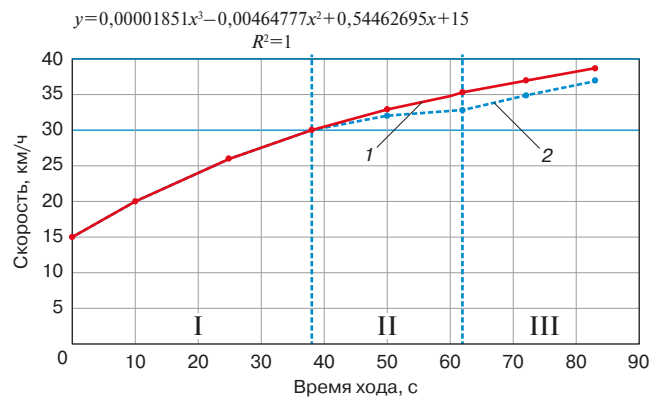


Рис. 8. Построение расчетной кривой скорости с применением кубического полинома:
I — начальная зона; II — зона перехода; III — зона восстановления;
1 — расчетная кривая; 2 — фактическая кривая

Fig. 8. Estimated speed curve plotting using a cubic polynomial:
I — starting section; II — transition section; III — recovery section;
1 — estimation curve; 2 — actual curve

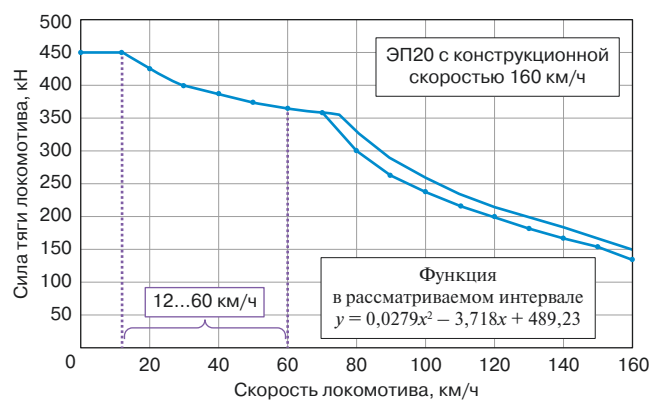


Рис. 9. Тяговая характеристика электровоза ЭП20 с полиномиальной функцией для интервала 22...50 км/ч

Fig. 9. Electric locomotive EP20 traction with polynomial function for 22...50 km/h interval

более 2 ‰, после полной остановки. При этом оценка наличия станции в пути следования выполняется на основании данных маршрутов машиниста.

В-третьих, для оценки предлагаемым способом не принимаются пассажирские поезда, состоящие из вагонов, имеющих энергоснабжение от сети локомотива (например, двухэтажные вагоны модели 61-4465).

Обсуждение и заключение. Применение предлагаемого способа расчета средней условной мощности позволяет выявить наиболее точную долю сил сопротивления от подвагонного генератора и провести последующую оценку расхода ТЭР на преодоление этих сил [11]. Кроме того, данный способ позволит оценить влияние подвагонных генераторов на расход ТЭР при определенных условиях (например, для ночного режима работы, работы при высокой или низкой температурах, эксплуатации пассажирского состава,

состоящего из одного типа вагонов и т. д). Для этого необходимо лишь осуществить выборку нужных данных, подлежащих дальнейшей обработке. Результаты исследований частных случаев эксплуатации пассажирских поездов с подвагонными генераторами могут быть адаптированы для последующего применения при выполнении сравнительной оценки генераторных установок [2].

В ходе углубленного исследования влияния электромагнитного тормозного момента подвагонных генераторов на расход ТЭР в пассажирском движении был разработан способ определения средней условной мощности подвагонных генераторов на основе анализа кривой скорости, полученной с бортовых систем тягового подвижного состава.

Комплексное применение результатов исследования позволяет производить учет влияния дополнительного сопротивления движению от подвагонных генераторов на расход ТЭР в пассажирском движении с наибольшей степенью достоверности по отношению к фактическим результатам.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Астахов П. Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава. М.: Транспорт, 1966. 178 с. (Труды Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта; вып. 311).
2. Astakhov P. N. *Resistance to railway rolling stock motion*. Moscow: Transport Publ.; 1966. 178 p. (Proceedings of the Railway Research Institute; Issue 311). (In Russ.).
3. Козьмин В. А. Коэффициент полезного действия генераторной установки пассажирского вагона без кондиционирования воздуха / В. А. Петраков [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1989. № 1. С. 41–43.
4. Petrakov A. V., Samoshkin S. L., Grigoriev E. N., Mironov S. S. Performance coefficient of passenger car generator without air conditioning. *Russian Railway Science Journal*. 1989;(1):41–43. (In Russ.).
5. Климович А. В., Кообар А. А., Лендясав А. С. Методика определения сопротивления движению поезда по данным электронного регистратора параметров движения // Известия Транссиба. 2010. № 3. С. 16–25.
6. Klimovich A. V., Koobar A. A., Lendyasov A. S. Methodology for determining the resistance to train motion from the data of the electronic motion parameter recorder. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2010;(3):16–25. (In Russ.).
7. Лобыцин И. О. Моделирование работы наклонной тяги грузового магистрального электровагона серии ВЛ85 // Теоретический

и практический потенциал современной науки: сб. науч. ст. М.: Пепо, 2023. Т. XIV. С. 9–12. EDN: <https://elibrary.ru/kgjwvb>.

Lobytsin I. O. Simulation of inclined traction operation of the VL85 series freight mainline electric locomotive. In: *The Theoretical and Practical Potential of Modern Science: collection of scientific articles*. Moscow: Pero Publ.; 2023. T. XIV. C. 9–12. EDN: <https://elibrary.ru/kgjwvb>.

5. Комплексный анализ эффективности использования современного подвижного состава при перевозках массовых грузов / С. П. Вакуленко [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 2. С. 170–178. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-2-170-178>.

Vakulenko S. P., Romenskaya M. V., Kalinin K. A., Shvedin K. I. Comprehensive analysis of the modern rolling stock efficiency in bulk cargo transportation. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(2):170–178. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-2-170-178>.

6. Методические положения по определению основных параметров организации перевозочного процесса при внедрении вагонов с повышенной осевой и погонной нагрузкой / М. И. Мехедов [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 4. С. 359–369. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-4-359-369>.

Mekhedov M. I., Sotnikov E. A., Kholodnyak P. S., Kapyrin A. A., Kornienko N. V. Methodological provisions for determining the main parameters of the organisation of the transportation process during the introduction of cars with increased axial and linear load. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(4):359–369. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-4-359-369>.

7. Гребенников Н. В., Зарифьян А. А. Динамика и энергоэффективность пассажирского вагона, оснащенного вентильно-индукторным генератором // Вестник РГУПС. 2012. № 4 (48). С. 15–21. EDN: <https://elibrary.ru/pjtabz>.

Grebennikov N. V., Zarifyan A. A. Performance and efficiency of passenger cars fitted with valve-inductor generators. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya (Vestnik RGUPS)*. 2012;(4):15–21. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/pjtabz>.

8. Rozhkov A., Suyunbaev Sh., Salfetnikov V., Balabaev O., Nartov M. Determination of additional resistance to train movement from profile elements of railway sidings of industrial facilities // Труды университета. 2022. № 2 (87). С. 211–216. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_2_211.

Rozhkov A., Suyunbaev Sh., Salfetnikov V., Balabaev O., Nartov M. Determination of additional resistance to train movement from profile elements of railway sidings of industrial facilities. *Trudy universiteta*. 2022;(2):211–216. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_2_211.

9. Огнева Т. Д. Исследование сопротивления движению подвижного состава рельсового транспорта // Электротехнические комплексы и системы: материалы 54-й Междунар. науч. студенч. конф. МНСК–2016, Новосибирск, 16–20 апреля 2016 г. Новосибирск: Новосибирский нац. исслед. гос. ун-т, 2016. С. 28. EDN: <https://elibrary.ru/uqycho>.

Ogneva T. D. Research in resistance to motion of rail rolling stock. In: *Electrotechnical complexes and systems: Proceedings of the 54th international students scientific conference, 16–20 April 2016, Novosibirsk*. Novosibirsk: Novosibirsk State University; 2016. p. 28. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/uqycho>.

10. Ablyalimov O., Yakubov Ja., Kosimov Kh., Avdeyeva A., Safarov U. To the operation of undercar generators in passenger trains. *Univsum: Technical sciences*. 2023;(2-5):49–52. EDN: <https://elibrary.ru/mymlsp>.

11. Панченко А. В. Анализ существующих методов разработки оптимальных режимов движения поездов // Евразийский научный журнал. 2017. № 4. С. 206–208. EDN: <https://elibrary.ru/ytstil>.

Panchenko A. V. Analysis of existing methods for developing optimal train operation modes. *Eurasian Science Journal*. 2017;(4):206–208. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ytstil>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Игорь Олегович ЛОБЫЦИН,

ведущий инженер, научный центр «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10)

Игорь Александрович ПАНКОВ,

заместитель директора, научный центр «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), pankov.igor@vniizht.ru

Владислав Викторович ФЕДИН,

заместитель начальника отдела, научный центр «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), fedin.vladislav@vniizht.ru

Николай Алексеевич БАРАНОВ,

стажер-исследователь, научный центр «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), baranov.nikolai@vniizht.ru

Константин Иванович ШВЕДИН,

заместитель директора, научный центр «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), shvedin.konstantin@vniizht.ru

Сергей Олегович ЛИТВИНЦЕВ,

технический эксперт, научный центр «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), litvintsev.sergey@vniizht.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor O. LOBYTSIN,

Leading Engineer, Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies Scientific Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.)

Igor A. PANKOV,

Deputy Director, Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies Scientific Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), pankov.Igor@vniizht.ru

Vladislav V. FEDIN,

Deputy Head of Department, Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies Scientific Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), fedin.vladislav@vniizht.ru

Nikolay A. BARANOV,

Trainee Researcher, Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies Scientific Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), baranov.nikolai@vniizht.ru

Konstantin I. SHVEDIN,

Deputy Director, Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies Scientific Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), shvedin.konstantin@vniizht.ru

Sergey O. LITVINTSEV,

Technical Expert, Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies Scientific Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), litvintsev.sergey@vniizht.ru

ВКЛАД АВТОРОВ

Игорь Олегович ЛОБЫЦИН. Сбор и структурирование материала, проведение расчетов, написание и редактирование текста статьи (40%).

Игорь Александрович ПАНКОВ. Обзор основных направлений исследований, проведение расчетов, оценка результатов (15%).

Владислав Викторович ФЕДИН. Научно-техническое сопровождение, анализ результатов и выводы (10%).

Николай Алексеевич БАРАНОВ. Написание и редактирование текста статьи, проведение расчетов (15%).

Константин Иванович ШВЕДИН. Проведение испытаний и обработка результатов, расчетно-графическое описание (10%).

Сергей Олегович ЛИТВИНЦЕВ. Методические вопросы стендовых испытаний, разработка методики испытаний (10%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Igor O. LOBYTSIN. Compilation and structuring the materials, calculations, article writing and editing (40%).

Igor A. PANKOV. Overview of the main areas of research, calculations, evaluation of results (15%).

Vladislav V. FEDIN. Scientific and technical support, result analysis and conclusions (10%).

Nikolay A. BARANOV. Article writing and editing, calculations (15%).

Konstantin I. SHVEDIN. Testing and result processing, calculation graphics (10%).

Sergey O. LITVINTSEV. Methodological issues of bench testing, development of research methods (10%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

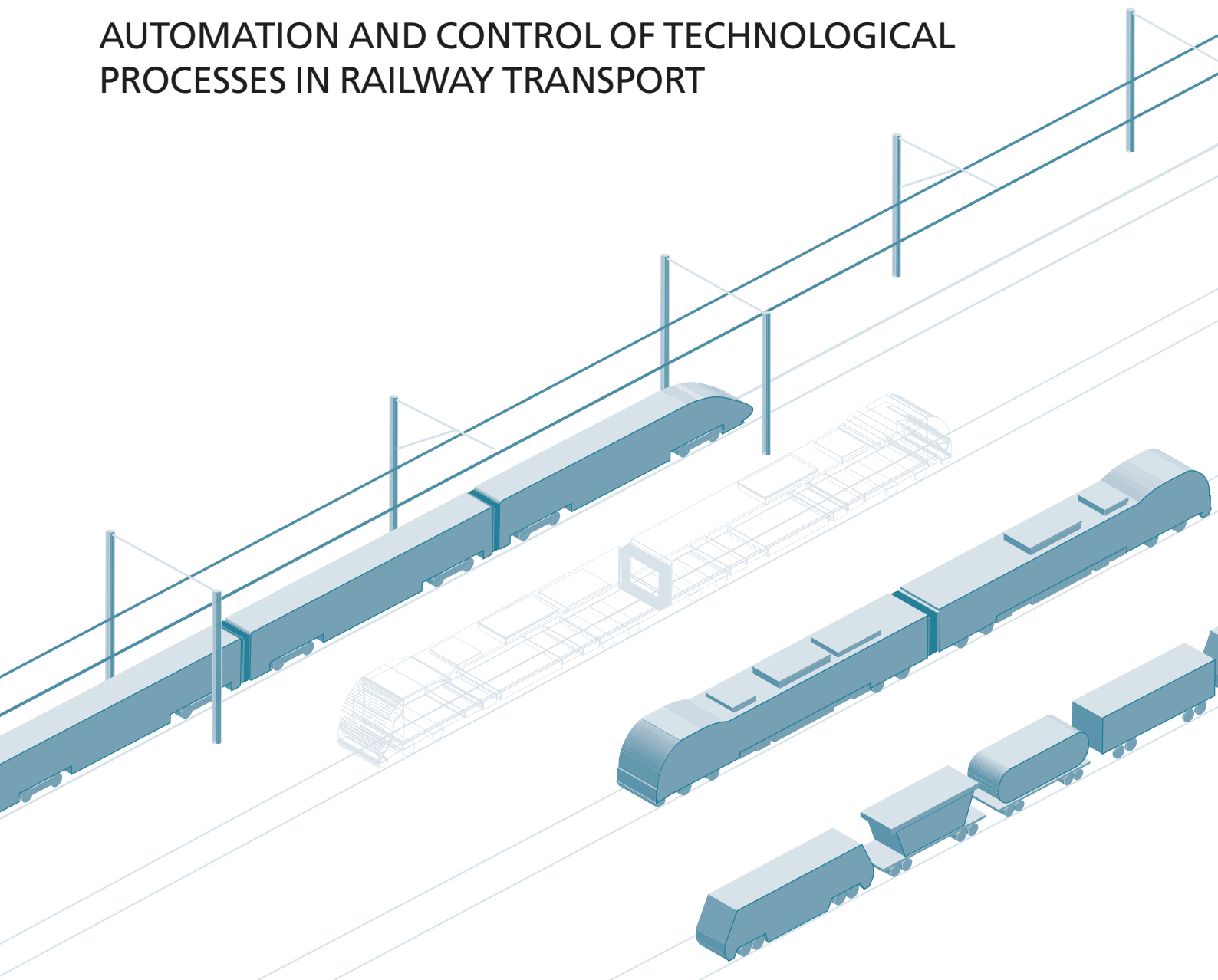
The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 27.02.2024, рецензия от первого рецензента получена 11.03.2024, рецензия от второго рецензента получена 13.03.2024, рецензия от третьего рецензента получена 20.03.2024, принята к публикации 02.05.2024.

The article was submitted 27.02.2024, first review received 11.03.2024, second review received 13.03.2024, third review received 20.03.2024, accepted for publication 02.05.2024.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL
PROCESSES IN RAILWAY TRANSPORT



АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Оригинальная статья

УДК 625.143.482:620.179.14

EDN: <https://elibrary.ru/nqbdla>**Автоматизация измерения стыковых зазоров рельсового пути
магнитным методом****А. А. Марков✉, А. Г. Антипов, Е. А. Максимова**АО «Радиоавионика»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация**АННОТАЦИЯ**

Введение. Способы автоматического измерения стыковых зазоров рельсового пути обладают недостаточной точностью измерений или предусматривают использование дорогостоящей аппаратуры и датчиков. В силу этого мониторинг стыковых зазоров до сих пор во многих случаях производится вручную. Цель работы — экспериментально исследовать новый способ автоматического измерения зазоров в болтовых стыках рельсов с помощью магнитного (MFL) метода дефектоскопии.

Материалы и методы. В работе использованы результаты контроля реальных путей, выполненного вагоном-дефектоскопом на одной из железных дорог ОАО «РЖД». Специально разработанная программа по сигналам магнитного канала выделила места болтовых стыков рельсов и определила величину стыковых зазоров. Дополнительно проведено ручное измерение стыковых зазоров по видеоизображениям болтовых стыков, полученным с бортовой системы видеорегистрации рельсов.

Результаты. Получены выражения для расчета величины стыкового зазора по характеристикам сигналов магнитных датчиков. Малые зазоры (до 8 мм) оцениваются по амплитудному параметру, средние и большие зазоры (более 9 мм) — по пространственному параметру сигналов от стыковых зазоров. Проведен сравнительный анализ результатов измерений зазоров двумя указанными (визуальным и магнитным) методами.

Обсуждение и заключение. Подтверждено, что автоматическое выделение болтовых стыков и определение величины стыковых зазоров по сигналам магнитного метода дефектоскопии рельсов можно производить с достаточной для практики достоверностью. Сравнительный анализ полученных значений по данным видеоконтроля и по сигналам магнитного метода показал высокую точность измерения стыковых зазоров при использовании последнего. Отмечена высокая стабильность и повторяемость сигналов магнитного метода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный путь, бесстыковой путь, болтовой стык, стыковой зазор, рельсовая дефектоскопия, магнитный метод, намагничивающая система, магниточувствительные датчики

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Марков А.А., Антипов А.Г., Максимова Е.А. Автоматизация измерения стыковых зазоров рельсового пути магнитным методом // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 149–160.

✉ anarmarkov@gmail.com (А. А. Марков)© Марков А. А., Антипов А. Г.,
Максимова Е. А., 2024



AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 625.143.482:620.179.14

EDN: <https://elibrary.ru/nqbdla>



Magnetic method of rail track joint gaps automated measurement

Anatoly A. Markov✉, Andrey G. Antipov, Ekaterina A. Maksimova

Radioavionica JSC,
St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Methods of automatic measurement of rail track joint gaps are not accurate enough or require costly equipment and sensors. This is why joint gaps are still monitored manually in many cases. The work is intended to experiment and examine a new method of automatic measurement of gaps in bolted rail joints using magnetic flaw detection (MFL).

Materials and methods. The paper uses actual track inspection results obtained by a flaw detection car on one of the railroads of Russian Railways. A specially developed programme used magnetic channel signals to highlight bolted rail joint locations and determine the magnitude of the joint gaps. The joint gaps were also measured manually using video images of bolted joints obtained by the on-board rail video recording system.

Results. The authors obtained expressions for calculating the joint gap value using magnetic sensor signals. Small gaps (up to 8 mm) are estimated by amplitude, medium and large gaps (above 9 mm) — by the spatial parameter of the signals from joint gaps. The authors compared the gap measurements from the two specified methods: visual and magnetic.

Discussion and conclusion. The research confirmed that automatic identification of bolted joints and determination of the value of joint gaps by magnetic rail flaw detection are sufficiently reliable for practical application. A comparative analysis of the values of the video inspection and the magnetic method showed high accuracy of joint gap measurement when using the latter. The magnetic method signals show high stability and repeatability.

KEYWORDS: railway track, continuous welded rail track (CWR), bolted joint, joint gap, rail flaw detection, magnetic method, magnetising system, magnetic sensors

FOR CITATION: Markov A. A., Antipov A. G., Maksimova E. A. Magnetic method of rail track joint gaps automated measurement. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):149-160. (In Russ.).

✉ anarmarkov@gmail.com (A. A. Markov)

© Markov A. A., Antipov A. G.,
Maksimova E. A., 2024

Введение. Количество болтовых стыков рельсов на железных дорогах России все еще существенно превосходит количество стыков сварных.

Во избежание возникновения значительных температурных напряжений бесстыковые сварные рельсовые плети разделяются комплектами из уравнительных рельсов, состоящими из 2–4 пар рельсов с болтовыми стыками [1]. При вырезке рельса с опасным дефектом (остродефектного рельса) в сварных плетях появляются места временного восстановления — рельсовые вставки с болтовыми стыками. Только на временных рубках имеется более 0,66 млн болтовых стыков. Количество мест временного восстановления за последние 20 лет выросло почти в десять раз [2], и эта тенденция пока сохраняется, несмотря на постоянное восстановление плетей сваркой. По данным Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры ОАО «РЖД» на май 2024 г., на всей сети железных дорог находится 331 тыс. рубок.

Зоны стрелочных переводов, станционные звеньевые пути, изолирующие стыки также соединяются с помощью болтовых стыков с конструктивными стыковыми зазорами. Величина зазоров в болтовых стыках рельсов и их годовая динамика — важный параметр при эксплуатации и техническом обслуживании рельсового пути. Периодическое измерение стыковых зазоров является одним из способов проведения мониторинга температурной работы сварных рельсовых плетей. Это позволяет прогнозировать надежность бесстыкового пути с целью предотвращения нежелательных последствий при наступлении экстремальных и близких к ним температур.

В теплое время года неконтролируемое температурное расширение сварной рельсовой плети может привести к внезапному «выбросу» пути и к сходу подвижного состава с рельсов. Для боковой устойчивости звеньевого пути в летнее время не допускается наличие более двух подряд нулевых зазоров для рельсов длиной 25 м или более четырех нулевых зазоров для рельсов 12,5 м¹. При наличии нескольких подряд нулевых зазоров движение поездов закрывают, кроме случаев, когда нулевые зазоры являются нормальными. При низких температурах воздуха для предупреждения

разрыва рельсовых стыков зазоры не должны превышать 22 мм для рельсов 25 м и при диаметре болтовых отверстий 36 мм. При зазорах 24–35 мм скорость движения поездов ограничивают, а при зазорах более 35 мм движение закрывают².

Анализ возможных способов автоматизации измерения стыковых зазоров, выполненный в [3], показывает, что известные методики и устройства, основанные на акустических, вихретоковых, оптоволоконных системах, на использовании цифровых моделей пути³, обладают недостаточной точностью измерений или предусматривают создание специальной аппаратуры и датчиков, требуя значительных материальных и временных ресурсов при обслуживании. В связи с этим мониторинг стыковых зазоров, в соответствии с действующей нормативной документацией ОАО «РЖД», до сих пор во многих случаях производят вручную [4]. Очевидно, что ручные промеры трудоемки и не лишены субъективности.

В последнее десятилетие на диагностических комплексах путеизмерений и дефектоскопии рельсового пути повсеместно устанавливают системы сплошной видеорегистрации пути на базе линейных видеокамер [5–7]. На получаемых с нескольких ракурсов изображениях рельсов возможно вручную измерять стыковые зазоры с погрешностью 1–2 мм⁴, однако очевидно, что это тоже трудоемкий способ мониторинга.

Специалисты прикладывают большие усилия по совершенствованию сложных программ (алгоритмов) обработки видеоизображений с бортовых камер с применением искусственного интеллекта на базе сверточных нейросетей различных архитектур [8–11]. В настоящее время программное обеспечение диагностических вагонов позволяет с большей или меньшей достоверностью автоматически распознавать различные элементы железнодорожного пути, в том числе болтовые стыки. Результаты автораспознавания зависят от качества получаемых видеоизображений. В объективы камер могут попадать снег, дождь, загрязнения. Недостаточное или чрезмерное освещение рельсов, световые блики, тени, загрязнения, наледь на поверхностях головки рельса, смятия, выкрашивания, накат металла на концах рельсов, изолирующие

¹ Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 № 2288р (с изм. от 02.11.2022). URL: <https://base.garant.ru/71764006> (дата обращения: 16.03.2024).

² Инструкция по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28.02.2020 № 436р (ред. от 11.09.2020, с изм. от 01.04.2021). URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=569108#vaaKWDUMAMquf3KA1> (дата обращения: 16.03.2024).

³ Патент № 2466235 Российская Федерация, МПК E01B 35/04, E01B 37/00. Способ текущего содержания инфраструктуры железных дорог с использованием цифровой модели пути: № 2011105742/11: заявл. 16.02.2011; опубл. 10.11.2012 / Гельфгат А. Г., Суворов А. В., Воронков А. А. [и др.]; заявитель ОАО «РЖД». EDN: <https://www.elibrary.ru/hubvbr>.

⁴ Патент № 101851 Российская Федерация, МПК G02B 27/00. Устройство видеоконтроля состояния поверхности рельсов и рельсовых скреплений: № 2010125393/28: заявл. 21.06.2010; опубл. 27.01.2011 / Архангельский С. В., Розенбаум Л. Б., Козин М. П. [и др.]; заявитель НПЦ ИНФОТРАНС. EDN: <https://www.elibrary.ru/wtbozy>.

вставки, высокий уровень снега на пути и прочие факторы ухудшают достоверность автораспознавания стыков и точность измерения зазоров. Значительные объемы видеoinформации (на разных системах, состоящих из четырех камер, размер файлов составляет 45–165 Гбайт на 100 км пути) усложняют ее передачу⁵ с борта диагностического вагона в стационарные центры диагностики и мониторинга инфраструктуры [12, 13].

В работе исследован вопрос использования сигналов магнитного метода дефектоскопии рельсов с целью автоматической оценки величин стыковых зазоров. Выполнен сравнительный анализ результатов измерения зазоров по данным магнитного канала и системы видеоконтроля рельсов. Данные для анализа получены от типового вагона-дефектоскопа с активной системой намагничивания в процессе проездов по реальным участкам железнодорожного пути на скоростях до 60 км/ч.

Автоматизация выделения сигналов от болтовых стыков методами неразрушающего контроля. Исследование принципиальной возможности оценки стыковых зазоров рельсов с требуемой для практики достоверностью в автоматическом режиме в широком диапазоне температур магнитным методом было выполнено в 2023 г. [3]. Магнитный метод (в зарубежной литературе — Magnetic flux leakage (MFL) method) [14] предполагает формирование в объекте контроля магнитного потока высокой плотности (до 1,2 Тл) при помощи внешних источников постоянного магнитного поля — намагничивающей системы.

Так как предполагается на скоростях движения диагностических комплексов измерять весьма малые величины (зазоры от 0 до 35 мм), то и величина магнитного поля, используемого для измерения, должна сохранять высокую стабильность даже в динамических условиях перемещения подвижной единицы. Поэтому широко известные намагничивающие системы с навесными П-образными магнитами [15] и технологическим зазором $z = 8–12$ мм между полюсами магнита и контролируемыми рельсами для решения поставленной задачи подходят мало. Из-за неизбежных изменений зазора z в процессе движения уровень магнитной индукции в рельсе меняется, что будет влиять на результаты измерений искомых величин.

В связи с этим в качестве системы намагничивания авторами предлагается использовать систему намагничивания рельсов с электромагнитами на осях колесных пар специальной (индукторной) тележки, расположенной в средней части вагона-дефектоскопа [16, 17]. Колеса индукторной тележки служат полюсами

электромагнита, а оси колес совместно с охватывающими их соленоидами создают магнитное поле, используемое для намагничивания участков рельсов между колесами. Колеса прокатываются по контролируемым рельсам и инжектируют магнитный поток через пятно контакта колесо — рельс. Сформированный магнитный поток рассеивается на несплошностях в рельсах, в результате чего вблизи поверхности рельса образуются возмущения магнитного поля, фиксируемые индукционным датчиком или датчиками Холла.

Преимуществами такой системы является эффективное использование конструкции индукторной тележки с минимальными дополнительными элементами (только подвеска соленоидов) и отсутствие технологического зазора ($z = 0$) между полюсами электромагнита и поверхностью катания рельса. Этот фактор совместно со значительным (3000 мм) межполюсным расстоянием и создает условия для создания стабильного магнитного потока в рельсе в процессе скоростного сканирования.

Эффективность вышеописанной системы намагничивания доказана более чем 25-летней успешной эксплуатацией на железных дорогах вагонов-дефектоскопов с аппаратурой «АВИКОН-03», реализующих в едином комплексе ультразвуковой, визуальный (видеорегистрация) и магнитный методы неразрушающего контроля рельсов (рис. 1). Магнитный метод позволяет эффективно обнаруживать поверхностные и внутренние дефекты в головке рельсов на глубине залегания до 20 мм [18].

Выявлена высокая воспроизводимость (стабильность) сигналов магнитного канала от различных конструктивных элементов рельсового пути (болтовых и сварных стыков рельсов, элементов стрелочных переводов и т. п.). Как показал анализ дефектограмм магнитного канала (поз. 1 на рис. 1), полученных в разные времена года четырьмя вагонами-дефектоскопами (№ 324, 480, 486 и 494) на участках разной специализации (от преимущественно пассажирского движения до особо грузонапряженных участков), достоверность автоматического распознавания болтовых стыков составляет не менее 95 % [19]. Использование характерных признаков стыков в ультразвуковых каналах (поз. 2 на рис. 1) позволяет повысить этот показатель. Можно утверждать, что автоматическое выделение зон болтовых стыков по сигналам магнитного и ультразвукового методов можно производить с достаточной для практики достоверностью.

⁵ Регламент проведения обработки, анализа, передачи и хранения информации, полученной в результате работы систем видеоконтроля, установленных на мобильных средствах диагностики [Электронный ресурс]: утв. ЦДИ ОАО «РЖД» от 20.12.2019 № ЦДИ-1112/р. Доступ из АСПИЖТ.

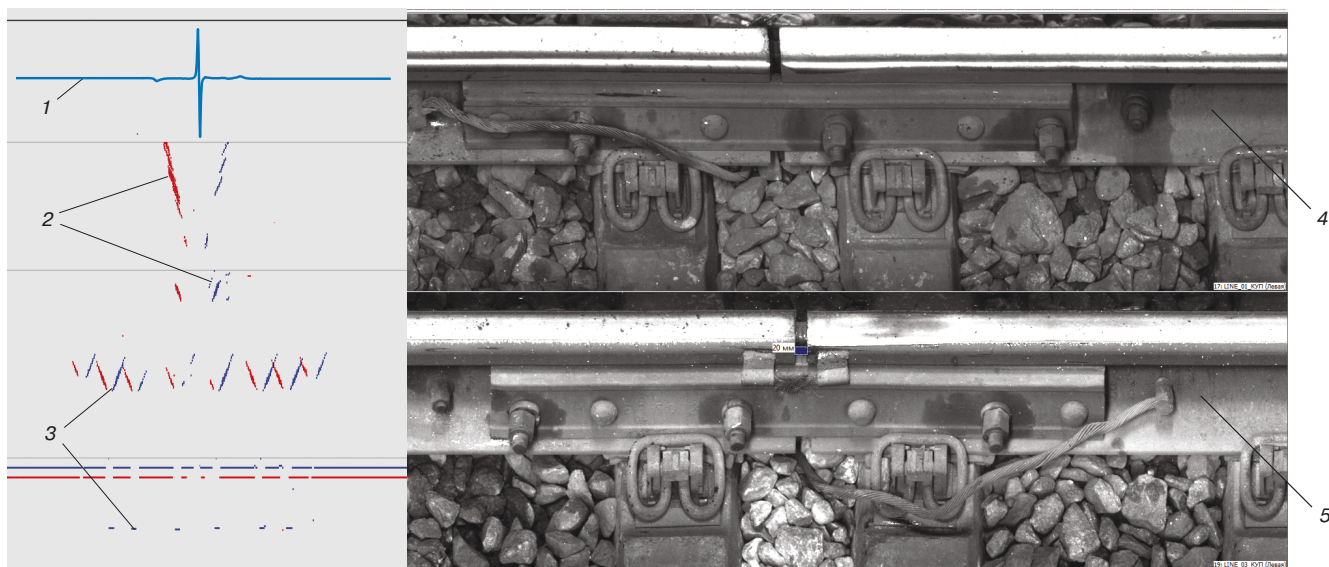


Рис. 1. Отображение сигналов магнитного метода (1), ультразвукового многоканального метода от торцов рельсов (2) и от болтовых отверстий (3), двухракурсного визуального метода изнутри колеи (4) и снаружи (5) в диагностическом комплексе неразрушающего контроля рельсов

Fig. 1. Display of signals of magnetic method (1), ultrasonic multichannel method from rail ends (2) and from bolt holes (3), two-way visual method from inside the track (4) and outside (5) in the nondestructive rail testing package

Информативные характеристики сигналов магнитного метода от болтовых стыков. В зоне болтового стыка в непосредственной близости от стыкового зазора происходит выброс распространяющегося в рельсе магнитного потока в воздух. Магниточувствительный датчик реагирует на это, формируя на дефектограмме разнополярный импульс значительной амплитуды (поз. 1 на рис. 2).

Характеристики указанного импульса (сигнала) зависят от величины стыкового зазора. Особый интерес представляют характеристики, наиболее чувствительные к изменению стыкового зазора, по которым и возможно определить его величину с максимальной точностью.

Для выбора характеристик сигнала магнитного датчика, наиболее информативных с точки зрения определения величины зазора, в работе [3] выполнено трехмерное компьютерное моделирование процесса рассеяния магнитного потока в зоне болтового стыка. Уровни магнитной индукции в рельсе были приняты равными 1,1–1,2 Тл (именно такие уровни наблюдаются при использовании реальных намагничивающих систем рельсовой дефектоскопии) [3, 16]. По результатам моделирования сделан вывод, что при малых зазорах наиболее информативной характеристикой является размах сигнала по амплитуде, а при средних и больших зазорах — расстояние между экстремумами сигнала по продольной координате (рис. 3).

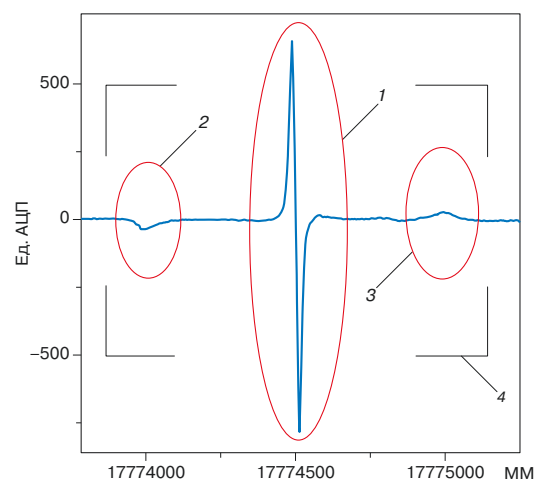


Рис. 2. Фрагмент дефектограммы участка рельса длиной около 1,5 м: 1 — сигнал магнитного датчика от стыкового зазора; 2, 3 — импульсы от концов стыковых накладок; 4 — автоматически распознанная программой зона болтового стыка

Fig. 2. Fragment of the flaw diagram of a rail section about 1.5 m long: 1 — signal of the magnetic sensor from the bolted joint gap; 2, 3 — pulses from the ends of the plates; 4 — bolted joint zone automatically recognised by the program

Также в работе [3] изучались сигналы магниточувствительных датчиков от более чем 600 болтовых стыков с известными зазорами. На основании этих данных были получены экспериментальные зависимости размаха по амплитуде (рис. 4, а) и расстояния между

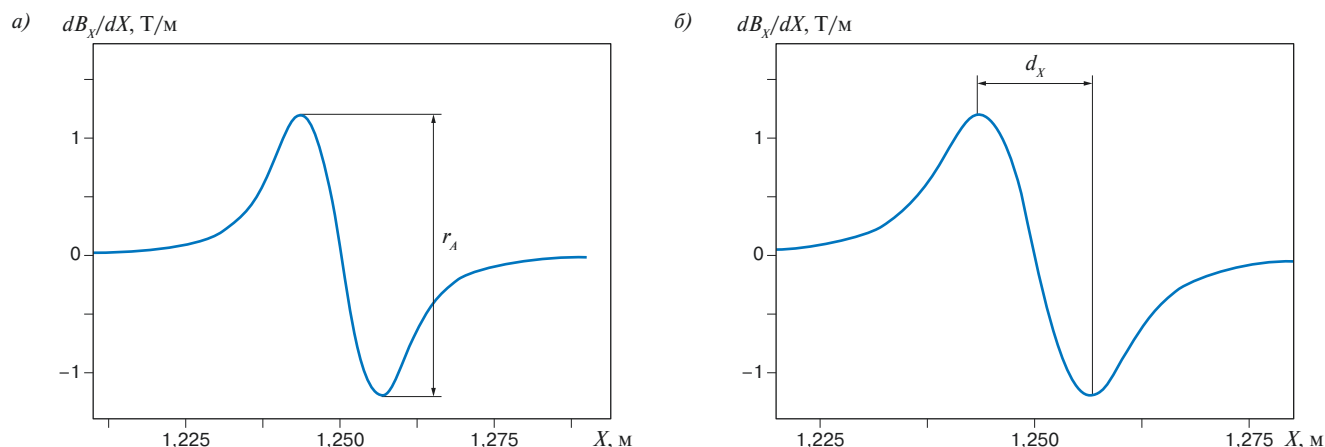


Рис. 3. Информационные параметры импульса от стыкового зазора (поз. 1 на рис. 2):
а — размах по амплитуде; б — расстояние между экстремумами

Fig. 3. Information parameters of the pulse from the bolted joint gap (item 1 in Fig. 2):
а — amplitude range; б — distance between extremes

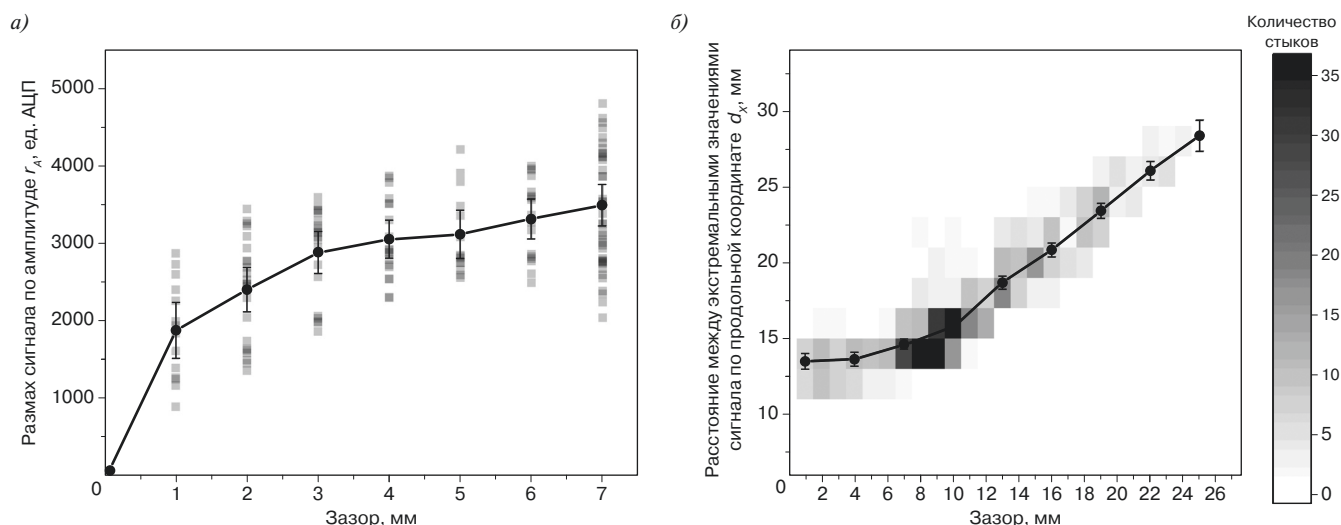


Рис. 4. Зависимости размаха по амплитуде r_A (а) и расстояния между экстремумами d_X (б) сигнала от величины зазора болтового стыка, полученные по данным эксперимента [3]

Fig. 4. Dependences of the amplitude range r_A (а) and the distance between the extremes d_X (б) of the signal on the size of the bolt joint gap, obtained according to experimental data [3]

экстремумами сигнала от зазора стыка (рис. 4, б). Наблюдаемые зависимости качественно совпали с результатами компьютерного моделирования.

Для того чтобы решить задачу определения зазора по характеристикам сигналов магнитных датчиков, необходимо математически описать зависимости, изображенные на рис. 4. Обе зависимости удобно аппроксимировать дробно-линейными функциями, у которых в числителе и знаменателе находятся полиномы степени не выше двух. Такие функции, с одной стороны, обладают достаточным количеством неопределенных коэффициентов (настраиваемых свободных параметров), позволяющих учесть качественные и

количественные особенности описываемых зависимостей. С другой стороны, функции относительно просты и дают возможность сформулировать обратное отображение, что необходимо при вычислении стыковых зазоров по характеристикам магнитных импульсов.

При аппроксимации экспериментальной зависимости размаха сигнала r_A (в условных единицах сигнала АЦП) от величины стыкового зазора λ (в мм) предлагается использовать дробно-линейную функцию

$$r_A(\lambda) = \frac{a_1 \lambda}{\lambda^2 + a_2 \lambda + a_3} = \frac{48000 \lambda}{\lambda^2 - 4 \lambda + 64}. \quad (1)$$

Она отражает особенности зависимости, изображенной на рис. 4, а, а именно: обращение в ноль при нулевом зазоре, линейный рост при зазорах, близких к нулю (линейный коэффициент определяется отношением коэффициентов a_1/a_3), достижение максимума размаха, равного $a_1/(a_2 + 2\sqrt{a_3}) = 4000$ при зазоре $\sqrt{a_3} = 8$ мм, и дальнейшее плавное снижение при увеличении зазора.

Обратная функция, позволяющая вычислять зазор λ по размаху амплитуды сигнала r_A , в заданном диапазоне $0 < r_A \leq 4000$ имеет вид

$$\lambda(r_A) = \frac{\left(\frac{a_1}{r_A} - a_2\right) - \sqrt{\left(\frac{a_1}{r_A} - a_2\right)^2 - 4a_3}}{2} = \frac{\left(\frac{48000}{r_A} + 4\right) - \sqrt{\left(\frac{48000}{r_A} + 4\right)^2 - 4 \cdot 64}}{2}. \quad (2)$$

Зависимость расстояния между экстремумами сигнала по продольной координате d_x (мм) от величины зазора λ (мм) (рис. 4, б) имеет совершенно иной вид, нежели зависимость размаха амплитуды. Тем не менее ее также можно успешно аппроксимировать дробно-линейной функцией

$$d_x(\lambda) = \frac{\lambda^2 + b_1\lambda + b_2}{\lambda + b_3} = \frac{\lambda^2 + 10\lambda + 130}{\lambda + 10}, \quad (3)$$

у которой, в отличие от (1), полином второго порядка находится в числителе, а не в знаменателе. Функция (3) отражает особенности зависимости расстояния между экстремумами сигнала от зазора, а именно: конечное значение (около $b_2/b_3 = 13$ мм) при нулевом зазоре, малые отклонения от постоянного уровня при малых (8 мм и менее) зазорах, постепенный рост показателя при средних зазорах и почти линейный рост при зазорах больших.

Обратная к (3) функция, позволяющая рассчитывать величину зазора λ по расстоянию d_x между экстремумами сигнала, выглядит следующим образом:

$$\lambda(d_x) = \frac{(d_x - b_1) + \sqrt{(d_x - b_1)^2 + 4(b_3d_x - b_2)}}{2} = \frac{(d_x - 10) + \sqrt{(d_x - 10)^2 + 4(10d_x - 130)}}{2}. \quad (4)$$

Формулы (2), (4) в совокупности позволяют вычислить величину зазора болтового стыка по характеристикам сигнала магнитного датчика во всем диапазоне встречающихся на практике зазоров.

Предварительно по расстоянию между экстремумами d_x по выражению (4) определяется величина

стыкового зазора λ . Если данная величина составила 8 мм и менее, то дополнительно оценивается величина размаха амплитуды сигнала r_A , а величина зазора λ уточняется по выражению (2).

Коэффициенты, использованные в формулах (1)–(4), могут быть откорректированы в случае, когда параметры оборудования и условия контроля значительно отличаются от тех, при которых строились экспериментальные зависимости, изображенные на рис. 4. Однако качественные особенности зависимостей носят фундаментальный характер и должны сохраняться в широком диапазоне условий, при которых осуществляется регистрация данных магнитного контроля рельсов.

В ходе исследований авторы выполнили анализ двух файлов проездов эксплуатирующегося вагона-дефектоскопа с активной системой намагничивания по двум участкам пути с преимущественно пассажирским и особо грузонапряженным движением. Проезды суммарной протяженностью 260 км проводились в ноябре и апреле при температурах рельсов $0 \dots +3^\circ\text{C}$ (определены с помощью бортовых пирометров). По сигналам магнитного канала с помощью специально разработанной программы и по выражениям (2), (4) автоматически определили величины зазоров в болтовых стыках и зафиксировали эти результаты в таблице.

Методика измерений стыковых зазоров по видеоизображениям. С целью оценки погрешности измерений стыковых зазоров по данным магнитного метода выполнен анализ изображений исследуемых болтовых стыков, полученных с бортовой системы видеорегистрации пути.

Программное обеспечение вагона-дефектоскопа имеет функцию автоматического распознавания и измерения стыковых зазоров по видеоизображениям. В связи с низкой точностью автоматических измерений, величину зазоров измеряли вручную по изображениям рельсов со стороны нерабочей грани головки, устанавливая измерительный курсор (курсор мыши) посередине высоты головки (рис. 5). В дальнейшем такой способ ручной оценки стыковых зазоров по видеоизображениям принят как наиболее приемлемый при массовом анализе измерений искомой величины.

В процессе ручных измерений старались исключить искажающие факторы (световые блики на блестящих поверхностях головки рельса, косые срезы торцов, наплывы металла (kozyрьки), выкрашивания и смятия на концах рельсов, как на рис. 6). Указанные дефекты торцов рельсов приводят к некорректным значениям зазоров при автоматических измерениях по видеокдрам.

На двух рассматриваемых участках пути имелись стыковые зазоры во всем допустимом диапазоне: от 0 мм (слепые стыки) до 26 мм (рис. 7). Выбросы в зоне

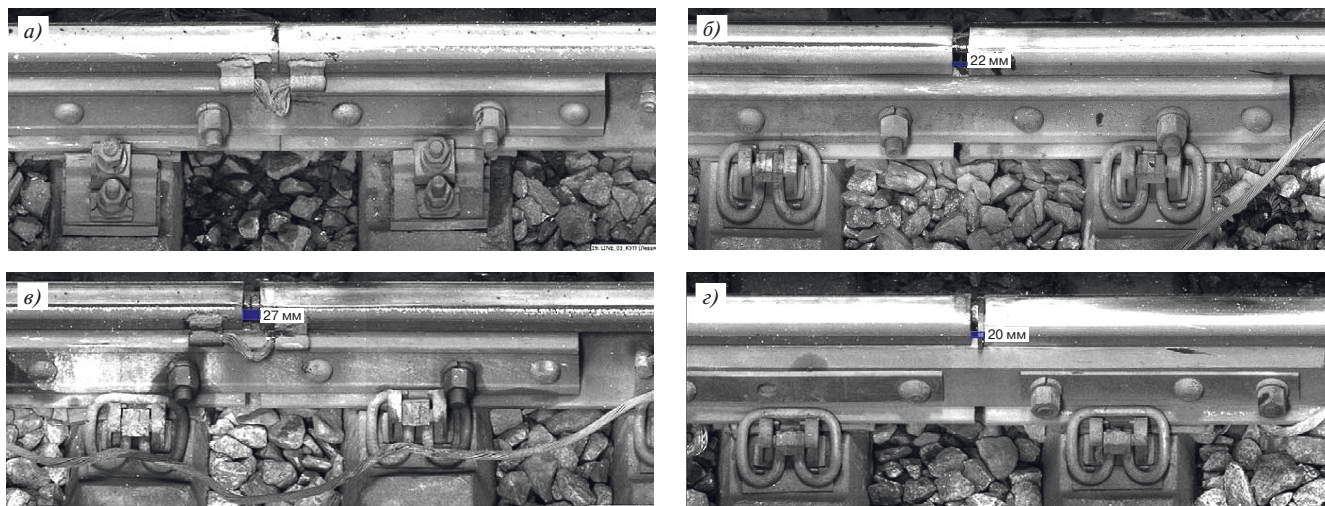


Рис. 5. Болтовые стыки с минимальным (а), номинальным (б) и максимальным (в) зазором; г — изолирующий стык с недопустимо большим (20 мм) зазором. Значения отображаются при наведении курсора мыши на кадрах

Fig. 5. Bolted joints with minimum (a), nominal (б) and maximum (в) gap; г — insulating joint with an unacceptably large (20 mm) gap. Values are displayed when the mouse cursor hovers over the frames

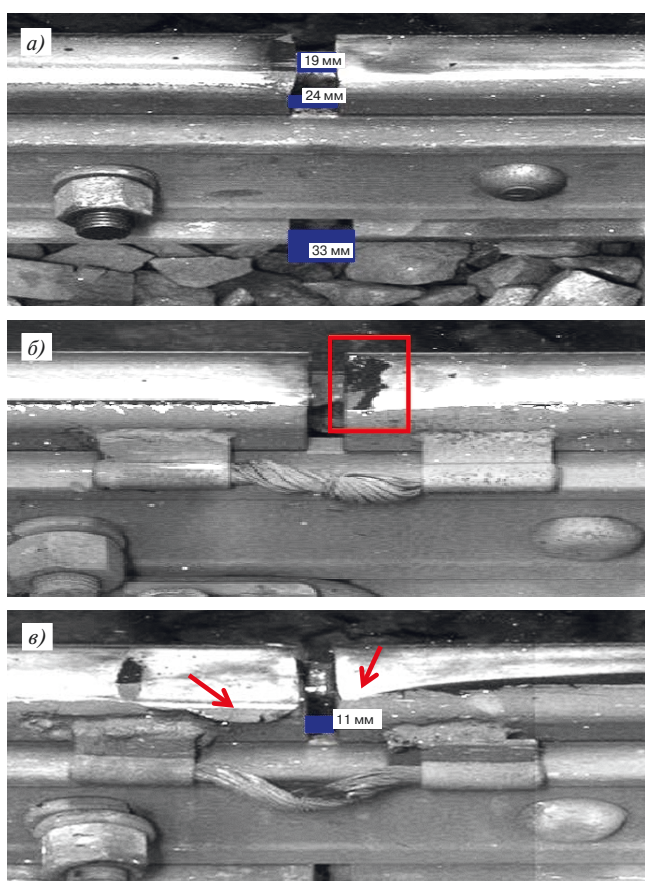


Рис. 6. Стыки с нарушениями: наплыв металла и косой срез торцов рельсов (а), выкрашивание поверхности катания (б), смятия концов рельсов (в)

Fig. 6. Joints with defects: metal influx and oblique cut of the ends of the rails (a), discoloration of the rolling surface (б), crumpling of the ends of the rails (в)

8–9 мм вызваны наличием изолирующих стыков. Некоторый сдвиг величин зазоров в сторону средних и малых значений объясняется проведением измерений при температурах рельсов 0 ... +3 °С.

Результаты сравнительного анализа. Величины стыковых зазоров, измеренные вручную по видеоизображениям (приняты за эталонные значения), сравнили с автоматически определенными зазорами по сигналам магнитного канала (в одну таблицу сведены значения по 544 болтовым стыкам). Преобладающее количество (87 %) измерений стыковых зазоров совпадают в пределах отклонения ± 2 мм. В то же время встречаются стыки, где магнитный канал показал значения, отличающиеся от измерений на кадрах на 3–6 мм. При детальном анализе таких отклонений было замечено, что в этих стыках часто имелись повреждения на концах рельсов (как на рис. 6), что привело к искажениям автоматических измерений.

Изменение скорости вагона-дефектоскопа (в пределах 20–60 км/ч), разная специализация и грузонапряженность на двух рассматриваемых участках пути не оказали влияния на точность измерений зазоров по магнитному каналу.

Как и ожидалось, амплитудный параметр при оценке малых величин зазоров (8 мм и менее) дает несколько большие отклонения: 80 % автоматически определенных значений (рис. 8, а) имеют отклонения в пределах ± 2 мм от величин, определенных по видеоизображениям. Для средних и больших зазоров (9 мм и более) измерения по магнитному методу с пространственным параметром дают лучшие результаты: 91 % стыков в пределах отклонений ± 2 мм (рис. 8, б).

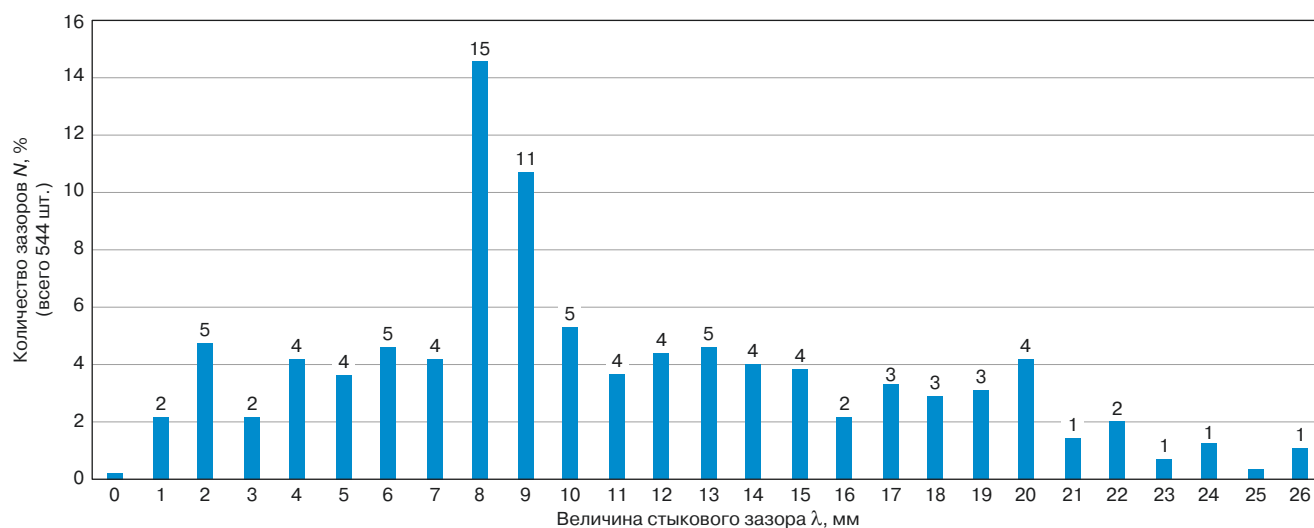


Рис. 7. Распределение величин стыковых зазоров на рассматриваемых участках пути

Fig. 7. Distribution of the values of the joint gaps on the considered sections of the railway track

Несмотря на измерение искомых величин методами, основанными на разных физических принципах (визуальный и магнитный), большинство полученных значений (в среднем почти 90 %) практически идентичны. Эти методы, реализованные на вагонах-дефектоскопах, при измерении стыковых зазоров могут быть как взаимодополняемыми, так и взаимозаменяемыми.

Известно, что визуальный метод, несмотря на интуитивно понятное представление информации, требует специальной аппаратуры, корректной настройки оборудования и периодического технического обслуживания с соблюдением регламента. Кроме того, автоматизация процесса измерений требует программной обработки с применением сложных алгоритмов или искусственного интеллекта на основе нейронных сетей. Несмотря на выполнение этих условий нередко можно получить результаты, существенно отличающиеся от истинных значений искомой величины. Зависимость от погодных условий, ложные срабатывания на контрастных тенях и возможные пропуски на стыках с загрязнениями и изолирующими вставками требуют участия оператора (ручных промеров стыков) при анализе видеоизображений и формировании ведомости болтовых стыков с аномальными (слепыми или сверхнормативными) зазорами.

Магнитный метод в основном лишен этих недостатков, но, как отмечено выше, требует создания достаточно мощного магнитного потока в рельсе. Редко (не более 4,0 %) можно наблюдать ложное срабатывание метода на алюминотермитных сварных стыках в накладках, но из-за значительных величин измеряемых параметров (более предельных значений) эти показания можно программно исключить из протокола. Учет сигналов ультразвуковых каналов также позволяет идентифицировать объекты, вызывающие получение ложных

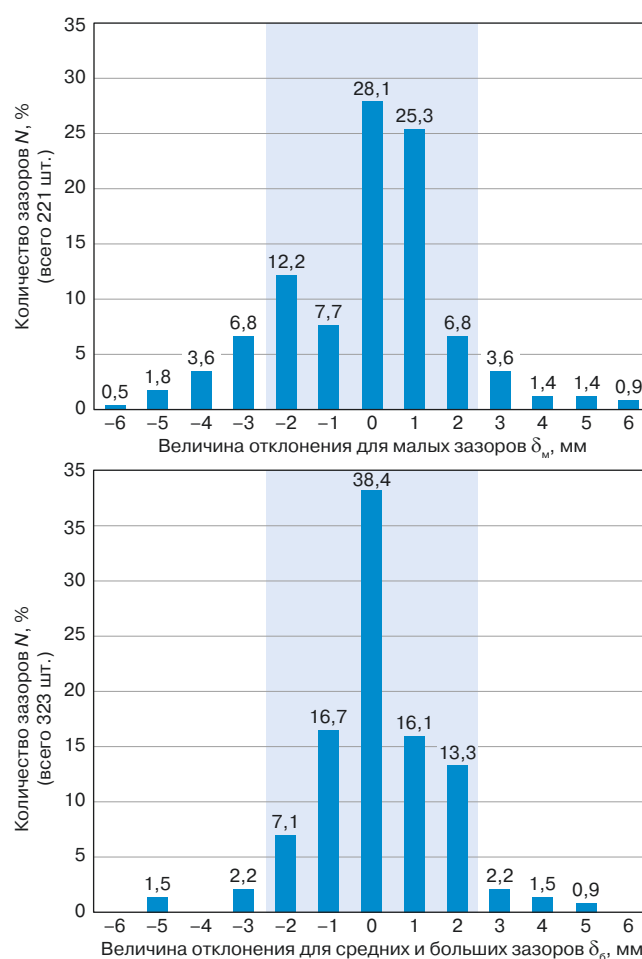


Рис. 8. Отклонения величины стыковых зазоров, определенных по магнитному методу и по видеокадрам для: а — малых (8 мм и менее); б — средних и больших зазоров (9 мм и более)

Fig. 8. Deviations in the size of the joint gaps determined by the magnetic method and by video frames for: a — small (8 mm or less); b — medium and large gaps (9 mm or more)

значений. Поэтому для измерения стыковых зазоров рассмотренным способом⁶ целесообразно использовать уже широко апробированные вагоны-дефектоскопы с активной системой намагничивания и электромагнитами на осях колесных пар [3, 6, 16, 19, 20].

К внедрению способа измерения стыковых зазоров магнитным методом. Процедура оценки величин стыковых зазоров в процессе рабочего проезда вагона-дефектоскопа по сигналам магнитного метода включает следующие этапы:

1. Регистрация дефектограмм с координатной привязкой к контролируемому пути и определением температуры рельсов.

2. Автоматическое выделение сигналов от болтовых стыков.

3. Определение расстояния d_x между экстремумами сигнала от стыкового зазора.

4. Оценка величины зазора λ по выражению (4).

5. Корректировка величины зазора λ по размаху амплитуд сигнала от стыкового зазора r_d и выражению (2) для величины $\lambda = 8,0$ мм и менее, предварительно определенной по п. 4.

6. Формирование базы данных по этапам 4 и 5.

7. Обработка базы с целью выявления критических величин зазоров по действующим нормам содержания пути.

8. Формирование телеграммы по выявленным в п. 7 координатам болтовых стыков для принятия безотлагательных мер по обеспечению безопасности движения поездов.

9. Формирование пакета данных и запись в базу Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) ОАО «РЖД» после завершения рабочего проезда.

Работоспособность процедур по пп. 1 и 2 подтверждена опытом многолетней эксплуатации более 10 вагонов-дефектоскопов с аппаратурой «АВИКОН-03» на сети дорог ОАО «РЖД». Этапы 3–6 выполняются программой в соответствии с вышеописанной методикой. Этапы 7–9 могут быть реализованы в кратчайшие сроки путем создания соответствующих программ. На начальном этапе внедрения способа при выполнении п. 8 возможна дополнительная операция по сопоставлению величин критических зазоров, полученных магнитным методом и ручными измерениями по видеозаписям.

Обсуждение и заключение. Исследования показали, что измерения стыковых зазоров, выполненные с помощью магнитного метода, не зависят от климатических условий, не требуют дополнительного оборудования и могут быть автоматически обработаны

непосредственно в момент проезда (в реальном масштабе времени) вагона-дефектоскопа с формированием протокола и передачей данных в ЕК АСУИ или в Систему комплексной диагностики и мониторинга железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД» (СДМИ).

Высокая повторяемость и относительная простота обработки низкочастотного (не более 10 кГц) сигнала магнитного метода позволяет автоматизировать следующие процедуры:

- оперативное обнаружение стыковых зазоров с критическими значениями;
- определение двух и более подряд стыков с нулевыми зазорами;
- определение сумм зазоров в уравнительных звеньях;
- оценку зазоров вблизи изолирующего стыка;
- мониторинг состояния болтовых стыков при регулярной диагностике.

Показанная возможность оценки магнитным (MFL) методом стыковых зазоров в процессе скоростного сканирования является ценной, но не единственной дополнительной функцией систем диагностики с электромагнитами на осях колесных пар. Кроме основной функции — обнаружение дефектов в головке рельсов на глубине до 20 мм, системы намагничивания с нулевым технологическим зазором между катящимися по рельсу полюсами электромагнита и поверхностью контролируемого рельса позволяют:

- оценивать положение шпал (эпюр) и их нарушения;
- определять координаты и длины рельсов (рубков) в местах временного восстановления плети;
- обнаруживать сварные стыки и появление в них дефектов;
- автоматизировать процесс мониторинга продольно-напряженного состояния рельсовых плетей (при установке ферромагнитных меток в зоне маячных шпал);
- сформировать топограмму с указанием координат болтовых и сварных стыков, стрелочных переводов и других объектов рельсового пути.

По результатам работы следует заключить следующее:

1. Экспериментально доказана возможность оценки величины зазоров болтовых стыков магнитным методом. Программа обработки в качестве информативного параметра использует расстояние между экстремумами и размах амплитуды сигнала от стыкового зазора. Около 90 % измерений стыковых зазоров по

⁶ Патент № 2793171 Российская Федерация, МПК В61К 9/08, В61К 9/10, G01N 27/83. Способ оценки стыковых зазоров рельсов железнодорожного пути: № 2022131896: заявл. 06.12.2022: опубл. 29.03.2023 / Антипов А. Г., Марков А. А., Максимова Е. А. 13 с. URL: <https://www.elibrary.ru/abvcco>.

данным магнитного метода и показаниям видеокон-
троля совпадают в пределах отклонения ± 2 мм.

2. Как показали предварительные исследования, имеется принципиальная возможность размещения оборудования MFL-метода на вагонах регулярных поездов при скоростях движения 120 км/ч и более, что является перспективой для диагностики пути на участках высокоскоростного движения в любых погодных условиях.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Вериги М. Ф. Новые методы в установлении норм устройства и содержания бесстыкового пути. М.: Интекст, 2000. 184 с.
2. Verigo M. F. *New methods in the establishment of standards for the device and maintenance of a seamless track*. Moscow: Intext Publ.; 2000. 184 p. (In Russ.).
3. Карпущенко Н. И., Ардышев И. К. Новые проблемы содержания бесстыкового пути на особогрузонапряженных участках // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1 (64). С. 5–14. https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_64_5.
4. Karpuschenko N. I., Ardyshchev I. K. New problems of continuously welded rail track maintenance in high traffic areas. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2023;(1):5-14. (In Russ.). https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_64_5.
5. Антипов А. Г., Марков А. А., Максимова Е. А. Использование магнитного метода контроля для оценки зазоров в болтовых стыках рельсового пути // Дефектоскопия. 2023. № 6. С. 11–25. https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_64_5.
6. Antipov A. G., Markov A. A., Maksimova E. A. Using a magnetic flux leakage method to estimate railway track bolted joint gaps. *Defektoskopiya*. 2023;(6):11-25. (In Russ.). https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_64_5.
7. Стоянович Г. М., Пулатенко В. В. Температурные деформации в зоне уравнильных пролетов бесстыкового пути // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 6. С. 34–37. EDN: <https://www.elibrary.ru/ncpqqla>.
8. Stoyanovich G. M., Pupatenko V. V. Temperature deformations in the balance rails zone of the continuously welded rails. *Railway Track and Facilities*. 2019;(6):34-37. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/ncpqqla>.
9. Шилов М. Н., Алексеев Д. В., Третьяков А. А. Средства и технологии автоматизированной системы видеоконтроля объектов инфраструктуры // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 9. С. 11–12. EDN: <https://www.elibrary.ru/gmnhxoc>.
10. Shilov M. N., Alekseev D. V., Tretyakov A. A. Tools and technologies of the automated system of video control of infrastructure facilities. *Railway Track and Facilities*. 2021;(9):11-12. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/gmnhxoc>.
11. Xiong L., Jing G., Wang J., Liu X., Zhang Y. Detection of Rail Defects Using NDT Methods. *Sensors*. 2023;23(10):4627. <https://doi.org/10.3390/s23104627>.
12. Yilmazer M., Karakose M., Aydin I. Detection and Measurement of Railway Expansion Gap with Image Processing. In: *Proceedings of 2021 International Conference on Data Analytics for Business and Industry. Conference Paper*, 25–26 October 2021, Sakheer. Sakheer: IEEE; 2021. p. 515–519. <https://doi.org/10.1109/ICDABI53623.2021.9655906>.
13. Gibert X., Patel V. M., Chellappa R. Robust Fastener Detection for Autonomous Visual Railway Track Inspection. In: *Proceedings of 2015 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision. Conference Paper*, 5–9 January 2015, Hawaii. Hawaii: IEEE; 2015. p. 694–701. <https://doi.org/10.1109/WACV.2015.98>.
14. James A., Jie W., Xulei Y., Ye C., Ngan N. B., Yuxin L., et al. TrackNet – A Deep Learning Based Fault Detection for Railway Track Inspection. In: *Proceedings of 2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*, 12–14 December 2018, Singapore. Singapore: IEEE; 2018. p. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICIRT.2018.8641608>.
15. Wang T., Yang F., Tsui K.-L. Real-Time Detection of Railway Track Component via One-Stage Deep Learning Networks. *Sensors*. 2020;20(15):4325. <https://doi.org/10.3390/s20154325>.
16. Автоматический поиск рельсовых стыков с использованием методов обработки / Ю. А. Сухобок [и др.] // Актуальные теоретико-методологические и прикладные проблемы виртуальной реальности и искусственного интеллекта: материалы Междунар. науч. конф., Хабаровск, 27–28 мая 2021 г. Хабаровск: Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения, 2021. С. 56–63. EDN: <https://elibrary.ru/aeakrdh>.
17. Sukhobok Yu. A., Ten E. E., Ponomarchuk Yu. V., Shoberg K. A. Railway gap detection based on image processing and deep learning techniques. In: *Actual theoretical, methodological and applied problems of virtual reality and artificial intelligence*, 27–28 May 2021, Khabarovsk. Khabarovsk: Far Eastern State Transport University; 2021. p. 56–63 (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/aeakrdh>.
18. Гуров Е. А. Расшифровка данных видеоконтроля пути на Забайкальской дороге // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 8. С. 36–37. <https://elibrary.ru/zivybk>.
19. Gurov E. A. Zabayskaya track video monitoring data decoding. *Railway Track and Facilities*. 2021;(8):36-37. (In Russ.). <https://elibrary.ru/zivybk>.
20. Тарабрин В. Ф., Юрченко Е. В., Лохач А. В. ЕК АСУИ СДМИ — цифровая платформа для предиктивного анализа и управления состоянием железнодорожной инфраструктуры // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 6. С. 25–28. <https://elibrary.ru/oifclu>.
21. Tarabrin V. F., Yurchenko E. V., Lokhach A. V. EC ASUI SDMI — digital platform for predictive analysis and management of the state of railway infrastructure. *Railway Track and Facilities*. 2022;(6):25-28. (In Russ.). <https://elibrary.ru/oifclu>.
22. Шур Е. А. Энциклопедия знаний о дефектах рельсов: рецензия на книгу К.-О. Эделя., Г. Будницкого, Т. Шнитцера «Дефекты рельсов. Напряжения и повреждения». Том 1 // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80, № 3. С. 182–185. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-182-185>.
23. Shur E. A. Best practices about rail defects: a review of the book “Defects of rails. Stresses and Damages”, Vol. 1 by K.-O. Edel, G. Budnitskiy, T. Schnitzer. *Russian Railway Science Journal*. 2021;80(3):182-185 (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-182-185>.
24. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А. К. Гурвич [и др.]. М.: Транспорт, 1983. 318 с.
25. Gurvich A. K., Dovnar B. P., Kozlov V. B., Krug G. A., Kuzmina L. I., Matveev A. N. *Non-destructive testing of rails during their operation and repair*. Moscow: Transport Publ.; 1983. 318 p. (In Russ.).
26. Комплексный анализ состояния рельсового пути с помощью нового вагона-дефектоскопа АВИКОН-03 / А. А. Марков [и др.] // В мире неразрушающего контроля. 2013. № 3 (61). С. 74–79. <https://elibrary.ru/rtemhp>.
27. Markov A. A., Politay P. G., Makhovikov S. P., Alekseev D. V., Kuznetsova E. A. The complex analysis of rail track condition with new AVIKON-03M flaw detector car. *NDT World Review*. 2013;(3):74-79. (In Russ.). <https://elibrary.ru/rtemhp>.
28. Antipov A. G., Markov A. A. 3D simulation and experiment on high speed rail MFL inspection. *NDT & E International*. 2018;(98):177-185. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2018.04.011>.
29. Марков А. А., Антипов А. Г., Карелин М. В. Оценка достоверности автоматического распознавания сигналов от конструктивных элементов рельсового пути // Контроль. Диагностика. 2018. № 3. С. 16–27. <https://doi.org/10.14489/td.2018.03.pp.016-027>.

Markov A. A., Antipov A. G., Karelin M. V. Reliability of automated recognition of mfl signals from rail track structure elements. *Kontrol'. Diagnostika*. 2018;(3):16-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.14489/td.2018.03.pp.016-027>.

19. Марков А. А., Антипов А. Г. Магнитная дефектоскопия рельсов. Новые возможности. [Б. м.]: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 112 с.

Markov A. A., Antipov A. G. *Magnet rail flaw detection. New Opportunities*. [S. l.]: LAP Lambert Academic Publishing; 2018. 112 p. (In Russ.).

20. Магнитный метод для оценки состояния бесстыкового пути / А. А. Марков [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 2. С. 4–7. EDN: <https://elibrary.ru/abfsfr>.

Markov A. A., Antipov A. G., Karelin M. V., Maksimova E. A. Magnetic method to assess the condition of a jointless railway track. *Railway Track and Facilities*. 2024;(2):4-7. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/abfsfr>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анатолий Аркадиевич МАРКОВ,

д-р техн. наук, доцент, заместитель генерального конструктора по развитию методов и средств неразрушающего контроля, АО «Радиоавионика» (190005, г. Санкт-Петербург, Троицкий пр., д. 4Б), Author ID: 378197, <https://orcid.org/0000-0002-9090-3232>

Андрей Геннадьевич АНТИПОВ,

канд. физ.-мат наук, старший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория неразрушающего контроля, АО «Радиоавионика» (190005, г. Санкт-Петербург, Троицкий пр., д. 4Б), Author ID: 128330

Екатерина Алексеевна МАКСИМОВА,

начальник лаборатории, научно-исследовательская лаборатория неразрушающего контроля, АО «Радиоавионика» (190005, г. Санкт-Петербург, Троицкий пр., д. 4Б), Author ID: 1038960

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anatoly A. MARKOV,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Deputy General Designer for the Development of Non-Destructive Testing Tools and Methods, Radioavionica JSC (190005, St. Petersburg, 4B, Troitskiy Ave.), Author ID: 378197, <https://orcid.org/0000-0002-9090-3232>

Andrey G. ANTIPOV,

Cand. Sci (Phys. and Math.), Senior Researcher, Non-Destructive Testing Research Laboratory, Radioavionica JSC (190005, St. Petersburg, 4B, Troitskiy Ave.), Author ID: 128330

Ekaterina A. MAKSIMOVA,

Head of the Non-Destructive Testing Research Laboratory, Radioavionica JSC (190005, St. Petersburg, 4B, Troitskiy Ave.), Author ID: 1038960

ВКЛАД АВТОРОВ

Анатолий Аркадиевич МАРКОВ. Постановка задач, обзор и анализ состояния вопроса, выводы (34%).

Андрей Геннадьевич АНТИПОВ. Получение выражений для расчета величин стыковых зазоров, разработка программ выделения сигналов от стыков и оценки зазоров (33%).

Екатерина Алексеевна МАКСИМОВА. Сбор и обработка экспериментального материала, сравнительный анализ (33%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Anatoly A. MARKOV. Setting tasks, reviewing and analysing the status of the issue, conclusions (34%).

Andrey G. ANTIPOV. Obtaining expressions for calculating the values of joint gaps, developing programmes for isolating signals from joints and evaluating gaps (33%).

Ekaterina A. MAKSIMOVA. Compilation and processing of experimental material, comparative analysis (33%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 29.03.2024, рецензия от первого рецензента получена 09.04.2024, рецензия от второго рецензента получена 16.04.2024, рецензия от третьего рецензента получена 06.05.2024, принята к публикации 14.05.2024.

The article was submitted 29.03.2024, first review received 09.04.2024, second review received 16.04.2024, third review received 06.05.2024, accepted for publication 14.05.2024.

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.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Оригинальная статья

УДК 656.224:225

EDN: <https://elibrary.ru/hhjbwr>**Комплексная оценка обращения скоростных пассажирских поездов на существующей железнодорожной инфраструктуре в Сибирском федеральном округе****Е. В. Климова**✉Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС),
Новосибирск, Россия**АННОТАЦИЯ**

Введение. Сокращение времени следования пассажиров на современном этапе развития транспорта — необходимое условие качественной услуги пассажирских перевозок, позволяющее повысить уровень конкурентоспособности железных дорог. Для отдаления значительных инвестиций Российскими железными дорогами выбран путь развития смешанного движения скоростных поездов на существующей инфраструктуре. Рассмотрен действующий двухпутный участок магистрального железнодорожного транспорта, на котором организуется скоростное движение пассажирских поездов. Предметом исследования являются эффекты от введения в обращение скоростных пассажирских поездов на существующей железнодорожной инфраструктуре. Для решения проблемы необходима формализация и адаптация методического инструментария для оценки получаемых эффектов от введения в обращение скоростных пассажирских поездов.

Материалы и методы. Оценка эффектов от введения в обращение скоростных пассажирских поездов проведена с использованием теории управления движением поездов, показателей экономической эффективности и расчета удельного показателя, выражающего отношение рассматриваемого абсолютного экономического критерия к сокращению времени в пути следования. Используются формулы для расчета измерителей работы и стоимостных показателей, адаптированные для решения задачи организации скоростного пассажирского движения на существующей железнодорожной инфраструктуре.

Результаты. Рассмотрено условное железнодорожное направление О — Н, выбранное в качестве объекта апробации разработанного инструментария, получены значения эффектов от введения в обращение скоростных пассажирских поездов для пассажиров, владельца инфраструктуры и перевозчиков.

Обсуждение и заключение. Приведенный инструментарий после некоторой адаптации может быть использован для проведения расчетов для направлений железных дорог с различным техническим оснащением (однопутных и многопутных линий) при условии организации смешанного движения (при следовании пассажирских и грузовых поездов различных категорий, а также скоростных пассажирских поездов). Полученные результаты для направления О — Н позволяют оценить и понять разносторонние эффекты, возникающие при введении в обращение скоростных поездов на существующей двухпутной инфраструктуре железнодорожного транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скоростные пассажирские поезда, время в пути следования, скоростное сообщение, удельный показатель эффективности, измерители работы по перевозке пассажиров, социальный эффект, экономический эффект

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Климова Е. В. Комплексная оценка обращения скоростных пассажирских поездов на существующей железнодорожной инфраструктуре в Сибирском федеральном округе // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 161–174.

✉ kate-kitton@yandex.ru (Е. В. Климова)

© Климова Е. В., 2024



AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 656.224:225

EDN: <https://elibrary.ru/hhjbwr>



Comprehensive assessment of high-speed passenger trains circulation on the existing railway infrastructure in the Siberian Federal District

Ekaterina V. Klimova✉

Siberian Transport University,
Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Reducing passenger journey duration at the current stage of transport development is a prerequisite for high-quality passenger service giving railways higher competitive advantage. In order to avoid significant investments, Russian Railways opted to develop mixed high-speed train traffic on the existing infrastructure. The author considered an existing double-track section of mainline railway transport with high-speed passenger train traffic. The research focuses on the effects of putting high-speed passenger trains into circulation on the existing railway infrastructure. The solution to the problem requires a formalised and adapted methodological toolkit for assessing the resulting effects from the introduction of high-speed passenger trains into circulation.

Materials and methods. The effects of putting high-speed passenger trains into circulation were assessed using the theory of train traffic control, economic efficiency indicators and the calculation of a specific indicator expressing the ratio of the absolute economic criterion under consideration to the reduction in journey time. The researcher used formulas to calculate performance and cost metrics adapted to the challenges of high-speed passenger traffic on the existing railway infrastructure.

Results. The author considered the conditional railway direction O – H chosen as the object of approbation of the developed toolkit and obtained the values of effects from the introduction of high-speed passenger trains for passengers, infrastructure owner and carriers.

Discussion and conclusion. This toolkit, after some adaptation, may be used for calculations for railway lines with different equipment (single-track and multiple-track lines) under mixed traffic conditions (passenger and goods trains of different categories, as well as high-speed passenger trains). The results obtained for the O – H direction allow to assess and understand the multifaceted effects arising from the introduction of high-speed trains into circulation on the existing double-track railway infrastructure.

KEYWORDS: high-speed passenger trains, journey time, high-speed service, specific efficiency indicator, passenger transport performance meters, social effect, economic effect

FOR CITATION: Klimova E. V. Comprehensive assessment of high-speed passenger trains circulation on the existing railway infrastructure in the Siberian Federal District. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):161-174. (In Russ.).

✉ kate-kitton@yandex.ru (E. V. Klimova)

© Klimova E. V., 2024

Введение. В настоящее время в Российской Федерации реализуется Программа организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения¹ (далее — Программа), которая должна обеспечить предоставление качественных услуг населению и бизнесу за счет значительного сокращения времени в пути следования.

В России по сравнению с другими странами мира на первом этапе развития скоростного пассажирского сообщения выбрано направление реализации смешанного движения всех категорий поездов по существующей инфраструктуре железнодорожного транспорта (без строительства дополнительной специализированной инфраструктуры). Применение данного подхода позволит отдалить значительные инвестиции в развитие дополнительных специализированных скоростных и высокоскоростных магистралей, но при этом приведет к затруднениям в организации движения поездов по существующей инфраструктуре, поскольку пропуск скоростных поездов окажет отрицательное влияние на грузовые перевозки, число которых будет сокращаться за счет увеличения коэффициентов сжима.

В качестве объекта исследования принят условный маршрут перевозки между пунктами «О» и «Н» (О—Н), который указан в Программе как один из проектов организации скоростного движения на территории Сибирского федерального округа.

Эффективность курсирования скоростного пассажирского поезда зависит от многих факторов, но решающим является величина пассажиропотока. Авторы исследования [1] предлагают гравитационный подход для построения математической модели потока пассажиров. Показано, что при увеличении средней скорости поездов в два раза пассажиропоток на направлении О—Н может увеличиться до четырех раз.

Основными конкурентами железнодорожным перевозкам при расстоянии до 200 км являются автомобильный транспорт (в том числе личный), а при расстоянии свыше 1000 км — авиатранспорт, использующий различные ресурсы для привлечения пассажиров, в том числе более привлекательную стоимость проезда по сравнению с железной дорогой. В работе [2] указано, что при расстоянии перевозки 200/1000 км оценочная стоимость проезда в скоростном и высокоскоростном поезде составит порядка 700/5300 руб., а в пассажирском поезде существующие тарифы для аналогичных условий принимают значение 1000/2000 руб. При этом основным критерием оценки качества транспортных услуг и выбора способа перевозки для пассажиров будет являться время в пути.

В работе [3] авторы рассматривают различные критерии качества для новых скоростных и высокоскоростных сообщений и их влияние на конкурентоспособность железнодорожного транспорта по сравнению с другими видами транспорта. Группа критериев «технологическое качество» включает несколько натуральных показателей, таких как время в пути, степень интеграции сервиса и др., и является условно постоянной характеристикой данной скоростной или высокоскоростной линии; «сервисное качество» учитывает стоимость билета, время отправления и прибытия поездов, такт движения поездов и др. Указанные критерии должны учитываться при сравнении нескольких вариантов организации скоростного и высокоскоростного движения.

В ряде исследований [4, 5] подтверждается, что оптимальное расстояние перевозки по скоростной и высокоскоростной магистрали (ВСМ), при котором железнодорожный транспорт конкурирует с авиационным, составляет 1000 км. Оценка проводилась с помощью системы ранжированных показателей, удовлетворяющих запросы пассажиров на качество перевозки.

В исследовании [6] приводится перечень затрат, приходящихся на скоростные и высокоскоростные перевозки, влияющие на тарифную политику в данной сфере, однако методика определения экономической целесообразности строительства и эксплуатации ВСМ не раскрыта в необходимой мере.

Российские ученые приводят зависимости для определения потерь в грузовом движении при пропуске скоростных поездов, которые учитывают укрупненную расходную ставку 1 ч простоя грузовых поездов, расчетные межпоездные интервалы для грузовых и скоростных поездов, скорости следования указанных категорий поездов, грузонапряженность участка [7]. При этом представленная методика учитывает равномерное распределение потоков поездов данной категории в течение суток. Строительство и эксплуатация выделенных скоростных и высокоскоростных магистралей, включение их участков в перспективные грузонапряженные коридоры (в том числе международные) позволит привлечь существенный поток транзитного груза [8] и ускорить его продвижение.

Эффективность строительства скоростной и высокоскоростной транспортной инфраструктуры должна оцениваться с помощью научного инструментария, включающего прогнозные результаты долгосрочной динамики скоростей на основе трендов, стоимостной оценки пассажира-часа при экономии времени в пути,

¹ Программа организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. протоколом заседания правления ОАО «РЖД» от 23.11.2015 № 43. М., 2015. 152 с. URL: https://rgups.ru/site/assets/files/172090/programma_organizacii_skorostnogo_i_vysokoskorostnogo_dvizheniia_v.pdf (дата обращения: 18.01.2024).

коэффициентов скорости в привязке к скоростным возможностям инфраструктуры [9].

Привлекает внимание проект высокоскоростного железнодорожного сообщения в странах Совета сотрудничества арабских государств Персидского залива, в которых отсутствуют железные дороги, — Кувейте, Катаре, Саудовской Аравии, Объединенных Арабских Эмиратах и Омане [10]. В данных странах с традиционно низкой стоимостью нефти и нефтепродуктов недостаточно автотранспорта для поддержания тенденций экономического развития региона (для массовой перевозки пассажиров и грузов). Несмотря на значительные инвестиции (по оценкам, порядка 15 млрд долларов США), актуальность данного проекта обосновывается увеличением товарооборота между странами, развитием туристической индустрии и свободы передвижения граждан и резидентов.

Анализ научных работ в данной предметной области показал, что проблема организации движения скоростных поездов и определения экономических и технологических эффектов является актуальной на современном этапе развития железнодорожного транспорта, но потребуются отдельное рассмотрение эффектов, получаемых в ходе реализации такого проекта. Целью данного исследования является формализация и адаптация методического инструментария для оценки получаемых эффектов от введения в обращение скоростных пассажирских поездов на существующей железнодорожной инфраструктуре.

Материалы и методы. Введение в обращение скоростных поездов взамен пассажирских на существующей двухпутной инфраструктуре магистрального железнодорожного транспорта вызовет несколько противоположных эффектов:

1. Для пассажиров — увеличение свободного времени работников предприятий и населения, вследствие чего достигается социальный эффект, выражаемый в стоимостном эквиваленте, — $\Theta_{\text{соц}}$.

2. Для владельца инфраструктуры (ОАО «РЖД»):

- потеря доходов, связанных с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта пассажирской компании, вследствие исключения из обращения пассажирских поездов — $\Pi_{\text{пс}}$;

- получение доходов, связанных с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта компании скоростного сообщения, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов — $\Delta_{\text{ск}}$;

- экономия эксплуатационных расходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными пассажирскими поездами, — $\Theta_{\text{сн.гр}}$;

- потеря доходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными пассажирскими поездами, — $\Pi_{\text{дох}}$.

3. Для перевозчика — пассажирской компании экономия эксплуатационных расходов, связанных с

оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие исключения из обращения пассажирских поездов — $\Theta_{\text{пс}}$.

4. Для перевозчика — компании скоростного сообщения наличие эксплуатационных расходов, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов — $E_{\text{ск}}$.

Особенности скоростного пассажирского движения, учитываемые в рамках исследования:

1) при определении чистых времен хода скоростных поездов предлагается использовать существующие коэффициенты реализации скорости хода пассажирских поездов по магистральной инфраструктуре;

2) в случае недостаточной пропускной способности линии, по которой планируется организация скоростного пассажирского сообщения, часть заявок грузоотправителей может быть не согласована, следовательно подразделение будет экономить эксплуатационные расходы и нести потери дохода из-за невозможности пропуска данных поездов. При наличии параллельного хода и возможности отклонения грузовых поездов на него возникнут дополнительные эксплуатационные расходы, расчет которых надлежит выполнять методом расходных ставок;

3) при организации скоростного движения в условиях дефицита пропускной способности (и других мощностей инфраструктуры) пропуск грузовых поездов надлежит обеспечивать за счет используемых в современных условиях мероприятий по усилению пропускной способности — сокращения межпоездных интервалов вследствие использования современных средств интервального регулирования движения поездов. То есть наряду с введением скоростного пассажирского сообщения потребуется реконструкция существующей инфраструктуры, в том числе средств автоматики и телемеханики, однако в рамках настоящей статьи данные стоимостные показатели не рассматриваются;

4) при определении измерителей работы участка железных дорог, экономии эксплуатационных расходов и потери доходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными, необходимо использовать размеры движения скоростных поездов и коэффициенты съема грузовых поездов пассажирскими и скоростными;

5) увеличение скорости пассажирского сообщения требует повышения уровня предоставляемого сервиса, что нелинейно повлияет на величину затрат, учитывающих организацию пропуска таких поездов, и может не приводить к снижению эксплуатационных расходов на организацию рейса. Из-за сложности и многофакторности зависимостей в настоящей статье не рассматривается вопрос «стоимости сервиса» скоростного поезда;

6) увеличение скорости движения пассажирских поездов окажет прямое влияние на потребление

электроэнергии на тягу поездов, что не учитывается в настоящем исследовании;

7) при этом сопоставление полученных эффектов, как отрицательных, так и положительных, для различных градаций скоростей предлагается оценивать не в абсолютной величине, а в удельной — как отношение соответствующего показателя на сокращение времени в пути следования для пассажиров по формуле

$$y_i = \frac{A_i}{t_{\text{эк},j}}, \quad (1)$$

где y_i — удельная величина i -го показателя, руб./мин; A_i — абсолютная величина i -го показателя, руб.; $t_{\text{эк},j}$ — экономия времени в пути при ускорении проезда пассажиров для j -го варианта скорости скоростного пассажирского поезда, мин.

Увеличение свободного времени работников предприятий и населения, выражаемое в стоимостном эквиваленте (социальный эффект), рассчитывается в соответствии с Методическими рекомендациями² в годовом исчислении по формуле

$$\Theta_{\text{соц}} = 365 k_{\text{эк}} C_{\text{чел.-ч}} \sum A_{\text{пер}} t_{\text{эк}}, \quad (2)$$

где $k_{\text{эк}}$ — коэффициент, учитывающий экономию среднечасовой заработной платы. Согласно Методическим рекомендациям³ надлежит принять равным 0,5; $C_{\text{чел.-ч}}$ — стоимость человеко-часа в соответствии со статистическими данными по контингенту трудоспособного населения, затрагиваемого реализацией проекта, руб./чел.-ч; $\sum A_{\text{пер}}$ — количество перевезенных пассажиров в оба направления, пасс./сут; $t_{\text{эк}}$ — экономия времени в пути при ускорении проезда пассажиров, ч.

Стоимость человеко-часа рассчитывается по формуле

$$C_{\text{чел.-ч}} = \frac{\sum (a_k C_{\text{зп},k})}{\sum a_k \frac{T_{\text{раб},г}}{12}}, \quad (3)$$

где a_k — численность рабочей силы для k -го субъекта Российской Федерации, затрагиваемого проектом организации скоростного движения, определяемая по официальным статистическим данным⁴, чел.; $C_{\text{зп},k}$ —

среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций для k -го субъекта Российской Федерации, затрагиваемого проектом организации скоростного движения⁵, руб./мес.; $T_{\text{раб},г}$ — годовой фонд рабочего времени⁶, ч/год.

Количество перевезенных пассажиров в оба направления:

$$\sum A_{\text{пер}} = 2 N_{\text{ск}} U_{\text{ск}} p_{\text{вм}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{ск}}$ — размеры движения скоростных поездов по рассматриваемому участку, поездов в одном направлении; $U_{\text{ск}}$ — число мест в продажу в соответствии с композицией состава скоростного поезда⁷, пасс./состав; $p_{\text{вм}}$ — коэффициент использования предложенных мест.

Экономия времени в пути при ускорении проезда пассажиров:

$$t_{\text{эк}} = T_{\text{пс}} - T_{\text{ск}} = T_{\text{пс}} - (\sum t_{\text{x}} + \sum t_{\text{ст}} + \sum t_{\text{п-з}}), \quad (5)$$

где $T_{\text{пс}}$ — существующее время в пути пассажирского поезда, ч; $T_{\text{ск}}$ — время в пути для скоростного поезда, ч; $\sum t_{\text{x}}$, $\sum t_{\text{ст}}$, $\sum t_{\text{п-з}}$ — суммарные времена соответственно чистого хода, стоянок на станциях по маршруту следования, разгонов и замедлений для скоростного поезда, ч.

Чистое время хода скоростного поезда по существующей инфраструктуре магистрального железнодорожного транспорта определяется по формуле

$$t_{\text{x}} = \frac{L_{\text{пер}}}{V_{\text{ск}} \alpha_{\text{реал}}}, \quad (6)$$

где $L_{\text{пер}}$ — протяженность перегона, км; $V_{\text{ск}}$ — ходовая скорость скоростного поезда, км/ч; $\alpha_{\text{реал}}$ — коэффициент реализации скорости.

Коэффициент реализации скорости определяется по формуле

$$\alpha_{\text{реал}} = \frac{L_{\text{пер}}}{V_{\text{огр}} t_{\text{x,c}}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{огр}}$ — максимальная скорость движения пассажирских поездов, установленная для существующей инфраструктуры, принимаемая в соответствии с приказом об установлении норм массы и длины для

² Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 № ВК-477. М., 2000. 422 с.

³ Там же.

⁴ Федеральная служба государственной статистики. Статистические данные: Регионы России. Социально-экономические показатели 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения 18.01.2024).

⁵ Там же.

⁶ Производственный календарь на 2022 год (для пятидневной рабочей недели) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru/law/ref/calendar/proizvodstvennyye/2022> (дата обращения: 18.01.2024).

⁷ РЖД пассажиром: Скоростные поезда [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rzd.ru/ru/9318/page/9000?id=1> (дата обращения: 18.01.2024).

пассажирских поездов, км/ч; $t_{х.с}$ — чистое время хода пассажирских поездов по существующей инфраструктуре магистрального железнодорожного транспорта, ч.

Потеря доходов, связанных с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта пассажирской компании, вследствие исключения из обращения пассажирских поездов — для ОАО «РЖД» или *экономия эксплуатационных расходов*, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, — для пассажирской компании определяется по формуле [11, 12]:

$$\Pi_{пс} = \Theta_{пс} = C_{лок.-ч.пс} + C_{бр.-ч.пс} + C_{ваг.-ч.инв} + C_{ваг.-ч.дв}, \quad (8)$$

где $C_{лок.-ч.пс}$ — потеря доходов или экономия эксплуатационных расходов, связанных с временем работы поездных локомотивов в составе пассажирских поездов, руб./сут; $C_{бр.-ч.пс}$ — потеря доходов или экономия эксплуатационных расходов, связанных с временем работы локомотивных бригад пассажирских поездов, руб./сут; $C_{ваг.-ч.инв}$ — потеря доходов или экономия эксплуатационных расходов, связанных с вагоно-часами пассажирских вагонов инвентарного парка пассажирских поездов, руб./сут; $C_{ваг.-ч.дв}$ — потеря доходов или экономия эксплуатационных расходов, связанных с вагоно-часами пассажирских вагонов в движении пассажирских поездов, руб./сут.

Потеря доходов или экономия эксплуатационных расходов в части зависящих затрат устанавливается методом расходных ставок, независимые расходы принимаются на уровне 50 % от зависящих [13].

Измерители работы, связанные с пропуском пассажирских поездов, определяются по формулам [11, 12]:

1) Локомотиво-часы:

$$\sum MT_{лок.-ч.пс} = N_{пс} \theta_{пс}, \quad (9)$$

где $N_{пс}$ — размеры движения пассажирских поездов по рассматриваемому участку, поездов в одном направлении; $\theta_{пс}$ — суммарные затраты времени на оборот состава пассажирского поезда, включающие время нахождения на станции формирования, оборота, в пути в обоих направлениях, ч.

2) Бригадо-часы:

$$\sum MT_{бр.-ч.пс} = N_{пс} \sum t_{пс.бр}, \quad (10)$$

где $\sum t_{пс.бр}$ — суммарные затраты времени работы локомотивных бригад пассажирского поезда, включающие время нахождения на станции приема и сдачи состава, смены бригад, в пути в обоих направлениях, ч.

3) Вагоно-часы пассажирских вагонов инвентарного парка:

$$\sum nt_{ваг.-ч.инв} = N_{пс} \theta_{пс} n_{ваг.пс}, \quad (11)$$

где $n_{ваг.пс}$ — среднее число вагонов в составе пассажирского поезда,

4) Вагоно-часы пассажирских вагонов в движении:

$$\sum nt_{ваг.-ч.дв} = 2N_{пс} T_{пс} n_{ваг.пс}, \quad (12)$$

где $T_{пс}$ — время в пути для пассажирского поезда в одну сторону, ч.

Получение доходов, связанных с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта компании скоростного сообщения, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов — для ОАО «РЖД» или *наличие эксплуатационных расходов*, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, — для компании скоростного сообщения определяется по формуле [11, 12]:

$$D_{ск} = E_{ск} = C_{бр.-ч.ск} + C_{ваг.-км.ск} + C_{ваг.-ч.ск}, \quad (13)$$

где $C_{бр.-ч.ск}$ — доход или эксплуатационные расходы, связанные со временем работы поездной бригады скоростного поезда, руб./сут; $C_{ваг.-км.ск}$ — доход или эксплуатационные расходы, связанные с вагоно-километрами пробега вагонов скоростного поезда, руб./сут; $C_{ваг.-ч.ск}$ — доход или эксплуатационные расходы, связанные с вагоно-часами вагонов скоростного поезда, руб./сут.

Доходы или эксплуатационные расходы в части зависящих затрат устанавливаются методом расходных ставок, независимые расходы принимаются на уровне 50 % от зависящих [13].

Измерители работы, связанные с пропуском скоростных поездов, определяются по формулам [11, 12]:

1) Бригадо-часы:

$$\sum MT_{бр.-ч.ск} = N_{ск} \sum t_{ск.бр}, \quad (14)$$

где $N_{ск}$ — размеры движения скоростных поездов по рассматриваемому участку, поездов в одном направлении; $\sum t_{ск.бр}$ — суммарные затраты времени работы локомотивных бригад скоростного поезда, включающие время нахождения на станции приема и сдачи состава, смены бригад, в пути в обоих направлениях, ч.

Вагоно-километры вагонов скоростных поездов:

$$\sum nl_{ваг.-км.ск} = 2N_{ск} L_{пс} n_{ваг.ск}, \quad (15)$$

где $L_{пс}$ — протяженность рассматриваемого железнодорожного направления, на котором вводятся в обращение скоростные поезда, км; $n_{ваг.ск}$ — число вагонов в составе скоростного поезда.

Вагоно-часы вагонов скоростных поездов:

$$\sum nt_{ваг.-ч.ск} = 2N_{ск} T_{ск} n_{ваг.ск}, \quad (16)$$

где $T_{\text{ск}}$ — время в пути для скоростного поезда в одну сторону, ч.

Экономия эксплуатационных расходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными поездами, определяется по формуле⁸

$$\Theta_{\text{сн.гр}} = \Theta_{\text{ваг.-км}} + \Theta_{\text{лок.-км}} + \Theta_{\text{лок.-ч}} + \Theta_{\text{бр.-ч}} + \Theta_{\text{т-км}} + \Theta_{\text{т/э}} + \Theta_{\text{ман}} + \Theta_{\text{отп}}, \quad (17)$$

где $\Theta_{\text{ваг.-км}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных с пробегом грузовых вагонов по инфраструктуре магистрального железнодорожного транспорта, руб./сут; $\Theta_{\text{лок.-км}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных с пробегом поездных локомотивов во главе грузовых поездов, руб./сут; $\Theta_{\text{лок.-ч}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных со временем работы поездных локомотивов во главе грузовых поездов, руб./сут; $\Theta_{\text{бр.-ч}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных со временем работы локомотивных бригад, руб./сут; $\Theta_{\text{т-км}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных с тонно-километрами брутто работой вагонов и локомотивов, руб./сут; $\Theta_{\text{т/э}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных с расходом топлива или электроэнергии на тягу грузовых поездов, руб./сут; $\Theta_{\text{ман}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных с локомотиво-часами работы маневровых локомотивов, руб./сут; $\Theta_{\text{отп}}$ — экономия эксплуатационных расходов, связанных с количеством грузовых отправок, находящихся на инфраструктуре магистрального железнодорожного транспорта, руб./сут.

Эксплуатационные расходы в части зависящих затрат могут быть установлены методом расходных ставок как произведение расходной ставки e_j на соответствующее значение измерителя [14]. Независящие расходы принимаются на уровне 50 % от зависящих⁹. Величина расходных ставок для соответствующей железной дороги определяется в соответствии с Методикой¹⁰.

Измерители работы, связанные с пропуском грузовых поездов, определяются по адаптированным формулам:

1) Вагоно-километры:

$$\sum nS = 2 \sum [n_b L_n (N_{\text{ск}} k_{\text{ск}} - N_{\text{пс}} k_{\text{пс}})], \quad (18)$$

где n_b — среднее число вагонов в составе грузового поезда; $k_{\text{ск}}$, $k_{\text{пс}}$ — коэффициент съема грузовых поездов соответственно скоростными и пассажирскими поездами. Данная величина устанавливается в соответствии с действующей Методикой¹¹ и Инструкцией¹² для двухпутных участков.

2) Локомотиво-километры линейного пробега поездных локомотивов:

$$\sum MS_{\text{лок.-км}} = \sum [2L_n (N_{\text{ск}} k_{\text{ск}} - N_{\text{пс}} k_{\text{пс}}) (1 + \beta_{\text{лин}})], \quad (19)$$

где $\beta_{\text{лин}}$ — отношение вспомогательного линейного пробега поездных локомотивов к пробегу в голове поездов.

3) Локомотиво-часы поездных локомотивов:

$$\sum MT_{\text{доп}} = 24 \frac{\sum MS_{\text{лок.-км}}}{S_{\text{л}}} k_{\text{л}}, \quad (20)$$

где $k_{\text{л}}$ — коэффициент, учитывающий дополнительное время нахождения поездных локомотивов грузового движения на станциях; $S_{\text{л}}$ — среднесуточный пробег поездных грузовых локомотивов, км/сут.

4) Бригадо-часы поездных бригад:

$$\sum MT_{\text{бр}} = \frac{\sum MS_{\text{лок.-км}}}{V_{\text{уч}}} k_{\text{бр}}, \quad (21)$$

где $V_{\text{уч}}$ — средняя участковая скорость движения грузовых поездов, км/ч; $k_{\text{бр}}$ — коэффициент, учитывающий дополнительное время работы локомотивных бригад грузового движения на технических станциях.

5) Работа на 1000 т·км брутто вагонов и локомотивов:

$$\sum PL_{\text{бр}} = [\sum 2L_n (N_{\text{ск}} k_{\text{ск}} - N_{\text{пс}} k_{\text{пс}}) Q_{\text{бр}} + \sum MS_{\text{лок.-км}} Q_{\text{л}}] / 1000, \quad (22)$$

где $Q_{\text{бр}}$ — масса брутто грузового поезда (без учета массы локомотива), т брутто; $Q_{\text{л}}$ — масса брутто локомотива, т брутто.

6) Расход топлива/электроэнергии на тягу поездов:

$$\sum T = 1000 \sum PL_{\text{бр}} \frac{a_{\text{т/э}}}{10^4}, \quad (23)$$

где $a_{\text{т/э}}$ — норма расхода топлива/электроэнергии на тягу поездов, кг/кВт·ч на 10 000 т·км брутто.

⁸ Терешина Н. П., Галабурда В. Г., Трихунков М. Ф. Экономика железнодорожного транспорта: учеб. для студентов вузов ж.-д. транспорта. М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2011. 674 с.

⁹ Об утверждении расходных ставок, оценочных уровней затрат на отмену, срыв, передержку «окон» и экономической оценки устраниения отказов технических средств: распоряжение ОАО «РЖД» от 05.03.2022 № 550/р. М., 2022. 24 с. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 18.01.2024).

¹⁰ Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования: утв. приказом Минтранса России от 18.06.2018 № 266. М., 2018. 40 с.

¹¹ Там же.

¹² Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД»: утв. расп. ОАО «РЖД» от 04.03.2022 г. М., 2022. 364 с.

7) Локомотиво-часы маневровых локомотивов:

$$\sum MT_{\text{ман}} = \sum nS \frac{a_{\text{ман}}}{10^3}, \quad (24)$$

где $a_{\text{ман}}$ — норма расхода маневровых локомотиво-часов на 1000 ваг.-км.

8) Количество грузовых отправок:

$$\sum O = \sum \left(2(N_{\text{ск}} k_{\text{ск}} - N_{\text{пс}} k_{\text{пс}}) \frac{n_{\text{в}}}{m_{\text{отп}}} \right), \quad (25)$$

где $m_{\text{отп}}$ — среднее число вагонов в одной грузовой отправке.

Потеря доходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными поездами, рассчитывается по формуле

$$П_{\text{дох}} = \sum ql d, \quad (26)$$

где $\sum ql$ — суммарный грузооборот с учетом обоих направлений, т-км нетто; d — среднее значение доходов от перевозки грузов, приходящееся на 10 т-км нетто груженого пробега, руб./10 т-км; в соответствии с Годовым отчетом ОАО «РЖД» за 2021 г.¹³ — 4,86 руб./10 т-км; в текущих ценах составил 5,35 руб./10 т-км.

Суммарный грузооборот определяется по формуле

$$\sum ql = \sum 2(N_{\text{ск}} k_{\text{ск}} - N_{\text{пс}} k_{\text{пс}}) \times L_{\text{н}} n_{\text{в}} q_{\text{н}} (1 - \alpha_{\text{пор}}), \quad (27)$$

где $q_{\text{н}}$ — средняя масса нетто груза в груженом вагоне, т/ваг.; $\alpha_{\text{пор}}$ — отношение пробега порожних вагонов к общему.

В итоге интегральный эффект для ОАО «РЖД» от введения в обращение скоростных поездов:

$$И_{\text{инф}} = Д_{\text{ск}} + Э_{\text{сн.гр}} - П_{\text{пс}} - П_{\text{дох}}. \quad (28)$$

Результаты исследования. Несмотря на наличие однопутного перегона (1,9 км) и двух трехпутных перегонов (33,3 км), вследствие их незначительной протяженности (5,6%) направление О — Н принято условно двухпутным.

Протяженность маршрута составляет 626 км, минимальное время в пути для существующих пассажирских поездов — 7,3 ч. На основании исходных данных получены фактические значения коэффициента реализованной скорости движения пассажирских поездов, представленные на рис. 1.

При следовании по маршруту коэффициент реализации скорости движения пассажирского поезда не превышает 0,75 на протяжении 16,6 км от Н и 32,7 км от О, что соответствует 2,7 и 5,2% протяженности маршрута (суммарно 7,9%).

На основании произведенных расчетов для градации установленных скоростей движения скоростных поездов от 160 до 200 км/ч с шагом 5 км/ч получены значения времени в пути, а также экономии времени в пути, представленные на рис. 2. По маршруту следования заложена одна стоянка на станции Б продолжительностью 3 мин.

Между установленной скоростью движения и временем в пути определена обратная линейная зависимость, между установленной скоростью и экономией времени в пути — прямая линейная зависимость, коэффициент достоверности аппроксимации составил 0,9878, что показывает соответствие трендовой модели исходным данным.

В случае введения в обращение скоростных поездов минимальное время в пути составит более 4 ч при скорости движения 200 км/ч, экономия времени в пути равна 3,3 ч.

Несмотря на высокую скорость движения скоростных поездов, фактическая (средняя) маршрутная скорость будет ниже заданной (см. рис. 3). Среднее значение коэффициента реализации скорости по всему интервалу исследования составляет 0,778.

Для расчета социального эффекта приняты следующие данные: подвижной состав скоростного поезда Сапсан в 5- и 10-вагонном исполнении с числом мест в продажу 260/520; среднемесячная заработная плата за 2022 г. по Н области составляет 53 757 руб., по О области — 56 952 руб.; численность рабочей силы за 2022 г. по Н области составляет 1 386 тыс. чел., по О области — 948 тыс. чел.; коэффициент использования предложенных мест равен 0,8; фонд годового рабочего времени в 2022 г. при 36-часовой рабочей неделе — 1775 ч/год.

Для качественного обслуживания пассажиров предлагается ввести в обращение 2 поезда в сутки с учетом утреннего и вечернего времени отправления, что позволит в том числе организовывать командировки на один день. В этом случае указанные размеры движения позволят перевести от 832 до 1664 чел./сут, или 303,7 и 607,4 тыс. чел/год (для 5- и 10-вагонного поезда).

Средневзвешенная заработная плата составит 50,93 тыс. руб./мес., стоимость человеко-часа оценивается в 344,3 руб., социальный эффект изменяется от 154,1/308,2 млн руб./год для скорости движения 160 км/ч до 215,1/430,2 млн руб./год для скорости движения 200 км/ч (см. рис. 4). Удельный социальный эффект вне зависимости от варианта скорости движения составит 1,09/2,18 млн руб. в год на одну минуту экономии времени в пути (в числителе — для 5-вагонного, в знаменателе — для 10-вагонного состава).

¹³ Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2021 год [Электронный ресурс]. URL: <https://company.rzd.ru/api/media/resources/1843232?action=download> (дата обращения: 10.01.2024).

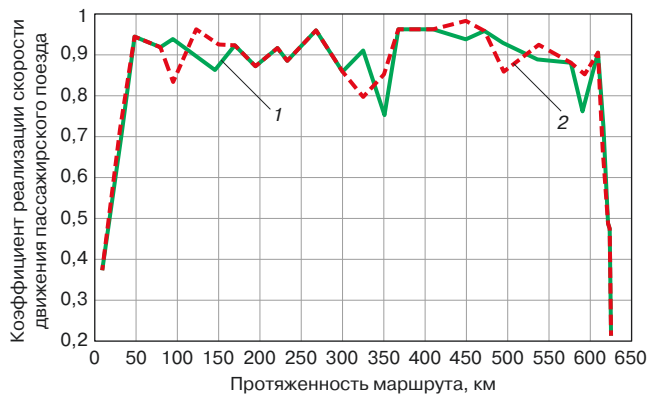


Рис. 1. Изменение коэффициента реализации скорости движения пассажирского поезда по маршруту О—Н:
1 — четное направление; 2 — нечетное направление

Fig. 1. Change in the implementation ratio of passenger train speed along the O—H route:
1 — even-numbered direction; 2 — odd-numbered direction

В целом ускорение проезда одного пассажира на одну минуту позволит получить социальный эффект в размере 2,87 руб.

Для дальнейшего расчета потерь эксплуатационных расходов, связанных с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта пассажирской компании, вследствие исключения из обращения пассажирских поездов — для ОАО «РЖД» или экономии эксплуатационных расходов, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, — для пассажирской компании приняты следующие данные: для пассажирского поезда время оборота состава равно 48 ч, при ежедневном отправлении два раза в сутки в обороте находятся 4 состава, норма времени нахождения бригад на станциях приема и сдачи по 0,5 ч, прием и сдача производится только на начальной и конечной станциях маршрута, число вагонов согласно композиции состава — 13.

Расчет доходов, связанных с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта компании скоростного сообщения, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов — для ОАО «РЖД» или эксплуатационных расходов, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, — для компании скоростного сообщения производится исходя из времени оборота состава скоростного поезда, равного 24 ч, при ежедневном отправлении два раза в сутки в обороте находятся 2 состава.

Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2 соответственно для пассажирских и скоростных поездов.

Согласно проведенным расчетам в случае введения в обращение скоростных поездов взамен пассажирских ОАО «РЖД» несет потери эксплуатационных расходов на локомотиво-часах, бригадо-часах, вагоно-часах инвентарного парка, вагоно-часах в движении в размере

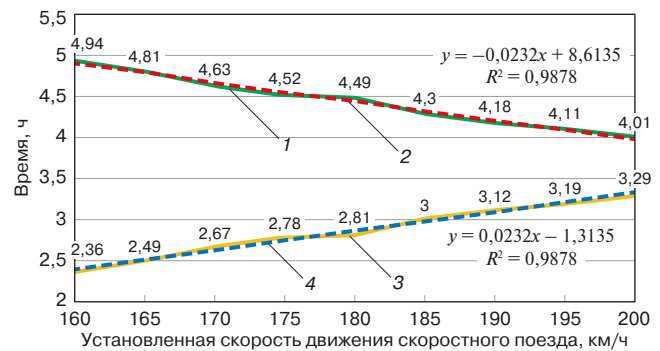


Рис. 2. Изменение параметров проезда:
1 — время в пути; 2 — линейная (время в пути);
3 — экономия времени в пути; 4 — линейная (экономия времени в пути)

Fig. 2. Change in the travelling parameters:
1 — journey duration; 2 — linear (journey duration);
3 — time saved in journey; 4 — linear (time saved in journey)

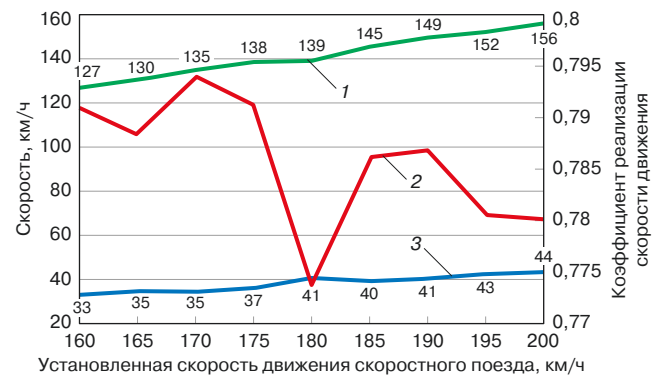


Рис. 3. Изменение фактической скорости и коэффициента реализации скорости:
1 — фактическая маршрутная скорость; 2 — коэффициент реализации скорости движения; 3 — разность установленной и фактической маршрутной скорости

Fig. 3. Change in actual speed and speed implementation ratio:
1 — actual route speed; 2 — speed implementation ratio; 3 — difference between set and actual route speeds

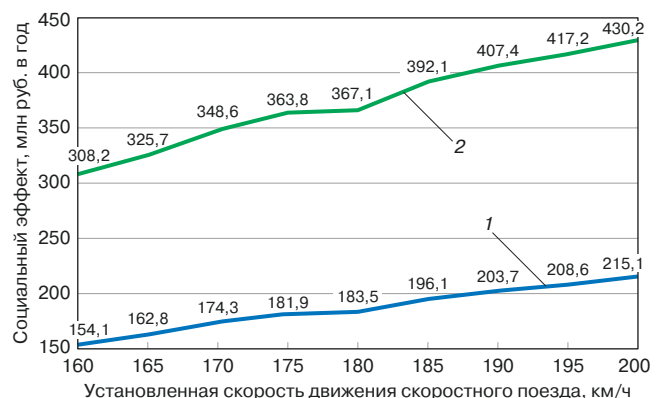


Рис. 4. Изменение социального эффекта:
1 — 5-вагонный состав; 2 — 10-вагонный состав

Fig. 4. Change in social effect:
1 — 5-car train; 2 — 10-car train

Таблица 1

Стоимостные показатели, связанные с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие исключения из обращения пассажирских поездов

Table 1

Costs associated with the provision of railway transport infrastructure due to the removal of passenger trains from circulation

Наименование измерителя	Измеритель работы	Расходная ставка на измеритель, руб.	Потеря/экономия, тыс. руб.
Локомотиво-часы	96	4015,3	385,5
Бригадо-часы	31,2	2312	72,1
Вагоно-часы пассажирских вагонов инвентарного парка	1248	97,33	121,5
Вагоно-часы пассажирских вагонов в движении	379,6	342,14	129,9
Итого зависящие расходы			709,0
Итого зависящие и независящие расходы (709·1,5)			1063,4
Потеря/экономия на один пассажирский поезд (1063,4/2)			531,7

Таблица 2

Стоимостные показатели, связанные с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов

Table 2

Costs associated with the provision of railway transport infrastructure due to the introduction of high-speed passenger trains into circulation

Наименование измерителя	Расходная ставка на измеритель, руб.	Доходы/эксплуатационные расходы для установленной скорости движения скоростных поездов, тыс. руб.								
		160 км/ч	165 км/ч	170 км/ч	175 км/ч	180 км/ч	185 км/ч	190 км/ч	195 км/ч	200 км/ч
Бригадо-часы	6247,21	186,0	182,6	178,3	175,3	174,7	169,9	167,0	165,1	162,6
Вагоно-километры вагонов скоростных поездов	67,83	848,4	848,4	848,4	848,4	848,4	848,4	848,4	848,4	848,4
Вагоно-часы вагонов скоростных поездов	1091,1	107,8	104,9	101,1	98,6	98,0	93,8	91,3	89,7	87,5
Итого зависящие расходы		1142	1136	1128	1122	1121	1112	1107	1103	1099
Итого зависящие и независящие расходы		1713	1704	1692	1683	1682	1668	1660	1655	1648
Доходы/эксплуатационные расходы на один пассажирский поезд		856,7	852,0	845,8	841,7	840,9	834,1	830,0	827,4	823,9
Удельные доходы/эксплуатационные расходы, тыс. руб./мин		12,2	11,4	10,6	10,1	10,0	9,3	8,9	8,7	8,4

531,7 тыс. руб./поезд. При этом пассажирская компания на такую же величину будет иметь экономию эксплуатационных расходов, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие исключения из обращения пассажирских поездов.

Кроме того, ОАО «РЖД» получит доходы, связанные с предоставлением инфраструктуры железнодорожного транспорта компании скоростного сообщения, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов от 856,7 тыс. руб./поезд при скорости 160 км/ч до 823,9 тыс. руб./поезд при скорости

200 км/ч. При этом компания скоростного сообщения на такую же величину будет иметь эксплуатационные расходы, связанные с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта. Удельные доходы/эксплуатационные расходы будут уменьшаться при росте скорости движения скоростного поезда от 12,2 до 8,4 тыс. руб./мин соответственно для аналогичной градации скорости.

Для расчета коэффициента съема грузовых поездов пассажирскими и скоростными поездами направление О—Н принято как два расчетных участка, разделенных станцией Б, на которой с грузовыми поездами

Таблица 3

Экономия эксплуатационных расходов, связанных со снятием грузовых поездов за счет введения скоростных поездов

Table 3

Operating cost savings associated with the removal of goods trains due to the introduction of high-speed trains

Показатель	Установленная скорость движения скоростных поездов, км/ч								
	120	160	165	170	175	180	185	190	195
Изменение коэффициента съема для первого расчетного участка	0,582	0,644	0,747	0,809	0,809	0,872	0,951	0,99	1,045
Изменение коэффициента съема для второго расчетного участка	0,520	0,581	0,642	0,688	0,71	0,826	0,855	0,885	0,924
Тысяча вагоно-километров	98	109	123,7	133,4	135,3	150,9	160,7	166,9	175,3
Экономия по вагоно-километрам, тыс. руб.	24,5	27,3	30,9	33,3	33,8	37,7	40,2	41,7	43,8
Локомотиво-километры	1518,5	1689	1916	2066	2096	2338	2490	2586	2716
Экономия по локомотиво-километрам, тыс. руб.	79,9	88,9	100,8	108,7	110,3	123	131	136,1	142,9
Локомотиво-часы	64,2	71,4	81	87,3	88,6	98,8	105,2	109,3	114,8
Экономия по локомотиво-часам, тыс. руб.	29,4	32,7	37,1	40	40,6	45,3	48,2	50,1	52,6
Бригадо-часы	31,5	35,1	39,8	42,9	43,5	48,6	51,7	53,7	56,4
Экономия по бригадо-часам, тыс. руб.	43,7	48,6	55,2	59,5	60,3	67,3	71,6	74,4	78,1
Тысяча тонно-километры брутто	6309	7018	7962	8584	8706	9714	10343	10743	11282
Экономия по тонно-километрам брутто, тыс. руб.	118,3	131,6	149,3	160,9	163,2	182,1	193,9	201,4	211,5
Электроэнергия, тыс. кВт·ч	53 625	59 655	67 678	72 963	74 002	82 570	87 919	91 315	95 896
Экономия по электроэнергии, тыс. руб.	180,2	200,4	227,4	245,2	248,6	277,4	295,4	306,8	322,2
Локомотиво-часы маневровых локомотивов	0,027	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
Экономия по локомотиво-часам маневровых локомотивов, тыс. руб.	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,1	0,1	0,11
Грузовые отправки	31,9	35,5	40,3	43,4	44	49,2	52,3	54,4	57,1
Экономия по грузовым отправлениям, тыс. руб.	8,2	9,1	10,3	11,1	11,3	12,6	13,4	13,9	14,6
Итого экономия, тыс. руб.	726,4	808	916,7	988,3	1002,3	1118,4	1190,9	1236,9	1298,9
Экономия на один скоростной поезд, тыс. руб.	181,6	202	229,2	247,1	250,6	279,6	297,7	309,2	324,7
Удельная экономия, тыс. руб./мин	1,28	1,43	1,62	1,75	1,77	1,98	2,10	2,19	2,29

выполняются технологические операции. Расчет ведется в каждом из направлений движения.

Получены следующие значения коэффициентов съема грузовых поездов (в числителе — для нечетного, в знаменателе — для четного направления):

а) пассажирскими поездами 2,651/2,933 для расчетного участка О — Б и 2,793/2,617 — для Б — Н;

б) скоростными поездами для первого расчетного участка они возрастают с 3,212/3,536 для скорости 160 км/ч до 3,666/4,008 для скорости 200 км/ч; для второго расчетного участка с 3,363/3,086 для скорости 160 км/ч до 3,8/3,459 для скорости 200 км/ч.

На основании вышеприведенных результатов произведены расчеты экономии эксплуатационных расходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными поездами (см. табл. 3).

Экономия эксплуатационных расходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными поездами, изменяется от 181,6 до 324,7 тыс. руб. на один скоростной поезд соответственно для скорости движения 165 и 200 км/ч. Удельная экономия также изменяется в зависимости от скорости движения и составит 1,28 и 2,9 тыс. руб. на одну минуту экономии времени в пути для аналогичной градации скорости.

Несмотря на значительную экономию эксплуатационных расходов, ОАО «РЖД» будет нести потерю доходов, связанных со снятием грузовых поездов скоростными поездами (результаты расчета представлены в табл. 4).

Так, при скорости 160 км/ч потеря доходов на один скоростной поезд составит 526,6 тыс. руб., а для

Таблица 4

Потеря доходов, связанная со снятием грузовых поездов скоростными поездами

Table 4

Revenue loss associated with the removal of goods trains by high-speed trains

Показатель	Установленная скорость движения скоростных поездов, км/ч								
	160	165	170	175	180	185	190	195	200
Грузооборот, млн т·км нетто	4,33	4,82	5,47	5,90	5,98	6,67	7,11	7,38	7,75
Потеря дохода, млн руб.	2,11	2,34	2,66	2,87	2,91	3,24	3,45	3,59	3,77
Потеря дохода на один скоростной поезд, тыс. руб.	526,6	585,8	664,6	716,5	726,7	810,8	863,4	896,7	941,7
Удельная потеря дохода, тыс. руб./мин	3,72	4,14	4,7	5,06	5,14	5,73	6,1	6,34	6,66

Таблица 5

Интегральный эффект для ОАО «РЖД» от введения в обращение скоростных поездов

Table 5

Russian Railways integral effect from the introduction of high-speed trains into circulation

Показатель	Установленная скорость движения скоростных поездов, км/ч								
	160	165	170	175	180	185	190	195	200
Интегральный эффект, млн руб.	−0,76	−0,92	−1,14	−1,29	−1,31	−1,55	−1,69	−1,79	−1,91
Интегральный эффект на один скоростной поезд, тыс. руб.	−189,5	−230,6	−285,3	−321,4	−328,5	−387,0	−423,4	−446,6	−477,8
Удельный интегральный эффект, тыс. руб./мин	−1,34	−1,63	−2,02	−2,27	−2,32	−2,73	−2,99	−3,16	−3,38

скорости 200 км/ч — 941,7 тыс. руб.; удельная потеря соответственно равна 3,72 и 6,66 тыс. руб./мин.

Расчет интегрального эффекта для ОАО «РЖД» от введения в обращение скоростных поездов представлен в табл. 5.

Таким образом, введение в обращение одного скоростного поезда несет за собой интегральный эффект для ОАО «РЖД» в виде потерь 189,5 и 477,8 тыс. руб./поезд в одном направлении для скорости 160 и 200 км/ч соответственно. Аналогично отрицательным будет и удельный интегральный эффект минус 1,34 и минус 3,38 тыс. руб./мин. При этом пассажирская компания, помимо сокращения доходов за счет снижения числа обращающихся пассажирских поездов, получит эффект в виде экономии эксплуатационных расходов, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, в размере 545,6 тыс. руб./поезд в одном направлении.

В то же время компания скоростного сообщения получит эффект в виде увеличения доходов за счет более высокой стоимости проезда и привлечения новых пассажиров в скоростные поезда, наличия

эксплуатационных расходов, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов в размере 856,7/823,9 тыс. руб./поезд в одном направлении для скорости движения 160/200 км/ч, что соответствует удельным эксплуатационным расходам в 12,2 и 8,4 тыс. руб./мин.

Дополнительно будет получен социальный эффект, выражаемый в стоимостном эквиваленте, в размере 154,1 и 215,1 млн руб./год для скорости движения 160 и 200 км/ч, что соответствует удельному социальному эффекту 1,09 млн руб. в год на одну минуту экономии времени в пути для 5-вагонного состава вне зависимости от варианта скорости движения.

Обсуждение и заключение. Для поддержания высокого уровня конкурентоспособности железнодорожного транспорта при перевозке пассажиров одним из инструментов может являться введение в обращение скоростных пассажирских поездов на существующей инфраструктуре. Сокращение времени в пути вызовет несколько противоположных эффектов для четырех

сторон — участников перевозки: пассажир получает социальный эффект в виде высвобождения свободного времени; владелец инфраструктуры несет потери, связанные с ускорением движения скоростных поездов по сравнению с пассажирскими поездами и сокращением ниток графика для организации грузовых перевозок; пассажирская компания получает экономию эксплуатационных расходов, связанных с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие исключения из обращения пассажирских поездов; компания скоростного сообщения несет эксплуатационные расходы, связанные с оплатой предоставления инфраструктуры железнодорожного транспорта, вследствие введения в обращение скоростных пассажирских поездов. Достижение положительного интегрального эффекта возможно при эксплуатации отдельной железнодорожной инфраструктуры для скоростных и высокоскоростных поездов и значительном пассажиропотоке на линии, например на маршруте перевозки Москва — Санкт-Петербург.

Приведенный инструментарий после некоторой адаптации может быть использован для проведения расчетов на любых других направлениях железных дорог (однопутных и многопутных) при условии смешанного движения.

Полученные результаты позволяют оценить и понять разносторонние эффекты, возникающие при введении в обращение скоростных поездов на существующей двухпутной инфраструктуре железнодорожного транспорта.

В рассмотренном примере достигнуты следующие показатели:

- для владельца инфраструктуры (ОАО «РЖД») интегральный эффект принимает отрицательное значение 189,5/477,8 тыс. руб./поезд в одном направлении для скорости 160/200 км/ч, что соответствует удельному интегральному эффекту минус 1,34 и минус 3,38 тыс. руб./мин;
- для перевозчика (пассажирской компании) экономия эксплуатационных расходов из-за снижения числа обращающихся пассажирских поездов составит 545,6 тыс. руб./поезд в одном направлении;
- для перевозчика (компании скоростного сообщения) эксплуатационные расходы, связанные с введением в обращение скоростных пассажирских поездов, составят 856,7/823,9 тыс. руб./поезд в одном направлении для скорости движения 160/200 км/ч, что соответствует удельным эксплуатационным расходам в 12,2 и 8,4 тыс. руб./мин;
- для пассажиров социальный эффект, выражаемый в стоимостном эквиваленте, положителен, изменяется от 154,1/308,2 млн руб./год для скорости движения 160 до 215,1/430,2 млн руб./год для скорости движения 200 км/ч (в числителе — для 5-вагонного,

в знаменателе — для 10-вагонного состава). Удельный социальный эффект вне зависимости от варианта скорости движения составит 1,09/2,18 млн руб. в год на одну минуту экономии времени в пути. В целом ускорение поезда на одну минуту позволит получить социальный эффект в расчете на одного пассажира в размере 2,87 руб.

Благодарности: автор выражает благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgments: the author expresses his gratitude to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the author received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Бердышева Ю.А., Корягин М.Е. Оценка пассажиропотока на скоростной магистрали Омск — Новосибирск в условиях транспортной конкуренции // Управленческий учет. 2023. № 11-2. С. 681–688. <https://doi.org/10.25806/uul1-22023-681-688>.
- Berdysheva Yu. A., Koryagin M. E. An evaluation of passenger flow on the expressway in a competitive environment. *Management accounting*. 2023;(11-2):681-688. (In Russ.). <https://doi.org/10.25806/uul1-22023-681-688>.
2. Вакуленко С.П., Нартов В.И. Интеграционное развитие инфраструктуры скоростных и высокоскоростных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте Российской Федерации // Вестник транспорта Поволжья. 2023. № 2(98). С. 50–54. EDN: <https://elibrary.ru/iohqpb>.
- Vakulenko S. P., Nartov V. I. Integration development of the infrastructure of rapid and high-speed passenger transportation by railway transport in the Russian Federation. *Vestnik transporta Povolzh'ya*. 2023;(2):50-54. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/iohqpb>.
3. Вакуленко С.П., Калинин К.А., Роменская М.В. О разработке качественных параметров формируемого высокоскоростного железнодорожного сообщения // Вопросы устойчивого развития общества. 2021. № 8. С. 265–276. EDN: <https://elibrary.ru/pqzxcn>.
- Vakulenko S. P., Kalinin K. A., Romenskaya M. V. On the development of qualitative parameters of the emerging high-speed railway service. *VURO*. 2021;(8):265-276. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/pqzxcn>.
4. Оценка конкурентоспособности высокоскоростного железнодорожного и авиационного транспорта на расстояние перевозки до 1000 км / А.С. Кожевникова [и др.] // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ–2022): сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 15–16 марта 2022 г. СПб.: ПГУПС, 2022. С. 253–257. EDN: <https://elibrary.ru/odqztp>.
- Kozhevnikova A. S., Sadkina V. A., Nikiforova G. I., Sergeeva T. G. Assessment of the competitiveness of high-speed rail and air transport and at a distance of transportation up to 1000 km. In: *Management of operational work in transport (UERT–2022): Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 15–16 March 2022, St. Petersburg*. St. Petersburg: PGUPS; 2022. p. 253–257. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/odqztp>.

5. Особенности выбора вида транспорта в современных условиях / А. С. Кожевникова [и др.] // *Техник транспорта: образование и практика*. 2022. Т. 3, № 3. С. 290–295. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.3.290-295>.

Kozhevnikova A. S., Sadkina V. A., Nikiforova G. I., Sergeeva T. G. Features of the choice of mode of transport in modern conditions. *Transport Technician: Education and Practice*. 2022;3(3):290-295. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.3.290-295>.

6. Разработка методики по определению эффективности движения скоростных поездов / Б. А. Абдуллаев [и др.] // *Наука, общество, образование в современных условиях*. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2022. С. 119–129. EDN: <https://elibrary.ru/lhulbd>.

Abdullaev B. A., Mansurov U. N., Rakhimov R. V., Jabbarov Sh. B. Development of a Methodology for Determining the Efficiency of High-Speed Train Operations. In: *Science, Society, Education in Modern Conditions*. Penza: Nauka i Prosveshcheniye Publ.; 2022. p. 119–129. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/lhulbd>.

7. Замуховский А. В., Коваленко Н. И. Издержки комбинированного движения грузовых и графиковых скоростных пассажирских поездов // *Наука и технологии железных дорог*. 2020. Т. 4, № 3 (15). С. 72–77. EDN: <https://elibrary.ru/gvvvcg>.

Zamukhovskiy A. V., Kovalenko N. I. Losses in the organization of combined movement of freight and regular speed passenger trains. *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog*. 2020;4(3):72-77. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/gvvvcg>.

8. Карасев С. В. Проблемы и перспективы развития высокоскоростного и скоростного движения в регионах России с низкой плотностью населения // *Политранспортные системы: материалы X Междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 15–16 ноября 2018 г.* Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2019. С. 308–310. EDN: <https://elibrary.ru/susumo>.

Karasev S. V. Challenges and prospects for the development of fast and high-speed traffic in Russia's regions with low population density. In: *Proceedings of X International Scientific and Technical Conference "Polytransport systems" (PTS–2018), 15–16 November 2018, Novosibirsk*. Novosibirsk: STU; 2019. p. 308–310. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/susumo>.

9. Мачерет Д. А., Разуваев А. Д. Оценка эффективности строительства скоростной и высокоскоростной транспортной инфраструктуры // *Актуальные вопросы экономики транспорта высоких скоростей: сб. науч. ст. нац. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 16 июня 2020 г.* / под ред. Н. А. Журавлевой. СПб.: Институт независимых социально-экономических исследований – оценка, 2020. Т. 2. С. 85–91. EDN: <https://elibrary.ru/jahppj>.

Macheret D. A., Razuvaev A. D. Assessment of the effectiveness of the construction of high-speed and high-speed transport infrastructure. In: Zhuravleva N. A. (ed.) *Current Economic Issues of High-Speed transport: collection of scientific articles of the national scientific and practical conference, 16 June 2020, St. Petersburg*. St. Petersburg: Institute for Independent Socio-Economic Research, estimation; 2020. p. 85–91. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/jahppj>.

10. Аль-Шумари А. С. Когнитивный анализ перспективного развития железнодорожного транспорта в арабских странах персидского залива // *Технологии построения когнитивных транспортных систем: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Санкт-Петербург, 14 мая 2021 г.* СПб.: ПГУПС, 2021. С. 64–70. EDN: <https://elibrary.ru/znpepm>.

Al-Shumari A. S. Cognitive analysis of the prospective development of railway transport in the Arab countries of the Persian Gulf. In: *Technologies for building cognitive transport systems: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, 14 May 2021, St. Petersburg*. St. Petersburg: PGUPS; 2021. p. 64–70. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/znpepm>.

11. Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е. Новые методические подходы при определении экономической эффективности

пассажирского поезда дальнего следования в условиях функционирования ОАО «ФПК» // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2013. № 5. С. 3–7. EDN: <https://elibrary.ru/tomycd>.

Miroshnichenko O. F., Oginskaya A. E. New methodological approaches to determining economic efficiency of a long-haul passenger train in the context of JSC FPK operations. *Russian Railway Science Journal*. 2013;(5):3-7. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tomycd>.

12. Мирошниченко О. Ф., Морозова М. В., Фадейкина Н. В. Оценка себестоимости пассажирских перевозок дальнего следования в Федеральной пассажирской компании // *Железнодорожный транспорт*. 2011. № 10. С. 63–66. EDN: <https://elibrary.ru/ojtiyz>.

Miroshnichenko O. F., Morozova M. V., Fadeykina N. V. Estimation of the cost price of long distance passenger transportation in the Federal Passenger Company. *Zhelezнодороzhnyy transport*. 2011;(10):63-66 (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ojtiyz>.

13. Экономическая оценка эксплуатационных расходов при различных вариантах организации поездной работы / А. П. Дементьев [и др.]. Новосибирск: Сибирский государственный университет водного транспорта, 2021. 129 с. EDN: <https://elibrary.ru/rrtasm>.

Dementiev A. P., Lunina T. A., Spitsyna I. N., Belyaeva T. V., Severova M. O., Ivanov O. S., et al. *Economic assessment of operating costs under different variants of train operation organisation*. Novosibirsk: STU; 2021; 129 p. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/rrtasm>.

14. Ефимова Е. Н., Морозова М. В., Попов Д. С. Особенности определения экономических оценок изменения эксплуатационной работы ОАО «РЖД» и его филиалов // *Экономика железных дорог*. 2013. № 6. С. 26–32. EDN: <https://www.elibrary.ru/raeaaan>.

Efimova E. N., Morozova M. V., Popov D. S. Specifics of determining economic assessments of changes in the operational performance of the Russian Railways and its branches. *The Railway Economics*. 2013;(6):26-32. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/raeaaan>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Екатерина Викторовна КЛИМОВА,

канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры Управление эксплуатационной работой, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Совершенствование перевозочного процесса», Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС, 630049, г. Новосибирск ул. Дуси Ковальчук, д. 191), Author ID: 727665, <https://orcid.org/0000-0003-2336-1549>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ekaterina V. KLIMOVA,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Operational Management Department, Head of the Transport Improvement Research Laboratory, Siberian Transport University (630049, Novosibirsk, 191, Dusi Kovalchuk St.), Author ID: 727665, <https://orcid.org/0000-0003-2336-1549>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

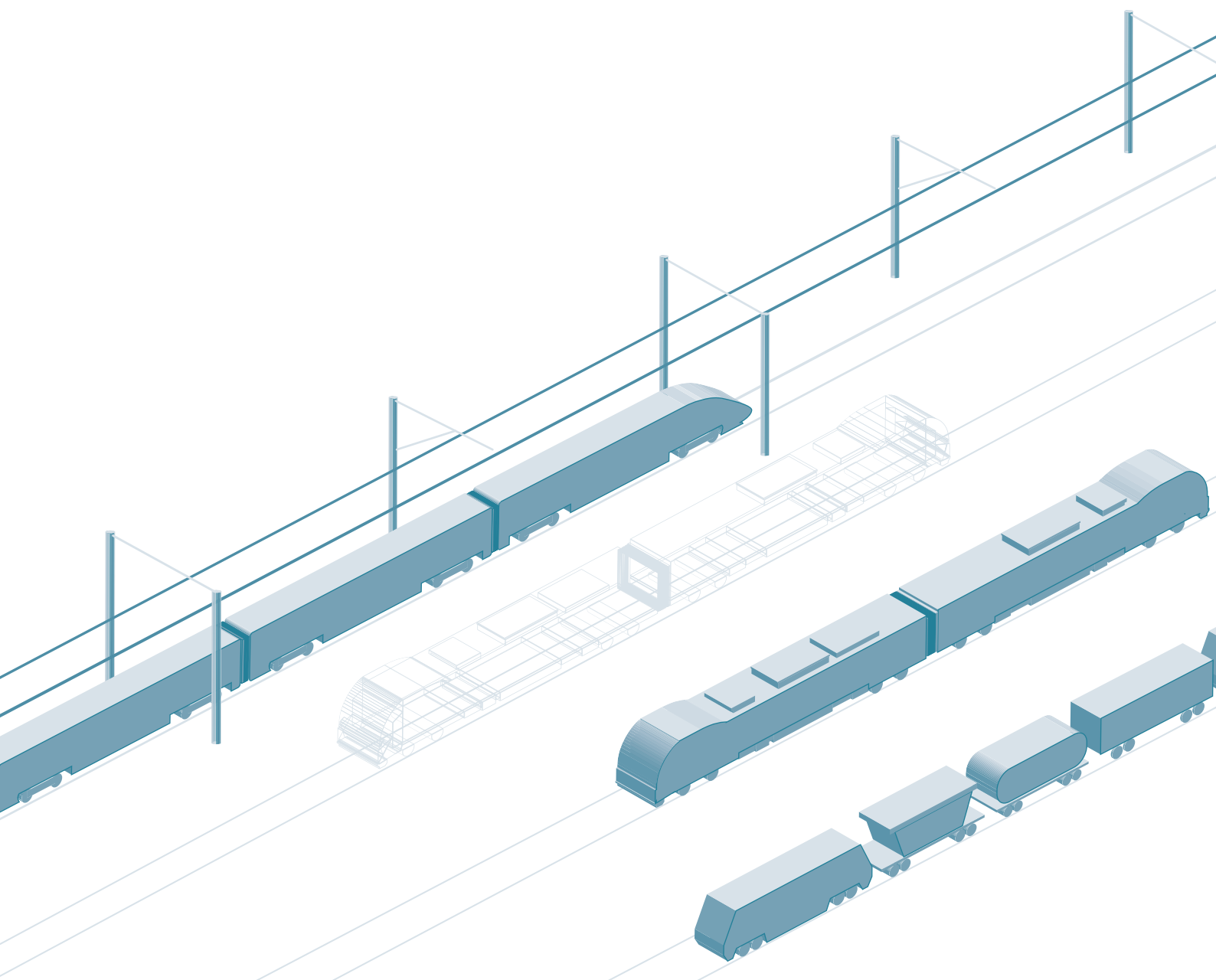
The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 28.02.2024, рецензия от первого рецензента получена 29.03.2024, рецензия от второго рецензента получена 03.04.2024, рецензия от третьего рецензента получена 05.04.2024, принята к публикации 11.04.2024.

The article was submitted 28.02.2024, first review received 29.03.2024, second review received 03.04.2024, third review received 05.04.2024, accepted for publication 11.04.2024.

ВНИИЖТ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

VNIIZHT: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW





ВНИИЖТ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

Оригинальная статья
УДК 338.47:656.2(092)
EDN: <https://elibrary.ru/qzucsg>



Анатолий Петрович Абрамов — патриарх экономической транспортной науки

Л. А. Мазо, О. Ф. Мирошниченко, Е. Н. Ефимова✉, Г. Е. Писаревский

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена 100-летию со дня рождения крупного ученого в области экономики железнодорожного транспорта, доктора экономических наук, профессора Анатолия Петровича Абрамова, который внес огромный вклад в развитие отечественной экономической науки. В трудах ученого отразились яркие черты неординарной личности, оставившей неизгладимый след в памяти тех, кому посчастливилось взаимодействовать с этим незаурядным человеком.

Материалы и методы. При написании статьи использованы факты биографии А. П. Абрамова, воспоминания работавших с ним сотрудников института, а также результаты его работы в виде многочисленных научных изданий.

Результаты. Приводятся основные этапы жизненного пути выдающегося ученого-экономиста, исследуется его вклад в развитие экономической науки на железнодорожном транспорте, раскрывается многогранность его таланта.

Обсуждение и заключение. Представленная статья является возможностью отдать дань памяти А. П. Абрамову — известному ученому в области экономики железнодорожного транспорта, основателю и руководителю научной школы и удивительному человеку.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономика транспорта, научная школа, технико-экономические исследования, теоретические основы, методические рекомендации, управление издержками, себестоимость железнодорожных перевозок, построение тарифов, маркетинг на транспорте

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазо Л. А., Мирошниченко О. Ф., Ефимова Е. Н., Писаревский Г. Е. Анатолий Петрович Абрамов — патриарх экономической транспортной науки // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 2. С. 176–182.

✉ efimova.elena@vniizht.ru (Е. Н. Ефимова)

© Мазо Л. А., Мирошниченко О. Ф., Ефимова Е. Н.,
Писаревский Г. Е., 2024



VNIIZHT: YESTERDAY, TODAY, TOMORROW

Original article

UDK 338.47:656.2(092)

EDN: <https://elibrary.ru/qzucsg>



Anatoliy Petrovich Abramov, patriarch of economic transport science

Leonid A. Mazo, Olga F. Miroshnichenko,
Elena N. Efimova✉, Gennadiy E. Pisarevskiy

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article is devoted to the 100th anniversary of the birth of a major railway economist, Doctor of Economic Sciences, Professor Anatoliy Petrovich Abramov, who made a great contribution to the development of national economic science. The economist's works reflect an extraordinary bright personality who left an indelible trace in the memory of those who worked with this outstanding person.

Materials and methods. The article uses facts of Anatoliy Abramov biography, memories of his colleagues at the institute, and his achievements in the form of numerous scientific publications.

Results. The article outlines the outstanding economist life journey, explores his contribution to the development of economic science in railway transport, reveals his multifaceted talent.

Discussion and conclusion. This article is an opportunity to pay tribute to the memory of Anatoliy Abramov, famous railway economist, founder and head of a scientific school and remarkable person.

KEYWORDS: transport economics, scientific school, technical and economic research, theoretical foundations, methodological guidelines, expense management, cost of railway transport, tariff construction, marketing in transport

FOR CITATION: Mazo L. A., Miroshnichenko O. F., Efimova E. N., Pisarevskiy G. E. Anatoliy Petrovich Abramov, patriarch of economic transport science. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(2):176-182. (In Russ.).

✉ efimova.elena@vniizht.ru (E. N. Efimova)

© Mazo L. A., Miroshnichenko O. F., Efimova E. N.,
Pisarevskiy G. E., 2024

Введение. 2 мая 2024 г. отмечалось 100-летие крупного ученого в области экономики железнодорожного транспорта, основателя и руководителя научной школы системных технико-экономических исследований, заведующего отделением экономики Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, д-ра экон. наук, профессора Анатолия Петровича Абрамова. Значительную и наиболее плодотворную часть своей жизни Анатолий Петрович отдал нашему ВНИИЖТ, поэтому его имя навечно сохранится в славной плеяде выдающихся ученых, которыми по праву гордится институт.

Этапы жизненного пути. Анатолий Петрович родился в Москве в семье помощника заместителя наркома лесной промышленности СССР. Будучи подростком, в первые месяцы Великой Отечественной войны он участвовал в возведении оборонительных сооружений в Смоленской и Московской областях, за что был награжден медалями «За оборону Москвы» и «За победу над Германией». Свой трудовой путь Анатолий Петрович начал в 1942 г. на Термитно-стрелочном заводе Управления московского трамвая, далее на Ремзаводе Наркомата обороны вплоть до зачисления в Московский транспортно-экономический институт (МТЭИ) [1, 2].

После окончания МТЭИ, в 1949 г., Анатолий Петрович поступает на работу в Центральный научно-исследовательский институт Народного комиссариата путей сообщения СССР (ЦНИИ МПС; ныне АО «ВНИИЖТ») по приглашению заместителя директора института, д-ра экон. наук, профессора Евгения Владимировича Михальцева — выдающегося ученого, прославившегося своими трудами по вопросам себестоимости железнодорожных перевозок, прозорливо увидевшего в молодом специалисте верного продолжателя своего дела. В институте Анатолий Петрович прошел путь от инженера до заведующего отделением экономики и трудился до своей скоропостижной кончины в 2002 г., ставшей для всех, кто его знал, большой утратой.

Научные исследования. Многочисленные труды А. П. Абрамова в области исследования себестоимости железнодорожных перевозок широко известны не только в России, но и за рубежом.

Разработанные им методы сопоставимого определения и анализа себестоимости железнодорожных перевозок использовались для решения экономических задач в странах, входивших в Совет экономической взаимопомощи. Необходимо особо отметить, что

разработанные Анатолием Петровичем инструменты калькулирования перевозочных затрат для тарифно-экономических целей с детальными расчетами себестоимости перевозок по родам грузов, видам отправок, категориям поездов и типам вагонов до сих пор не имеют аналогов в зарубежной науке и практике [3]. Примечательно, что уже в середине прошлого века А. П. Абрамовым были исследованы столь актуальные сегодня вопросы эффективности и ценообразования на перевозки грузов в контейнерах и на особых условиях (скоропортящихся, крупногабаритных, в подвижном составе грузовладельцев). Принципиально важно, что в этот период Анатолием Петровичем был впервые выработан подход к распределению эффекта от контейнерных перевозок между грузовладельцами и железной дорогой через оптимальное построение тарифов [4, 5]. Это послужило началом развития выполненных во ВНИИЖТ исследований по обоснованию тарифов на перевозки грузов в новых видах прогрессивного подвижного состава¹. В целях стимулирования рациональной загрузки транспортных средств им были разработаны методы тарификации с учетом сезонной неравномерности перевозок грузов [6].

Этим замечательным ученым впервые был создан методический аппарат для определения всех видов затрат на перевозки конкретных родов грузов в части полной и зависящей от размеров движения себестоимости [7].

С его помощью группой ученых нашего института были выполнены фундаментальные научные исследования по определению транспортных затрат в качестве основы формирования тарифов на перевозки грузов и пассажиров на железнодорожном транспорте. Им были впервые разработаны методы определения приведенных затрат на перевозки различных родов грузов и фондоемкости и, что имело определенное значение в хозяйственных расчетах того времени, в условиях, когда взималась плата за производственные фонды в госбюджет [8]. Интересно, что фондоемкость учитывалась в этих работах не только в себестоимости перевозок, но и в детальных расчетах сборов за дополнительные операции по взвешиванию и хранению грузов. Основные результаты комплекса исследований важнейших вопросов железнодорожного транспорта нашли отражение в написанной Анатолием Петровичем монографии «Затраты железных дорог и цена перевозки» [3], вышедшей в 1974 г. и ставшей не только основой его докторской диссертации [6], но и настольной книгой нескольких поколений экономистов

¹ Методика оценки экономической эффективности эксплуатации грузовых вагонов с улучшенными техническими характеристиками на железнодорожной инфраструктуре российских железных дорог в целях развития тарифных механизмов, стимулирующих приобретение операторами (владельцами) подвижного состава вагонов с улучшенными техническими характеристиками [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства транспорта РФ от 23 октября 2017 г. № 457. Доступ из АСПИЖТ

железнодорожного транспорта. Знаменательно, что результаты научных изысканий Анатолия Петровича были широко использованы при последующих пересмотрах тарифов и сохраняют свою ценность для решения современных экономических проблем.

А.П.Абрамов, уделяя большое внимание в своих исследованиях всем аспектам управления издержками, всегда подчеркивал, что эффективное управление расходами базируется на их правильной классификации. При его непосредственном участии были разработаны Номенклатуры расходов железнодорожного транспорта, вступившие в действие в 1998 и 2003 гг. При этом следует отметить, что Номенклатура 2003 г. стала практически первым работоспособным документом, обеспечивающим планирование и учет расходов по видам деятельности, что способствовало успешной реализации структурной реформы на железнодорожном транспорте. Многие ее положения нашли отражение и в действующем Порядке ведения раздельного учета доходов, расходов и финансовых результатов по видам деятельности, тарифным составляющим и укрупненным видам работ открытого акционерного общества «Российские железные дороги»².

Другим, не менее важным направлением исследований профессора Абрамова, были работы в области планирования, анализа и экономической оценки деятельности структурных подразделений железных дорог [6]. Большое теоретическое и практическое значение до сих пор имеет разработанная им методика денежной оценки показателей работы железнодорожного транспорта, изложенная в его одноименной книге, вышедшей в свет в 1975 г. [9]. Результаты многолетних комплексных исследований проблемы зависимости перевозочных затрат от изменения объемов перевозок легли в основу такого уникального для своего времени документа, принятого Министерством путей сообщения Российской Федерации, как «Временные методические рекомендации по определению доли эксплуатационных расходов, зависящих от объема работы» [10]. В этом документе представлены зависимости по основным группам перевозочных затрат от изменения объемов перевозок в разрезе временных горизонтов анализа (внутригодовом, годовом и долгосрочном).

В области эффективного управления затратами А.П.Абрамов много сил отдавал разработке комплексных программ сокращения расходов отрасли [8, 11]. В этих целях были разработаны в разные годы утвержденные нормативные документы (инструкции и методические рекомендации), устанавливающие

А. П. Абрамов
Anatoliy P. Abramov



подробные расчетные процедуры распределения расходов в разрезе статей и элементов затрат между грузовыми и пассажирскими перевозками, в том числе в дальнем следовании и пригородном сообщении, а также по видам тяги. Значительные трудности в распределении косвенных (так называемых общехозяйственных и общепроизводственных) расходов, занимающих в себестоимости железнодорожных перевозок до 60 %, были успешно преодолены благодаря логически продуманному подбору и увязке эксплуатационных измерителей с соответствующими группами затрат. И хотя последняя из упомянутых методик вышла из-под пера ученого в 1996 г., содержащиеся в ней методологические подходы сохранили свою актуальность и в современных условиях. Например, предложенные А.П.Абрамовым способы учета в себестоимости грузовых перевозок съема поездов при наличии ограничений пропускной способности актуальны при обосновании рациональной специализации железнодорожных линий на преимущественно грузовое или пассажирское движение.

А.П.Абрамов всегда с энтузиазмом воспринимал новые идеи и направления в экономической теории и практике. До глубокой ночи, несмотря на значительное ухудшение зрения в последние годы жизни, зачитывался научной и прикладной литературой, постоянно находился в курсе последних событий в стране и за рубежом. Его многогранное творчество было по-настоящему новаторским. Все новое и полезное для родного железнодорожного транспорта ученый стремился адаптировать к условиям отрасли. В связи с этим трудно переоценить вклад профессора А.П.Абрамова в развитие экономических методов управления в ходе реформирования железнодорожного

² Порядок ведения раздельного учета доходов, расходов и финансовых результатов по видам деятельности, тарифным составляющим и укрупненным видам работ открытого акционерного общества «Российские железные дороги» [Электронный ресурс]: утв. приказом Минтранса России от 31 декабря 2010 г. № 311. Доступ из АСПИЖТ.



Научные издания А. П. Абрамова
Anatoliy Abramov scientific publications



Заведующий отделением экономики ЦНИИ МПС А. П. Абрамов с сотрудниками отделения
Anatoliy Abramov, Head of the Economics Department of the Central Research and Development Institute of the Ministry of Railways,
with employees of the department

транспорта. Среди них следует выделить разработку инструментов гибкого бюджетирования, применение маркетинговых исследований при планировании объемов перевозок, анализ рыночных механизмов привлечения капитала и прочих доходов (облигации, лотереи), приемы тарифного стимулирования роста объемов перевозок. Результаты этих исследований нашли отражение в подготовленной А. П. Абрамовым в 2001 г. совместно с другими учеными книге «Маркетинг на транспорте», ставшей ценным учебником для студентов транспортных вузов [12].

Разносторонность Анатолия Петровича как научного исследователя проявилась и при решении им проблем, связанных с оценкой эффективности капитальных вложений. В частности, он принимал активное участие в разработке действующих до настоящего времени «Методических рекомендаций по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте»³. Важным вкладом в совершенствование методов определения эффективности явились его научные разработки по обоснованному расчету дополнительно возникающих и предельных затрат.

³ Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]: утв. указом МПС России от 31 августа 1998 г. № В-1024у. Доступ из АСПИЖТ.

Большое внимание А. П. Абрамов уделял просветительской деятельности, популяризуя экономические знания среди широких кругов железнодорожников. При его активном участии разработаны «Основы экономических знаний: для рабочих транспорта» (1974) [13] и «Экономический справочник железнодорожника» (1978) [14].

Анатолий Петрович — автор более 300 научных статей и монографий. Научную работу он успешно совмещал с педагогической деятельностью: многие годы преподавал в МИИТ, был научным руководителем аспирантов. Под его руководством подготовлено и успешно защищено более десяти диссертаций, в том числе ведущих специалистов нашего института: О. Ф. Мирошниченко, Г. Е. Писаревского, В. А. Малова, Г. А. Грановской. Он не только руководил своими аспирантами, но также оказывал большое содействие коллегам в подготовке кандидатских и докторских диссертаций, тем самым способствуя созданию во ВНИИЖТ научной школы в области экономики железнодорожного транспорта.

Плодотворно работал профессор Абрамов и в качестве члена ученых советов ВНИИЖТ, ЦНИИТЭИ, специализированных советов по защите диссертаций во ВНИИЖТ и МИИТ, на протяжении многих лет являлся членом экспертного совета Высшей аттестационной комиссии России. Он принимал активное участие в деятельности секции экономики и управления научно-технического совета МПС России, будучи в течение многих лет заместителем ее председателя, проводил комплексную работу по организации ее заседаний на железных дорогах Советского Союза.

Обсуждение и заключение. За многолетнюю плодотворную деятельность А. П. Абрамов был награжден правительственными наградами, знаками «Почетный железнодорожник», «Почетный член НТО», неоднократно поощрялся руководством отрасли.

Многогранность таланта Анатолия Петровича проявлялась не только на научном, но и на литературном поприще. Его стихи и афоризмы, юмористические рассказы и фельетоны неоднократно печатались во многих периодических изданиях страны («Вечерней Москве», «Литературной газете», «Гудке», «Железнодорожнике», журналах «Здоровье», «Крокодил», «Работница» и т. д.). Известно, что в юности он работал у легендарного Л. О. Утесова, которого нередко вспоминал с восхищением и благодарностью. В молодые годы Анатолий Петрович организовывал вечера отдыха сотрудников отделения экономики и членов их семей, сам подбирал репертуар и исполнителей, режиссировал праздники, а также выступал как солист с исполнением своих куплетов и пародий на известных артистов.

Все, кто когда-либо знал Анатолия Петровича Абрамова и работал с ним, хранят о нем светлую память как

о настоящем интеллигенте с феноменальной памятью и удивительной эрудицией и как о выдающемся ученом, во многом опередившем свое время и являющемся ярким примером служения науке.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Finding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ученые ВНИИЖТа / под ред. И. С. Беседина. М.: Изд-во Интекст, 2006. 320 с.
Besedin I. S. (ed.) *VNIIZhT Scientists*. Moscow: Intext Publ.; 2006. 320 p. (In Russ.).
2. Ученые ВНИИЖТа: (к 85-летию ин-та) / под ред. А. Л. Лисицына. М.: Интекст, 2003. 223 с.
Lisitsyn A. L. (ed.) *VNIIZhT Scientists: (to the 85th Anniversary of the Institute)*. Moscow: Intext Publ.; 2003. 223 p. (In Russ.).
3. Абрамов А. П. Затраты железных дорог и цена перевозки. М.: Транспорт, 1974. 256 с.
Abramov A. P. *Railway costs and the price of transport*. Moscow: Transport Publ.; 1974. 256 p. (In Russ.).
4. Абрамов А. П., Эрлих М. Д. Экономика контейнерных перевозок. М.: Трансжелдориздат, 1956. 96 с.
Abramov A. P., Erlikh M. D. *The economics of container transport*. Moscow: Transzheldorizdat Publ.; 1956. 96 p. (In Russ.).
5. Абрамов А. П. Экономическая эффективность применения универсальных контейнеров на железных дорогах: автореф. дис. ... канд. экон. наук / МПС СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. транспорта. М., 1958. 16 с.
Abramov A. P. *Economic efficiency of application of universal containers on railways: Cand. Sci (Econ.) thesis synopsis*. Moscow; 1958. 16 p. (In Russ.).
6. Абрамов А. П. Исследование затрат транспорта в связи с формированием железнодорожных грузовых тарифов: теория, методика, расчеты, анализ результатов: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05. М., 1976. 466 с.
Abramov A. P. *Study of transport costs associated with the formation of railway freight tariffs: theory, methodology, calculations, analysis of results: Dr. Sci (Econ.) thesis*. Moscow; 1976. 466 p. (In Russ.).
7. Абрамов А. П., Елисеева Т. В. Себестоимость перевозок различных грузов на железных дорогах / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т ж.-д. транспорта. М.: Трансжелдориздат, 1961. 28 с.
Abramov A. P., Elisseyeva T. V. *Cost of transporting various cargoes on railways*. Moscow: Transzheldorizdat Publ.; 1961. 28 p. (In Russ.).
8. Абрамов А. П., Котов Г. В. Себестоимость железнодорожных перевозок и пути ее снижения. М.: Трансжелдориздат, 1961. 44 с. (В помощь изучающим экономику железнодорожного транспорта).
Abramov A. P., Kotov G. V. *Cost of railway transport and ways to reduce it*. Moscow: Transzheldorizdat Publ.; 1961. 44 p. (To assist students of railway economics). (In Russ.).
9. Абрамов А. П. Денежная оценка показателей работы железнодорожного транспорта. М.: Транспорт, 1975. 49 с. (Экономические знания — железнодорожникам).

Abramov A. P. *Monetary valuation of railway transport performance*. Moscow: Transport Publ.; 1975. 49 p. (Economic Knowledge for Railway Workers). (In Russ.).

10. Абрамов А. П. Временные методические рекомендации по определению доли эксплуатационных расходов, зависящих от объема работы / МПС РФ. Департамент экономики, ВНИИЖТ. М., 1997. 34 с.

Abramov A. P. *Temporary methodological guidelines for determining the share of operating costs dependent on the volume of work*. Moscow; 1997. 34 p. (In Russ.).

11. Абрамов А. П. Повышение эффективности использования грузовых вагонов. М.: Транспорт, 1967. 58 с. (Экономическая б-чка железнодорожника).

Abramov A. P. *Improving the efficiency of freight car utilisation*. Moscow: Transport Publ.; 1967. 58 p. (Railwaymans Economic Library). (In Russ.).

12. Абрамов А. П., Галабурда В. Г., Иванова Е. А. Маркетинг на транспорте: учеб. М.: Желдориздат, 2001. 329 с.

Abramov A. P., Galaburda V. G., Ivanova E. A. *Marketing in Transport: textbook*. Moscow: Zheldorizdat Publ.; 2001. 329 p. (In Russ.).

13. Основы экономических знаний: для рабочих транспорта / А. П. Абрамов [и др.]; под ред. Б. И. Шафиркина. М.: Транспорт, 1974. 326 с.

Abramov A. P., Barkov N. N., Kotov G. V. et al. *Fundamentals of Economic Knowledge: for Transport Workers*. Moscow: Transport Publ.; 1974. 326 p. (In Russ.).

14. Экономический справочник железнодорожника: в 2-х ч. / А. П. Абрамов [и др.]; под общ. ред. Б. И. Шафиркина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1978. 2 ч.

Abramov A. P., Akhsharumova M. G., Barkov N. N. et al. *Railwaymans Economic Handbook: 2 parts*. 2nd ed., upd. and rev. Moscow: Transport Publ.; 1978. 2 parts. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Леонид Аронович МАЗО,

д-р экон. наук, эксперт, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10), заведующий отделением экономики в 1993–2006 гг., Author ID: 373648

Ольга Федоровна МИРОШНИЧЕНКО,

д-р экон. наук, профессор, главный научный сотрудник, научный центр «Экономика комплексных проектов и тарифообразование», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10), Author ID: 384947, <https://orcid.org/0000-0002-3049-5476>

Елена Николаевна ЕФИМОВА,

канд. экон. наук, научный консультант, научный центр «Экономика комплексных проектов и тарифообразование», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10), Author ID: 699691

Геннадий Ефимович ПИСАРЕВСКИЙ,

канд. экон. наук, эксперт, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10), заведующий лабораторией отделения экономики до 2015 г., Author ID: 587313

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Leonid A. MAZO,

Dr. Sci. (Econ.), Expert, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Head of the Department of Economics from 1993 to 2006, Author ID: 373648

Olga F. MIROSHNICHENKO,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chief Researcher, Scientific Centre for Complex Project Economics and Tariff Setting, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 384947, <https://orcid.org/0000-0002-3049-5476>

Elena N. EFIMOVA,

Cand. Sci. (Econ.), Scientific Adviser, Scientific Centre for Complex Project Economics and Tariff Setting, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 699691

Gennadiy E. PISAREVSKIY,

Cand. Sci. (Econ.), Expert, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Head of the Laboratory of the Department of Economics until 2015, Author ID: 587313

ВКЛАД АВТОРОВ

Леонид Аронович МАЗО. Исследование научного вклада А. П. Абрамова в области экономики грузовых перевозок, подготовка текста рукописи (25%).

Ольга Федоровна МИРОШНИЧЕНКО. Исследование научного вклада А. П. Абрамова в области экономики пассажирских перевозок, редактирование и подготовка текста рукописи (25%).

Елена Николаевна ЕФИМОВА. Постановка цели и задач статьи, подготовка текста рукописи (25%).

Геннадий Ефимович ПИСАРЕВСКИЙ. Исследование вклада А. П. Абрамова в подготовку научных кадров и просветительскую деятельность (25%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Leonid A. MAZO. Study of Anatoliy P. Abramov scientific contributions to the economics of cargo transport, preparation of the manuscript (25%).

Olga F. MIROSHNICHENKO. Study of Anatoliy P. Abramov scientific contributions to the economics of passenger transport, editing and preparation of the manuscript (25%).

Elena N. EFIMOVA. Setting the aim and objectives of the article, preparation of the manuscript (25%).

Gennadiy E. PISAREVSKIY. Study of Anatoliy P. Abramov contribution to training of scientific personnel and educational activities (25%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 26.03.2024, рецензия от рецензента получена 02.05.2024, принята к публикации 07.05.2024.

The article was submitted 26.03.2024, review received 02.05.2024, accepted for publication 07.05.2024.



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

С.Л. Самошкин, С.Н. Науменко, О.А. Ворон,
С.А. Соловьев

ГЕНЕРАТОРНО-ПРИВОДНЫЕ УСТАНОВКИ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

МОНОГРАФИЯ

Труды АО «ВНИИЖТ»



МОСКВА · 2024

Генераторно-приводные установки систем автономного электроснабжения железнодорожных вагонов : монография / С. Л. Самошкин, С. Н. Науменко, О. А. Ворон, С. А. Соловьев ; под ред. С. Л. Самошкина. — Москва : ИПП «КУНА», 2024. — 240 с. — ISBN 978-5-98547-147-2.

В монографии рассмотрены вопросы применения приводов вагонных генераторов на пассажирских вагонах с системой автономного электроснабжения. Приведен анализ развития приводов вагонных генераторов, выполнена их классификация и разработаны требования к их перспективным конструкциям. Приводится описание конструкций серийных приводов, в кинематическую схему которых входит плоскоремная или многоручьевая клиноременная передача. Представлен анализ результатов эксплуатации и модернизаций серийных приводов за многолетний период. Рассмотрены типы, конструкции клиновых ремней, применяемых в разное время в приводах пассажирских вагонов. Разработаны методы экспериментального определения тяговой способности, коэффициента трения, ресурса и геометрических параметров клиновых ремней. Приводятся результаты экспериментальных исследований тяговой способности и статистические оценки нагруженности наиболее распространенных серийно выпускаемых приводов вагонных генераторов. Разработан расчетный метод оценки предельной тяговой способности с учетом кинематических особенностей конструкции приводов. Представлена оценка полученных результатов и разработаны практические рекомендации по повышению тягово-энергетических показателей и надежности серийных приводов. На основании результатов исследований разработаны конструкции приводов с новыми тягово-энергетическими характеристиками и проведены расчетно-экспериментальные испытания опытных образцов.

Книга предназначена для специалистов проектных и научных организаций, связанных с проектированием и расчетно-экспериментальными исследованиями новых типов вагонов, а также может быть полезна преподавателям и студентам учебных заведений железнодорожного транспорта.

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

Тел.: (495) 602-83-01, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ «РЕЕСТР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ» (АСУ «РИС») 2.0

А.А. Воронков, Е.В. Першин, Е.А. Полякова,
А.А. Ратников, В.А. Исаева

Система представляет собой программное обеспечение, применение которого позволяет автоматизировать процесс управления данными, а также осуществлять мониторинг сведений.

В программе для ЭВМ реализованы следующие функциональности: централизованное хранение всех сведений о РИД, анализ статических данных в виде графиков и таблиц,

автоматизированный контроль за соблюдением сроков ведения переписки, оплаты пошлин и процессов внедрения и использования РИД.

Программа для ЭВМ применяется в области учета возникновения и прекращения интеллектуальных прав.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

№ 2024615324 от 05.03.2024.

Заявка № 2024613775 от 22.02.2024

По вопросам использования интеллектуальной собственности обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, Научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (495) 602-83-01, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru

МОНОГРАФИИ И СБОРНИКИ

Научно-издательский отдел предлагает приобрести Труды АО «ВНИИЖТ»:

- Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: КУНА, 2023. — 280 с.
- Силюта А.Г. Методология выбора рациональных характеристик автономных локомотивов. — М.: КУНА, 2023. — 86 с.
- Рожицкий Д.Б. Нетяговая энергетика железнодорожного транспорта. Нормирование потребления топливно-энергетических и водных ресурсов. — М.: РАС, 2022. — 324 с.
- Электробезопасность электроустановок транспорта / А.Б. Косарев, С.А. Виноградов, Ю.Н. Король, И.А. Косарев. — М.: РАС, 2022. — 448 с.
- Кондрашов В.М., Максимов И.Н. Альтернативные методы исследования динамики железнодорожных экипажей. — М.: РАС, 2022. — 105 с.
- Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием подвижного состава. Т. 1. Грузовые вагоны / под ред. С.М. Захарова. — М.: ИННА, 2021. — 456 с.
- Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием подвижного состава. Т. 2. Грузовые локомотивы / под ред. С.М. Захарова. — М.: ИННА, 2021. — 344 с.
- Марков Д.П. Атомно-молекулярные механизмы вещественного трения. — М.: РАС, 2019. — 104 с.
- Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта. Ч. 1 / под ред. А.Б. Косарева, Г.В. Гогричиани. — М.: РАС, 2019. — 272 с.
- Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта. Ч. 2 / под ред. А.Б. Косарева, Г.В. Гогричиани. — М.: РАС, 2019. — 300 с.
- Ромен Ю.С. Взаимодействие пути и экипажа в рельсовой колее. — М.: РАС, 2019. — 160 с.
- АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте / под ред. А.В. Комиссарова. — М.: РАС, 2019. — 168 с.
- Экспериментальная оценка взаимодействия экипажа и пути при скоростном и высокоскоростном движении / под ред. А.М. Бржезовского. — М.: РАС, 2019. — 152 с.
- Экономические исследования железнодорожного комплекса и их практическое значение / под ред. О.Ф. Мирошниченко. — М.: РАС, 2019. — 210 с.
- Певзнер В.О. Научные основы системы управления состоянием пути. — М.: РАС, 2018. — 272 с.
- Научное сопровождение развития высокоскоростных магистралей в России / под ред. А.Б. Косарева, О.Н. Назарова. — М.: РАС, 2018. — 119 с.
- Особенности системы ведения рельсового хозяйства на российских железных дорогах / под ред. А.Ю. Абдурашитова. — М.: РАС, 2017. — 160 с.
- Вопросы развития железнодорожного транспорта / под ред. М.М. Железнова, Г.В. Гогричиани. — М.: РАС, 2017. — 270 с.
- Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо — рельс / под ред. С.М. Захарова. — М.: Интекст, 2017. — 420 с.
- Савин А.В. Безбалластный путь. — М.: РАС, 2017. — 192 с.
- Коган А.Я., Загитов Э.Д., Полещук И.В. Случайные процессы взаимодействия пути и подвижного состава. — М.: РАС, 2016. — 210 с.
- Берент В.Я. Сильноточный скользящий контакт (свойства, повреждаемость и процессы, протекающие в нем). — М.: Аналитика Родис, 2016. — 330 с.
- Антюхин Г.Г., Поварков И.Л. Совершенствование учета расхода моторного масла тепловозами. — М.: Аналитика Родис, 2016. — 104 с.

- Шенфельд К.П., Сотников Е.А. Развитие методов управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в современных условиях. — М.: Научный мир, 2015. — 202 с.
- Косарев А.Б., Косарев Б.И., Сербиненко Д.В. Электромагнитные процессы в системах энергоснабжения железных дорог переменного тока. — М.: ВМГ-Принт, 2015. — 349 с.
- Тюрнин П.Г., Тибилов А.Т., Миронос Н.В. Токосъем: надежность, экономичность и пути совершенствования. — М.: ВМГ-Принт, 2015. — 166 с.
- Ромен Ю.С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методы расчета и испытаний. — М.: ВМГ-Принт, 2014. — 210 с.
- Современная методология технического нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов локомотивами на тягу поездов / Л.А. Мугинштейн, А.И. Молчанов, С.А. Виноградов, К.М. Попов, Е.Н. Школьников. — М.: ВМГ-Принт, 2014. — 144 с.
- Повышение эффективности устройства и содержания железнодорожного пути / под ред. А.Ю. Абдурашитова. — М.: ВМГ-Принт, 2014. — 125 с.
- Актуальные проблемы экономики железнодорожного транспорта и пути их решения / под ред. О.Ф. Мирошниченко. — М.: ВМГ-Принт, 2014. — 258 с.
- Повышение эффективности инноваций и мотивация их внедрения на железных дорогах России: научно-методическое пособие / под ред. М.М. Толкачевой, Г.Е. Писаревского. — М.: Интекст, 2014. — 152 с.
- Железнодорожный транспорт на современном этапе / под ред. Б.М. Лapidуса, Г.В. Гогричани. — М.: ВМГ-Принт, 2014. — 292 с.
- Земляное полотно железнодорожного пути: справочник / под ред. П.И. Дыдышко. — М.: Интекст, 2014. — 416 с.
- Железнодорожный транспорт на современном этапе развития / под ред. М.М. Железнова, Г.В. Гогричани. — М.: Интекст, 2013. — 288 с.
- Путь и путевое хозяйство. Взаимодействие колеса и рельса / под ред. М.М. Железнова. — М.: Интекст, 2013. — 236 с.
- Лapidус Б.М. Железнодорожный бизнес: как встать на главный путь. — М.: Интекст, 2013. — 383 с.
- Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта: Теоретические основы, исторические тенденции и взгляд в будущее / под ред. Б.М. Лapidуса, Д.А. Мачерета. — М.: КРАСАНД, 2013. — 324 с.
- Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения / под ред. В.О. Певзнера, Ю.С. Ромена. — М.: Интекст, 2013. — 224 с.
- Заручейский А.В., Гребенюк П.Т. Экспериментальные исследования процессов движения подвижного состава. — М.: Интекст, 2012. — 76 с.
- Современные и перспективные конструкции железнодорожного пути для различных условий эксплуатации / под ред. А.Ю. Абдурашитова. — М.: Интекст, 2012. — 88 с.
- Имитационное моделирование в задачах организации движения поездов / под ред. Л.А. Мугинштейна. — М.: Интекст, 2012. — 56 с.
- Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Конструкция и содержание железнодорожной инфраструктуры / под ред. С.М. Захарова. — М.: Интекст, 2012. — 568 с.
- Проблемы железнодорожного транспорта. Задачи и пути их решения / под ред. Б.М. Лapidуса, Г.В. Гогричани. — М.: Интекст, 2012. — 260 с.
- Мугинштейн Л.А., Ябко И.А., Илютович А.Е. Энергооптимальные методы управления движением поездов. — М.: Интекст, 2012. — 80 с.

По вопросам приобретения книг и за справочной информацией обращаться в научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ»:

anokhov.igor@vniizht.ru
rio@vniizht.ru
тел.: +7 (495) 602-83-01, +7 (495) 602-84-56

Актуальная информация о Трудах ВНИИЖТ доступна на сайте (переход через QR-код):



