

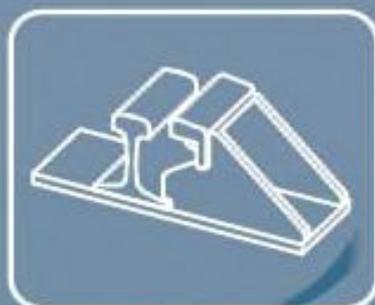


ISSN 2223 - 9731 (Print)  
ISSN 2713 - 2560 (Online)



**ВЕСТНИК  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
RUSSIAN RAILWAY SCIENCE JOURNAL**

**Том 84, №1. 2025**



**Издаётся с 1942 г.  
Published since 1942**

# ВЕСТНИК ВНИИЖТ

Цель журнала — 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 **ВИНИТИ РАН**



Международной базе **Dimensions**



Директории журналов открытого доступа (**DOAJ**)



Агентстве 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

# RUSSIAN RAILWAY SCIENCE JOURNAL

The aim 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.

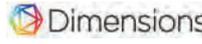
The scientific peer-reviewed Russian Railway Science Journal publishes original scientific articles, which have not been previously published.

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:

<b>Russian Science Citation Index</b>	
<b>EBSCO Information Services</b>	
<b>Baidu</b>	
<b>China National Knowledge Infrastructure (CNKI)</b>	
<b>Ulrichsweb Global Serials Directory</b>	
<b>Google Scholar</b>	
<b>The European Library</b>	
<b>Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI RAS)</b>	
<b>Dimensions</b>	
<b>Directory of Open Access Journals (DOAJ)</b>	
<b>Digital Object Identifier Registration Agency (CrossRef)</b>	

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., научный руководитель института — научный секретарь, АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 352781, <https://orcid.org/0000-0001-9684-036X>

## Заместитель главного редактора

**Каресов 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 Алексеич**, 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, Эксперт 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, первый заместитель директора научного центра АО «ВНИИЖТ», Москва, Российская Федерация, Author ID: 426312, <https://orcid.org/0000-0002-5561-5454>

**Сирин 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**, редактор-корректор,  
**Барашков Владислав Владимирович**, руководитель группы дизайна

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

Подписано к печати 07.03.2025. Формат бумаги 60×90 1/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 12. Тираж 200 экз. Заказ \_\_\_\_\_. Цена свободная

#### Editor-in-Chief

**Alexander B. Kosarev**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Scientific Adviser — Scientific Secretary 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 Xuewei**, 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.), Expert, 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, First Deputy Director of the Scientific Centre, 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. Shimanovskiy**, 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**, Editor-proofreader,  
**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 07.03.2025. Format is 60x90 1/8. Offset printing. 12 printed sheets. 200 copies. Order No. \_\_\_\_\_. Free price

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

<b>Анализ напряженно-деформированного состояния удерживающего устройства для фиксации арочного длинномерного груза на железнодорожной платформе</b> С. А. Петрачков, М. Г. Гегедеш.....	9–20
<b>Разработка устройства управления потоком воздуха для производственных и социальных зданий ОАО «РЖД»</b> С. Н. Науменко, П. О. Мусерский .....	21–28
<b>Проектирование геометрии стрелочных кривых</b> Д. С. Ершов .....	29–41
<b>Конструкции контррельсовых узлов с увеличенным ресурсом для перспективных стрелочных переводов</b> М. Е. Березовский.....	42–50
<b>Определение напряженно-деформированного состояния упругой клеммы рельсового скрепления W30</b> В. С. Коссов, О. Г. Краснов, М. В. Тимаков, А. Л. Протопопов, С. В. Чунин, М. А. Литвинов .....	51–59
<b>О подходах к обоснованию целесообразности изменения геометрии трассы со сложным планом железнодорожных линий</b> М. И. Мехедов, В. А. Антонец, В. А. Устинов, В. Г. Федюлин.....	60–71

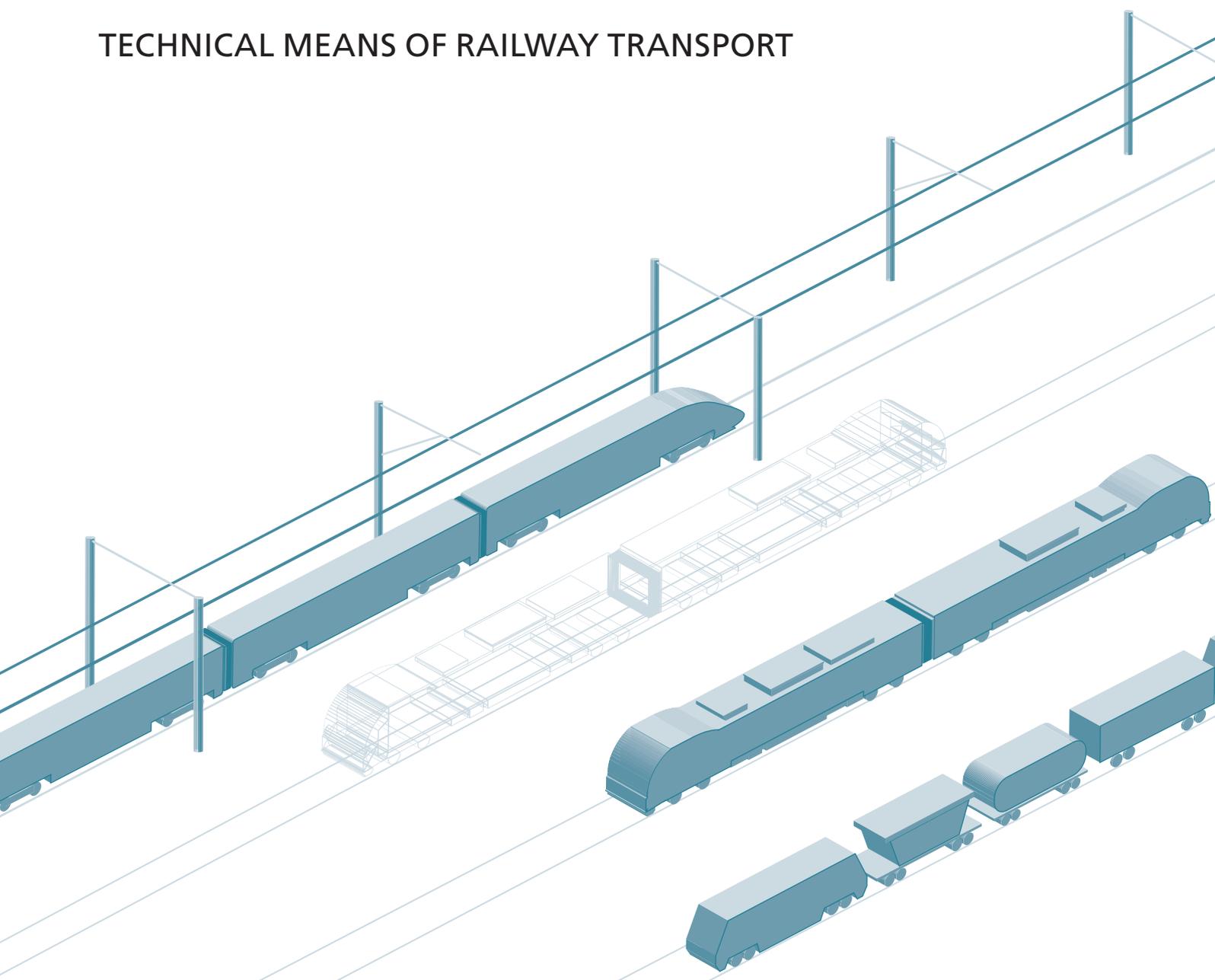
## CONTENTS

### TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

<b>Stress-strain state analysis of a fastening device for an arched long good on a flatcar</b> Siarhei A. Petrachkou, Maryna G. Gegedesh .....	9–20
<b>Development of air flow control device for industrial and social buildings of JSC Russian Railways</b> Sergey N. Naumenko, Prokopi O. Muserskiy.....	21–28
<b>Design of switch curves geometry</b> Denis S. Ershov .....	29–41
<b>Counterrail design with increased service life for advanced turnout switches</b> Mikhail E. Berezovskii .....	42–50
<b>Determining the stress-strain state of the elastic clip of rail fastening W30</b> Valery S. Kossov, Oleg G. Krasnov, Maksim V. Timakov, Andrey L. Protopopov, Sergey V. Chunin, Maksim A. Litvinov .....	51–59
<b>Approaches to substantiating the expediency of changing routing geometry with a complex plan of railway lines</b> Mikhail I. Mekhedov, Vladimir A. Antonets, Vladimir A. Ustinov, Vyacheslav G. Fedulin .....	60–71

# ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 629.463.3:004.94

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

Научная специальность: 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация



## Анализ напряженно-деформированного состояния удерживающего устройства для фиксации арочного длинномерного груза на железнодорожной платформе

С. А. Петрачков<sup>1</sup>, М. Г. Гегедеш<sup>2,1</sup>✉

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта,  
Гомель, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Гомель, Республика Беларусь

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Необходимость совершенствования способов размещения и крепления грузов на подвижном составе обусловлена постоянным расширением ассортимента перевозимых грузов, увеличением максимальных скоростей движения грузовых поездов, а также разработкой и внедрением в перевозочный процесс новых конструкций грузовых вагонов. Предлагаются новые конструкции устройств для крепления грузов, в том числе длинномерных. При этом принятые в практике перевозок методы расчета схем погрузки и крепления грузов не позволяют сделать вывод о надежности таких нестандартных устройств и их удерживающих свойств.

**Материалы и методы.** Выполнено исследование напряженно-деформированного состояния, разработанного авторами удерживающего устройства для фиксации арочного длинномерного груза на железнодорожном подвижном составе. Нагрузки, действующие на устройство в продольном и поперечном направлениях, определены аналитическим способом.

**Результаты.** Получены значения нормальных, эквивалентных (по Мизесу) напряжений и деформаций разработанной конструкции при самых неблагоприятных условиях ее нагружения.

**Обсуждение и заключение.** Результаты полученных на основе конечно-элементного анализа расчетов позволили выработать рекомендации по применению предлагаемой конструкции для фиксации рассматриваемого длинномерного груза от опрокидывания и поступательных перемещений в продольном и поперечном направлениях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железнодорожная платформа, длинномерный груз, фиксирующее груз устройство, компьютерное моделирование, безопасность перевозки

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Петрачков С. А., Гегедеш М. Г. Анализ напряженно-деформированного состояния удерживающего устройства для фиксации арочного длинномерного груза на железнодорожной платформе // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 1. С. 9–20.

Original article

UDK 629.463.3:004.94

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

Scientific specialty: 2.9.3. Railway rolling stock, train traction and electrification



## Stress-strain state analysis of a fastening device for an arched long good on a flatcar

Siarhei A. Petrachkou<sup>1</sup>, Maryna G. Gegedesh<sup>2,1</sup>✉

<sup>1</sup>Belarusian State University of Transport,  
Gomel, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Sukhoi State Technical University of Gomel,  
Gomel, Republic of Belarus

### ABSTRACT

**Introduction.** The need to improve ways of placing and securing goods on rolling stock is determined by the constant expansion of the range of goods transported, an increase in the maximum speeds of freight trains, as well as the development and implementation of new railway cars designs in the transportation process. New designs of devices for arched loads, including long goods, are proposed. At the same time, the methods of analysing freight handling and cargo fastening schemes adopted in the practice of transportation do not allow to conclude about the reliability of such non-standard devices and their retaining properties.

**Materials and methods.** A study of the stress-strain state of a fastening device for an arched long good on a rolling stock is performed. The loads acting on the device in the longitudinal and transverse directions are determined analytically.

**Results.** The values of normal, equivalent (according to Mises) stresses and deformations of the developed structure under adverse conditions of its loading are obtained.

**Discussion and conclusion.** The results of the calculations obtained on the basis of finite element analysis made it possible to develop recommendations for the application of the proposed design to arched long goods to eliminate tipping and translational movements in the longitudinal and transverse directions.

**KEYWORDS:** railway flatcar, long good, cargo fastening device, computer modelling, railway transportation safety

**FOR CITATION:** Petrachkou S. A., Gegedesh M. G. Stress-strain state analysis of a fastening device for an arched long good on a flatcar. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(1):9–20. (In Russ.).

**Введение.** В современных условиях глобализации транспортных процессов происходит непрерывное расширение числа и типов перевозимых грузов, а также увеличение длины, скорости и массы железнодорожных составов, что требует более совершенного вагонного парка и новых способов размещения и крепления грузов на железнодорожном подвижном составе.

Достаточно часто грузы выходят за пределы одной или обеих концевых балок рамы вагона более чем на 400 мм. В таких случаях их относят к длинномерным и размещают на сцепе вагонов с опорой на один вагон или с опорой на два вагона в зависимости от их длины и массы. К числу таких грузов, например, относятся железобетонные изделия и металлопрокат.

Силы инерции, действующие на длинномерные грузы при прохождении железнодорожным составом стрелочных переводов и входе в кривые участки пути малого радиуса (350–500 м), приводят к смещению грузов относительно их первоначального положения, вследствие чего способны произойти разрушение деревянных деталей креплений и расслабление проволочных нитей, что может привести к повреждению вагона и груза, а также к возникновению необходимости повторного закрепления груза в процессе транспортировки к станции назначения.

Принятая в настоящее время методика расчета средств крепления грузов на железнодорожном подвижном составе использует положения, характерные для механики твердых тел, однако и длинномерные грузы, и многие средства их крепления обладают упруго-пластическими свойствами, учет которых возможен только при использовании цифровых технологий. В условиях постоянно растущего числа устройств, предназначенных для крепления грузов, расчеты на основе компьютерного моделирования позволяют достаточно точно оценить надежность предлагаемых конструкций при условии адекватности разработанных моделей реальным процессам, происходящим при движении вагона-платформы.

**Краткий обзор проблемы.** Длинномерные грузы относятся к категории негабаритных и требуют специальных условий перевозки как железнодорожным [1, 2], так и автомобильным транспортом [3, 4], поскольку их динамическое поведение в процессе перевозки отличается от грузов меньшей длины, что можно объяснить возможностью возникновения вертикальных колебаний, т.е. при увеличении длины грузовой единицы закрепление может потерять удерживающие свойства.

Существуют различные способы размещения и крепления длинномерных грузов при перевозке их железнодорожным транспортом, которые описаны, например, в Технических условиях размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах<sup>1,2</sup>. Также известны различные виды устройств для крепления длинномерных грузов на открытом железнодорожном подвижном составе, которые предназначены для погашения инерционных сил, действующих на груз в продольном и поперечном направлениях в процессе перевозки [5, 6].

Некоторые авторы предлагают изменения в конструкции конкретных вагонов под перевозку определенных видов грузов, например, в работах [7, 8], однако такой вариант не может быть использован для широкой номенклатуры грузов и в особенности длинномерных.

Наиболее часто исследователи как в странах СНГ, так и за рубежом используют математическое моделирование для описания поведения груза, позволяющее учесть колебания груза как твердого тела в различных плоскостях [9–11]. Однако при этом не учитываются упруго-пластические свойства элементов крепления грузов и самого длинномерного груза, которые могут привести как к уменьшению, так и к увеличению относительных смещений груза.

Достаточно часто для крепления длинномерных грузов используются опорно-крепежные (турникетные) устройства [15, 16], однако для длинномерных грузов определенной кривизны с малой площадью опирания и длиной, значительно превышающей толщину, они не могут быть применены.

Существуют исследования, направленные на изучение напряженно-деформированного состояния некоторых элементов креплений грузов при их перевозке автомобильным [12, 13], морским [14] транспортом, однако в области железнодорожного транспорта такие исследования не выполнялись.

Целью представленной работы является разработка способа размещения и крепления длинномерного груза криволинейной формы с малой площадью опирания с учетом упруго-пластических свойств фиксирующей конструкции на основе компьютерного моделирования. Задачи, обусловленные целью, включают в себя аналитический расчет сил и нагрузок, воспринимаемых средствами крепления, разработку конструкции, позволяющей зафиксировать несколько единиц длинномерного груза криволинейной формы, а также анализ прочности устройства на основе параметров его напряженно-деформированного состояния под действием расчетных нагрузок.

<sup>1</sup> Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах: утв. МПС России 27.05.2003 г. № ЦМ-943. М., 2003. 544 с.

<sup>2</sup> Tiedown Handbook for Rail Movements / R. E. Kerr [et al.]; Transportation Engineering Agency; edited by R. E. Kerr. Virginia: Newport News. 2003. 97 p.

**Методы и новые приемы анализа.** Для расчета основных характеристик груза и сил, действующих на него в продольном и поперечном направлениях, использована стандартная методика, применяемая при разработке схем размещения и крепления грузов и описанная в Соглашении о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС)<sup>3</sup>. Она подразумевает расчет инерционных сил, действующих на груз в продольном и поперечном направлениях, а также подбор устройств и элементов крепления грузов, способных оказать удерживающее от относительного смещения груза воздействие, обеспечивающих гашение этих инерционных сил, например, брусков, растяжек, увязок и т.д. При этом аналитический расчет удерживающих сил при использовании конструкций более сложной конфигурации, в том числе, состоящих из элементов, изготовленных из материалов с различными свойствами, представляет собой весьма трудоемкую задачу.

Общая масса груза ( $Q_{гр}^0$ ) включает массу четырех узких арочных конструкций и массу средств крепления и составляет 52 т. Схема размещения арочного груза на открытом подвижном составе приведена на рис. 1. Погрузка четырех деревянных полуарок производится на 4-осный транспортер модели 14-Т302 (тип 3931) грузоподъемностью 64 т. С двух сторон транспортера устанавливаются платформы прикрытия (по одному вагону перед платформой с грузом и после нее). Сцеп для перевозки длинномерного груза должен быть сформирован таким образом, чтобы в порожнем состоянии высота продольных осей автосцепок грузонесущих вагонов от уровня верха головок рельсов была больше высоты осей автосцепок вагонов прикрытия и промежуточных вагонов на 50–100 мм<sup>4</sup>. Груз располагается

таким образом, чтобы смещение центра тяжести груза в продольном и поперечном направлениях было равно нулю, центры тяжести грузов и вагона при таком размещении криволинейного груза будут совпадать.

Для фиксации каждой единицы арочного длинномерного груза была разработана конструкция, общий вид которой представлен на рис. 2. Устройство представляет собой металлическую раму, с равномерно расположенными ячейками, число которых соответствует числу единиц груза и с установленным прокладочным материалом, защищающим груз от механических повреждений и позволяющим обеспечить расчетный коэффициент трения между грузом и рамой. Для удержания груза от поступательных перемещений в продольном и поперечном направлениях конструкция имеет прижимные балки, которые создают необходимую силу трения между грузом и рамой за счет закручивания гаек с расчетным моментом затяжки. Рама выполняется из стандартных швеллеров, включает несколько секций для размещения каждого груза отдельно и приваривается к металлическому листу, прикрепленному к полу железнодорожной платформы. Высота рамы соответствует высоте груза в месте ее установки. Поскольку груз не симметричен относительно поперечной оси, используются рамы высотой 2,040 м и 1,504 м.

Аналитические расчеты, выполненные по стандартной методике, позволили сделать вывод о том, что вагон с грузом устойчив от опрокидывания.

Продольная инерционная сила  $F_{пр}$ , тс, определяется по стандартной формуле:

$$F_{пр} = a_{пр} Q_{гр}, \quad (1)$$

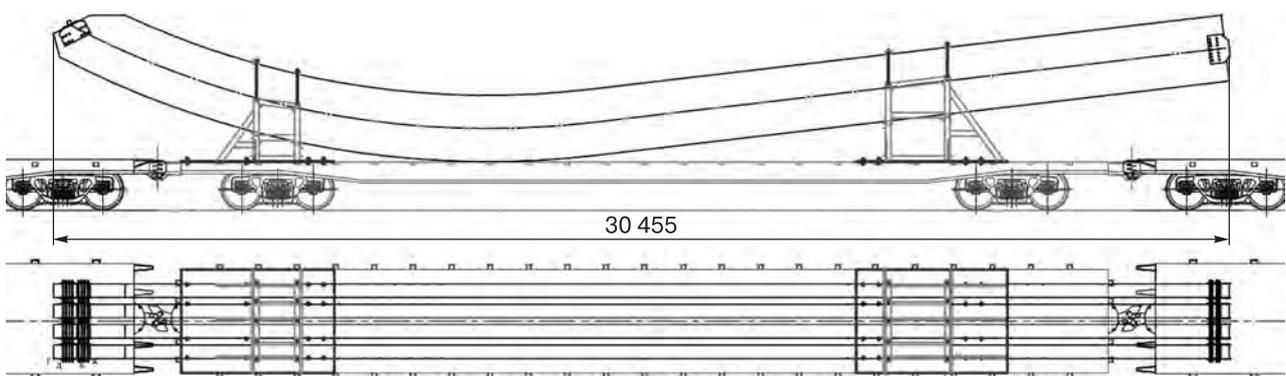


Рис. 1. Схема размещения рассматриваемого длинномерного груза арочной формы\*

\* Источник: разработан авторами

Fig. 1. The placement scheme for the considered arched long goods\*

\* Source: developed by the authors

<sup>3</sup> Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) [Электронный ресурс]: действует с 1 ноября 1951 г. с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 июля 2024 года. URL: <https://osjd.org/ru/8978/page/106077?id=2845> (дата обращения: 12.01.2025).

<sup>4</sup> Там же.

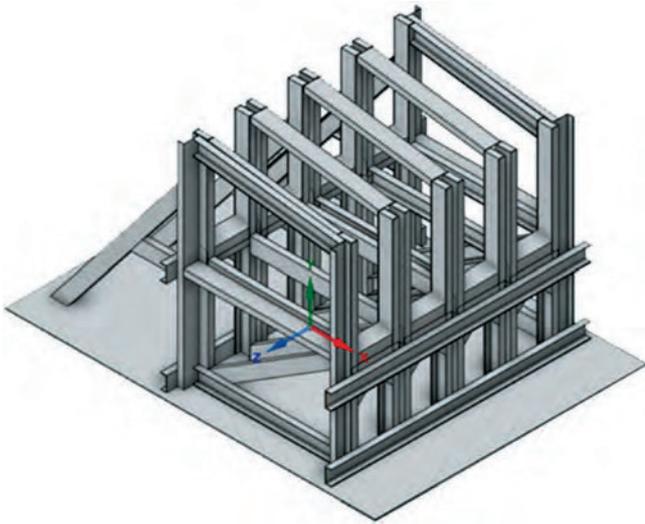


Рис. 2. Предлагаемое удерживающее устройство для длинномерного груза\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 2. Proposed positioning device for long goods\*  
\* Source: developed by the authors

где  $a_{пр}$  — удельная продольная инерционная сила, тс, на тонну массы груза, определяемая по формуле:

$$a_{пр} = a_{22} - \frac{Q_{гр}^o (a_{22} - a_{94})}{72}, \quad (2)$$

где  $a_{22}$ ,  $a_{94}$  — значения удельной продольной инерционной силы в зависимости от типа крепления при массе брутто вагона 22 т и 94 т, соответственно,  $a_{22} = 1,90$  тс/т,  $a_{94} = 1,67$  тс/т, тогда

$$a_{пр} = 1,90 - \frac{52(1,90 - 1,67)}{72} = 1,73 \text{ тс/т.}$$

Продольная инерционная сила, действующая на одну грузовую единицу массой 11,5 т, составляет

$$F_{пр} = 1,734 \cdot 11,50 = 19,941 \text{ тс.}$$

Продольная инерционная сила грузов с учетом крепления равна

$$F_{пр}^{гр} = 1,734 \cdot 52 = 90,168 \text{ тс.}$$

Поперечная инерционная сила  $F_{п}$ , тс, определяется по стандартной формуле:

$$F_{п} = a_{п} Q_{гр}, \quad (3)$$

где  $a_{п}$  — удельная поперечная инерционная сила, тс, на тонну массы груза, определяемая по формуле:

$$a_{п} = a_c - \frac{2(a_{ш} - a_c)}{l_b} l_{гр пр}, \quad (4)$$

где  $l_b$  — база вагона;  $l_{гр пр}$  — расстояние от центра тяжести груза (ЦТ<sub>гр</sub>) до вертикальной плоскости, проходящей через поперечную ось платформы;

$a_c$ ,  $a_{ш}$  — удельные поперечные инерционные силы для случаев, когда ЦТ<sub>гр</sub> находится в вертикальных поперечных плоскостях, проходящих соответственно через середину вагона и через шкворневую балку, т.е.  $a_c = 0,330$  тс/т,  $a_{ш} = 0,550$  тс/т.

Удельная поперечная инерционная сила одной единицы груза:

$$a_{п1} = 0,330 + \frac{2(0,550 - 0,330)}{19,00} \cdot 0 = 0,330 \text{ тс/т.}$$

Поперечная инерционная сила, действующая на одну единицу груза:

$$F_{п1} = 0,330 \cdot 11,55 = 3,795 \text{ тс.}$$

Поперечная инерционная сила, действующая на весь длинномерный груз:

$$F_{п}^{гр} = 0,330 \cdot 52 = 17,160 \text{ тс.}$$

Ветровая нагрузка  $W_{п}$ , тс, при расчетах принимается направленной по нормали к поверхности груза и определяется из расчета удельной ветровой нагрузки, равной  $0,050$  тс/м<sup>2</sup>, по формуле

$$W_{п} = 0,050 S_{гр}, \quad (5)$$

где  $S_{гр}$  — площадь боковой наветренной поверхности груза, м<sup>2</sup>.

Ветровая нагрузка, действующая на одну единицу груза и на весь груз с элементами крепления, соответственно равна

$$W_{п1} = 0,05 \cdot 55 = 2,750 \text{ тс;}$$

$$W_{п}^{гр} = 0,05 \cdot 63 = 3,150 \text{ тс.}$$

Инерционная сила, действующая на груз по вертикали,  $F_{в}$ , тс, определяется по формуле

$$F_{в} = a_{в} Q_{гр}, \quad (6)$$

где  $a_{в}$  — удельная вертикальная инерционная сила, кгс.

Вертикальные силы, действующие на одну единицу груза и на весь груз с элементами крепления, соответственно равны

$$F_{в1} = 0,291 \cdot 11,5 = 3,347 \text{ тс;}$$

$$F_{в}^{гр} = 0,291 \cdot 52 = 15,132 \text{ тс.}$$

Поскольку рассматриваемый длинномерный груз имеет малую площадь опирания, необходимо также производить проверку на устойчивость от опрокидывания.

В продольном направлении проверяется возможность опрокидывания груза относительно опорной рамы. Коэффициент запаса устойчивости в продольном направлении  $\eta_{пр}$  определяется по формуле

$$\eta_{пр} = \frac{l_{пр}^o}{a_{пр} (h_{ит} - h_{ит}^{пр})}, \quad (7)$$

где  $l_{пр}^o$  — кратчайшее расстояние от проекции ЦТ груза на горизонтальную плоскость до ребра опрокидывания вдоль вагона принимается равным 7,890 м;  $h_y^{пр}$  — высота продольного упора, принимается равной 1,250 м;  $h_{цт}$  — высота центра тяжести груза относительно пола вагона, м.

Значение коэффициента запаса устойчивости в продольном и поперечном направлениях составляет не менее 1,250<sup>5</sup>.

Таким образом, коэффициент запаса устойчивости груза ( $h_{цт} = 1,800$  м) в продольном направлении относительно опорной рамы равен

$$\eta_{пр}^{отн.рамы} = \frac{7,890}{1,734(1,800-1,250)} = 8,273 > 1,250.$$

Также проверяется возможность опрокидывания груза относительно пола вагона. В данном случае кратчайшее расстояние от проекции центра тяжести груза на горизонтальную плоскость до ребра опрокидывания вдоль вагона принимается  $l_{пр}^o = 9,390$  м; высота общего центра тяжести груза и рамы относительно пола вагона  $h_{цт} = 1,757$  м; высота продольного упора равна 0 м, тогда

$$\eta_{пр}^{отн.пола} = \frac{9,390}{1,734(1,757-0,000)} = 3,080 > 1,250.$$

В поперечном направлении проверяется возможность опрокидывания груза с опорными рамами относительно пола транспортера. Коэффициент запаса устойчивости в поперечном направлении  $\eta_{п}$  определяется по формуле

$$\eta_{п} = \frac{Q_{гр} b_{п}^o}{F_{п}(h_{цт} - h_y^n) + W_{п}(h_w - h_y^n)}, \quad (8)$$

где  $b_{п}^o$  — кратчайшее расстояние от проекции ЦТ груза на горизонтальную плоскость до ребра опрокидывания поперек вагона, м, принимается  $b_{п}^o = 1,350$  м;

$h_y^n$  — высота поперечного упора, м, принимается 0,000 м;

$h_w$  — высота приложения ветровой нагрузки, м;

Таким образом, коэффициент запаса устойчивости в поперечном направлении относительно пола транспортера равен

$$\eta_{п}^{отн.пола} = \frac{52 \cdot 1,35}{17,160(1,800-0) + 2,750(1,800-0)} = 1,960 > 1,250.$$

Кроме того, в поперечном направлении необходимо учесть возможность опрокидывания груза относительно опорной рамной конструкции. В этом случае кратчайшее расстояние от проекции центра тяжести груза

на горизонтальную плоскость до ребра опрокидывания поперек вагона составляет  $l_{пр}^o = 0,175$  м, высота поперечного упора принимается равной  $h_y^n = 1,660$  м, высота приложения ветровой нагрузки  $h_w = 1,800$  м.

Тогда коэффициент запаса устойчивости груза относительно рамной конструкции в поперечном направлении составит

$$\eta_{п}^{отн.рамы} = \frac{11,500 \cdot 0,175}{3,795(1,800-1,660) + 2,750(1,800-1,660)} = 2,200 > 1,250.$$

Таким образом, произведенные аналитические расчеты показывают, что рассматриваемый криволинейный длинномерный груз устойчив к опрокидыванию в продольном и поперечном направлениях как относительно предлагаемой для его фиксации рамной конструкции, так и относительно пола вагона.

Груз имеет двухстороннюю верхнюю негабаритность второй степени (Н0020). Нагрузка на ось и погонная нагрузка составляют соответственно 20,25 т/ось и 3,21 т/м и не превышают допустимых значений.

**Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции, устанавливаемой на платформу.** Расчеты напряженно-деформированного состояния удерживающей рамы выполнены в модуле Static Structural программного инженерного комплекса ANSYS Workbench. На рис. 3 приведена конечно-элементная модель предлагаемой конструкции из швеллеров типа 16П, которая включает более 160 тысяч конечных элементов.

Конструкция состоит из металлических швеллеров, выполненных из стали, внутрь которых вложены деревянные бруски, позиционированные по форме груза, как показано на рис. 4.

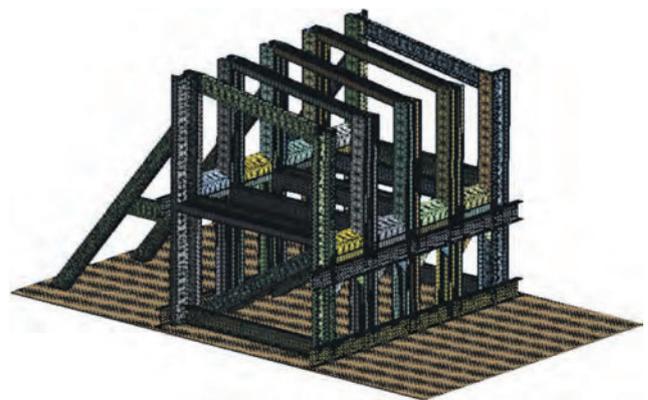


Рис. 3. Конечно-элементная модель конструкции для фиксации арочного длинномерного груза в ANSYS Workbench\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 3. Finite element model of the device for the arched long goods fixing in ANSYS Workbench\*  
\* Source: developed by the authors

<sup>5</sup> Там же.

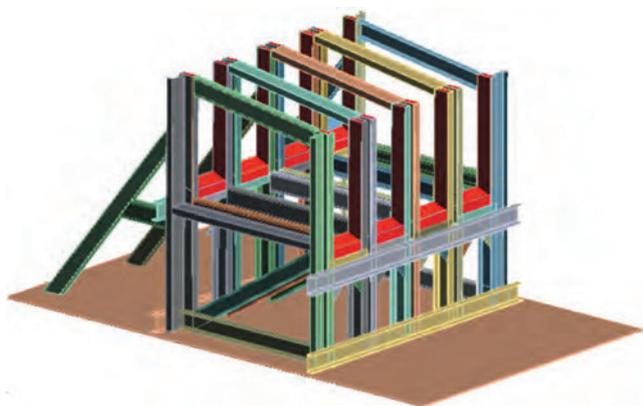


Рис. 4. Позиции деревянных брусков в металлической раме (выделены красным)\*

\* Источник: разработан авторами

Fig. 4. Positions of wooden blocks in the metal frame (highlighted in red)\*  
\* Source: developed by the authors

Моделирование производилось для двух расчетных режимов, соответствующих параметрам нагружения в продольном и поперечном направлениях. Характеристики материалов для изготовления удерживающего устройства приведены в табл. Коэффициент трения между металлическими и деревянными частями конструкции принят равным 0,4. Также учитывались гравитационные силы для элементов конструкции (ускорение свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ), направленные вертикально вниз.

Таблица

Исходные данные для компьютерного моделирования\*

Table

Initial data for computer simulation\*

Элементы конструкции	Материал	Модуль упругости, Па	Коэффициент Пуассона
Металлические швеллеры	Ст3сп (ГОСТ 380-2005)	$200,0 \cdot 10^9$	0,300
Деревянные бруски	сосна (ГОСТ 2695-83)	$9,3 \cdot 10^9$	0,3742

\* Источник: разработаны авторами

\* Source: developed by the authors

Расчеты производились для схемы размещения груза, приведенной на рис. 1. При этом рассматривалось напряженно-деформированное состояние той части конструкции, которая имеет элементы большей длины (на рис. 1 она поддерживает правую часть арочного груза), то есть наименее безопасная с точки зрения прочности. Конструкция, используемая для фиксации четырех единиц арочного груза с другой стороны, (рис. 1, левая часть груза) подобна по числу

и расположению элементов и идентична по используемым материалам.

При определении расчетных значений нагрузок для использования в компьютерной модели учитывались вес груза, продольная, поперечная и вертикальная инерционные силы, ветровая нагрузка и нагрузки от болтов. Расчетная нагрузка на рамную конструкцию в продольном направлении принимается равной 98 кН, в поперечном направлении — 14 кН.

Первый расчетный режим подразумевает сочетание нагрузки от веса груза и сил, действующих на груз в продольном направлении. Схема нагружения приведена на рис. 5. Максимальные эквивалентные напряжения в металлической раме составляют 126,27 МПа (рис. 6) и не превышают предела текучести материала ( $\sigma_T = 400,00 \text{ МПа}$ ), нормальные напряжения в продольном направлении (рис. 7) достигают 119,33 МПа и не превышают допустимого значения ( $[\sigma] = 125,00 \text{ МПа}$ ), максимальные деформации не превышают 1,6 мм (рис. 8).

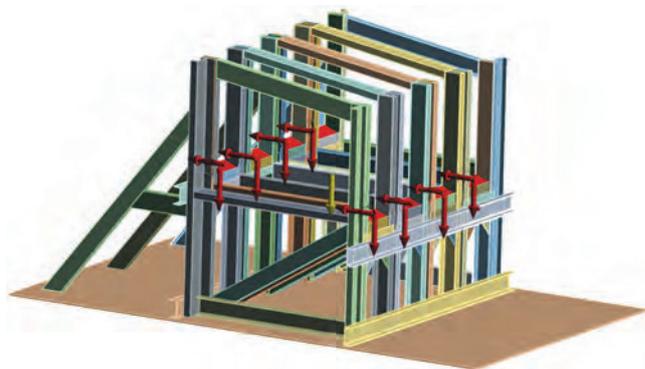


Рис. 5. Расчетная схема для первого режима нагружения\*

\* Источник: разработан авторами

Fig. 5. The calculation scheme for the first loading mode\*

\* Source: developed by the authors

Таким образом, в элементах предлагаемой конструкции имеется значительный запас прочности по эквивалентным напряжениям при воздействии продольных расчетных нагрузок.

Второй расчетный режим подразумевает сочетание нагрузки от веса груза и сил, действующих на груз в поперечном направлении. Схема нагружения рамной конструкции приведена на рис. 9.

Максимальные эквивалентные напряжения в металлической рамной конструкции составляют 121,94 МПа (рис. 10), нормальные напряжения в продольном направлении (рис. 11) достигают 117,69 МПа и не превышают соответствующих допустимых значений. При этом по эквивалентным напряжениям имеется достаточно большой запас прочности. Максимальные деформации составляют 3,3 мм (рис. 12).

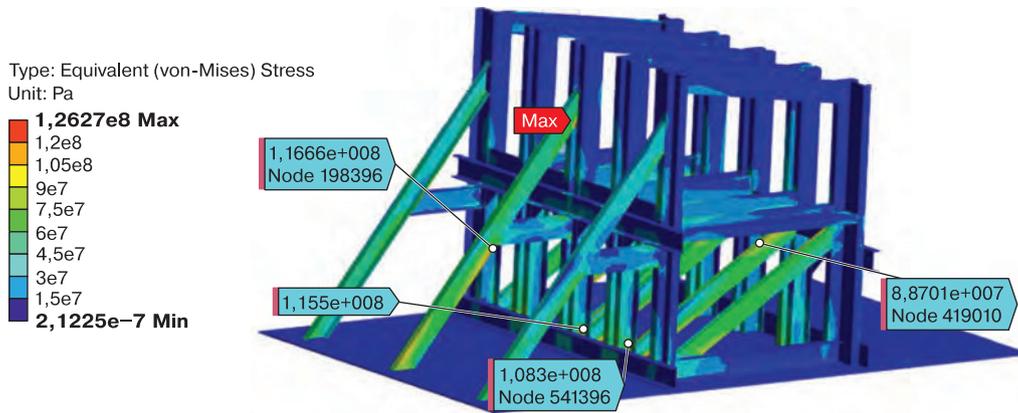


Рис. 6. Результаты расчета эквивалентных напряжений при действии продольных нагрузок\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 6. Calculation results for the equivalent stresses under the longitudinal loads action\*  
\* Source: developed by the authors

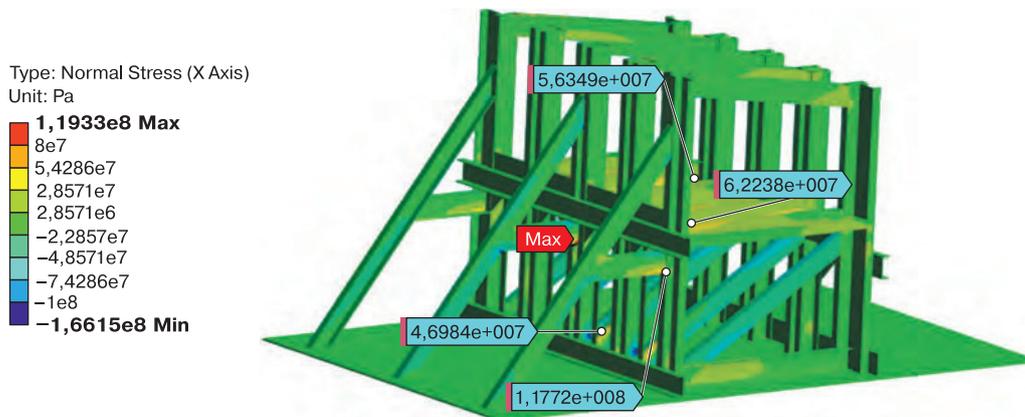


Рис. 7. Результаты расчета нормальных напряжений в продольном направлении при действии продольных нагрузок\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 7. Calculation results for the normal stresses in the longitudinal direction under the longitudinal loads action\*  
\* Source: developed by the authors

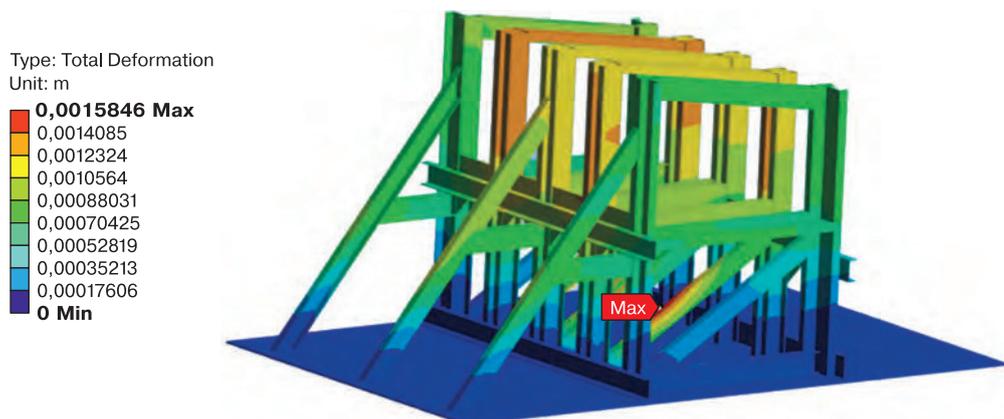


Рис. 8. Результаты расчета деформаций при действии продольных нагрузок\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 8. Calculation results for the deformations under the longitudinal loads action\*  
\* Source: developed by the authors

На основании произведенных расчетов было выполнено размещение и крепление реального арочного груза на транспортере платформенного типа (рис. 13) и осуществлены его перевозки, которые показали надёжность работы крепления. Сохранность груза и безопасность перевозки были обеспечены в полной мере, не было составлено ни одного акта о нарушении сохранности груза (акт общей формы, коммерческий акт).

Таким образом, решение задач по безопасному размещению и креплению грузов на железнодорожном подвижном составе может быть успешно выполнено с применением цифровых технологий.

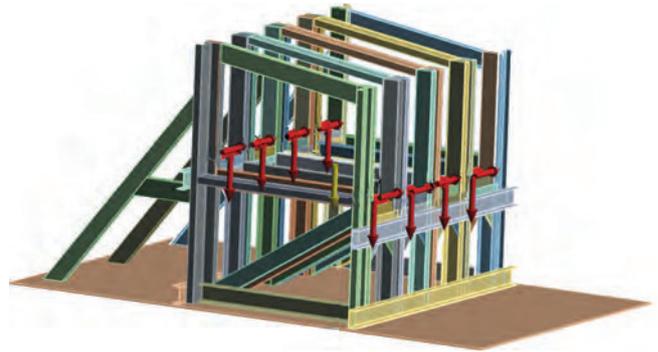


Рис. 9. Расчетная схема для второго режима нагружения\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 9. Calculation scheme for the second loading mode\*  
\* Source: developed by the authors

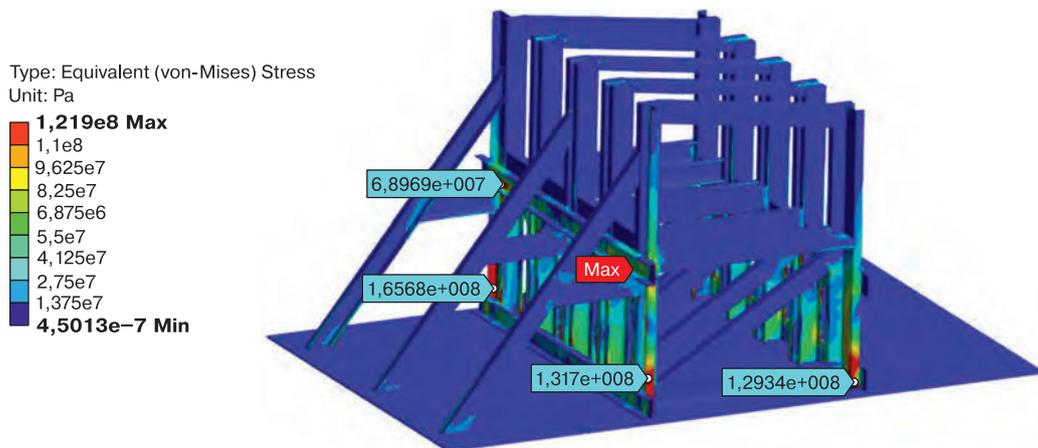


Рис. 10. Результаты расчета эквивалентных напряжений при действии нагрузок в поперечном направлении\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 10. Calculation results for the equivalent stresses under the loads action in the transverse direction\*  
\* Source: developed by the authors

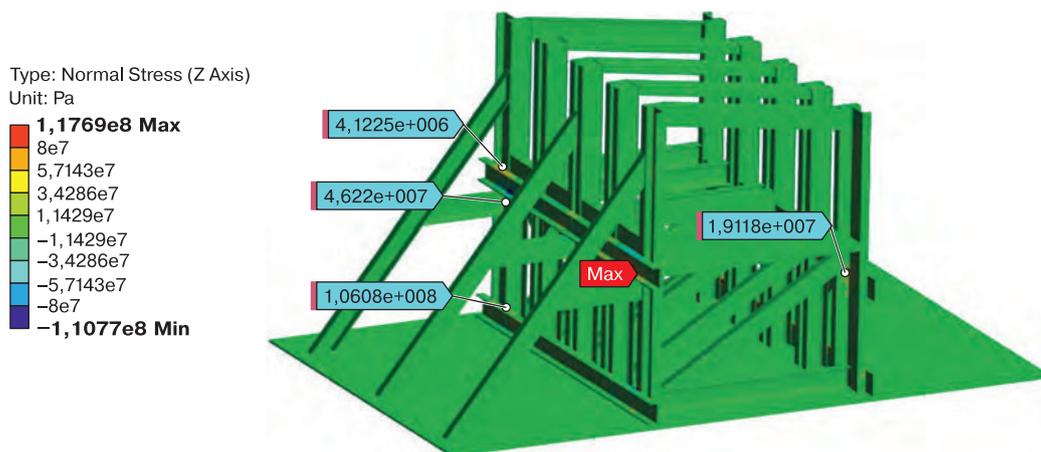


Рис. 11. Результаты расчета нормальных напряжений в поперечном направлении при действии поперечных нагрузок\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 11. Calculation results for the normal stresses in the transverse direction under the transverse loads action\*  
\* Source: developed by the authors

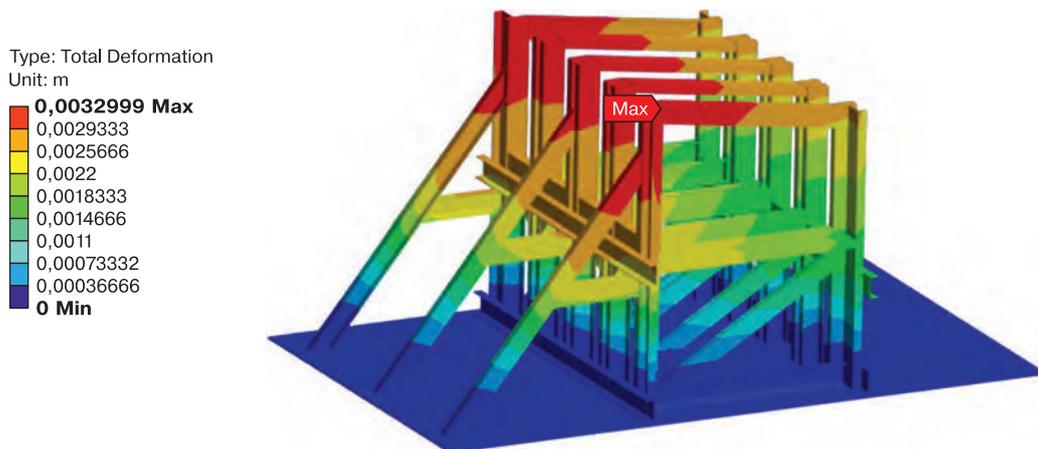


Рис. 12. Результаты расчета деформаций при действии расчетных нагрузок в поперечном направлении\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 12. Calculation results for the deformations under the action of loads in the transverse direction\*  
\* Source: developed by the authors

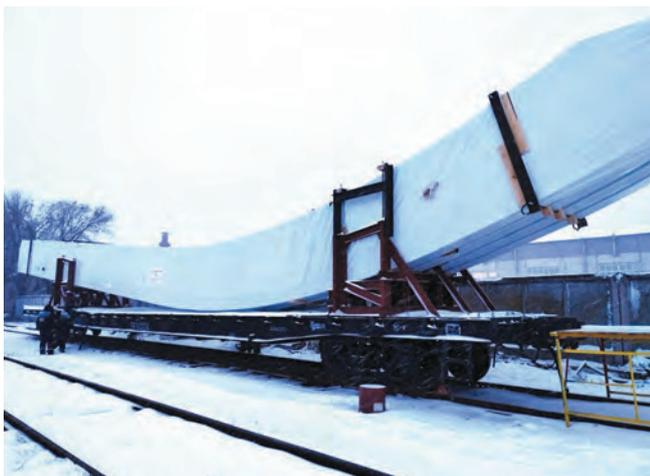


Рис. 13. Арочный груз на транспортере\*  
\* Фото авторов

Fig. 13. The arched goods on the transporter\*  
\* Photo made by the authors

**Обсуждение.** Подобные расчеты возможно производить для конструкций любого типа, однако необходимо учитывать не только прочностные характеристики предлагаемых удерживающих устройств, но и особенности их практического использования. Основными параметрами, которые следует учитывать, являются вес и доступность приобретения и изготовления составных частей устройства, простота установки и фиксации конструкции на подвижном составе и груза внутри нее, недопустимость повреждения пола вагона при эксплуатации устанавливаемого устройства. Использование современных инженерных программных комплексов при условии создания адекватных моделей позволяет производить необходимые расчеты для изменяющихся

параметров конструкций, материала изготовления, характера нагружения элементов устройства, что позволяет достаточно оперативно получить наиболее рациональный вариант конечного изделия без значительных временных затрат.

**Заключение.** Анализ напряженно-деформированного состояния предлагаемой конструкции для размещения и крепления длинномерного арочного груза показал, что максимальные значения эквивалентных напряжений при нагружении расчетными нагрузками в продольном и поперечном направлениях соответственно составляют 126,27 МПа и 121,94 МПа, что не превышает предела текучести материала изготовления рамы ( $\sigma_T = 400,00$  МПа). Таким образом, предлагаемое устройство позволит повысить безопасность процесса транспортировки и сохранности длинномерных грузов сложной формы при перевозке железнодорожным транспортом за счет обеспечения их устойчивости от опрокидывания и поступательных перемещений при движении поезда на прямолинейных и криволинейных участках пути.

Применение цифровых технологий при выполнении расчетов по размещению и креплению грузов позволит подобрать необходимые параметры фиксирующих грузов устройств, оценить их прочность и надежность, а также повысить точность расчетов и сократить материальные затраты на проведение натурных испытаний в случае их необходимости.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

**Acknowledgments:** the authors express gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article.

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

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Козлова Н. С., Власова Н. В. Преимущества и особенности перевозки негабаритных грузов железнодорожным транспортом // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сб. науч. тр. по итогам межд. науч. конф. Санкт-Петербург: 2018. № 5. С. 45–49. EDN: <https://elibrary.ru/nshvpz>.

Kozlova N. S., Vlasova N. V. Advantages and features of transportation of oversized cargo by rail. In: *Actual issues of technical sciences in modern conditions. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference*. Saint-P. 2018;(5):45–49. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/nshvpz>.

2. Macioszek E. Essential techniques for fastening loads in road transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2021;(110): 97–104. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.110.8>.

3. Азиев Я., Ахундова Г., Мамедова У. Особенности перевозки негабаритных грузов автомобильным транспортом // Теория и практика науки: ключевые аспекты: материалы 9-й международной научно-практич. конф. Рим, Италия: 2024. № 42 (189). С. 519–525. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.02.2024.053>.

Azиеv Ya., Akhundova G., Mamedova U. Features of transportation of oversized cargo by road transport. In: *Theory and Practice of Science: Key Aspects: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference*. Rome, Italy: 2024;(42):519–525. (In Russ.). <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.02.2024.053>.

4. Бодрова М. С. Условия развития и тенденции в перевозке негабаритного груза // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2024. № 5. С. 155–161. <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2024-5-5>.

Bodrova M. S. Development conditions and trends in the transportation of oversized cargo. *Humanitarian, socio-economic and social sciences*. 2024;(5):155–161. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2220-2404-2024-5-5>.

5. Туранов Х. Т., Рузметов Я. О., Якушев А. В. О деформируемом состоянии механической системы «Груз-вагон-крепление» // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2019. Т. 16, № 3. С. 455–468. EDN: <https://elibrary.ru/bajarc>.

Turanov H. T., Ruzmetov Ya. O., Yakushev A. V. On deformable state of the “Cargo-wagon-fastening” mechanical system. *Bulletin of the St. Petersburg University of Railway Engineering*. 2019;16(3):455–468. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/bajarc>.

6. Чаганова О. С., Быстренкова Т. И., Меньшова Е. В. Расчет средств крепления строительных грузов на современных вагонах сочлененного типа // Механика. Исследования и инновации. 2020. Вып. 13. С. 159–165. EDN: <https://elibrary.ru/aggkdh>.

Chaganova O. S., Bystrenkova T. I., Menshova E. V. Calculation of means of securing construction cargo on modern articulated cars. *Mekhanika. Researches and innovaions*. 2020;(13):159–165. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/aggkdh>.

7. Gerlici J., Lovska A., Vatulia G., Pavliuchenkov M., Kravchenko O., Solčanský S. Situational Adaptation of the Open Wagon Body to Container Transportation. *Applied Sciences*. 2023; 13(15):8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>.

8. Krasoń W., Niezgodna T., Stankiewicz M. Innovative Project of Prototype Railway Wagon and Intermodal Transport System. *Transportation Research Procedia*. 2016;(14):615–624. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.307>.

9. Антропова А. В., Баталов А. В., Козлов В. В., Лагун А. В. Математическая модель оценивания динамических характеристик транспортировки ракетных блоков железнодорожным транспортом // Труды Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. 2020. № 673. С. 159–168. EDN: <https://elibrary.ru/xcdjhd>.

Antropova A. V., Batalov A. V., Kozlov V. V., Lagun A. V. Mathematical model for assessing the dynamic characteristics of transporting rocket blocks by rail. *Proceedings of the Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky*. 2020;(673):159–168. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/xcdjhd>.

10. Muradian L., Shvets A., Shvets A. Some dynamic processes at longitudinally-transverse shift of the cargo. *Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska*. 2023;(120):187–204. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.120.12>.

11. Васильев С. М. Математическое моделирование динамических воздействий на длинномерные грузы и опорные вагоны // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. 2006. № 1–2(12–13). С. 30–36. EDN: <https://elibrary.ru/yleacn>.

Vasiliev S. M. Mathematical modeling of dynamic impacts on long loads and support cars. *Bulletin of the Belarusian State University of Transport*. 2006;1–2(12–13):30–36. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/yleacn>.

12. Waluś K. J., Olszewski Z., Krawiec P. Tension testing and analysis of cargo lashing straps in road transport. In: *Sustainable environment, development, and energy*. AIP Publishing. 2023;2976(1). <https://doi.org/10.1063/5.0172818>.

13. Giurgiu I. T., Roşca P., Pană I. F. CAD-CAE implementation in cargo securing systems testing. *Proceedings in Manufacturing Systems*. 2014;9(4):239–244.

14. Li M., Wang G., Liu K., Lu Y., Wang J. Experimental and Numerical Analysis of Supporting Forces and Lashing Forces in a Ship Cargo Securing Scheme. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024; 12(1):158. <https://doi.org/10.3390/jmse12010158>.

15. Musayev J., Solonenko V., Zhaut A., Zhunisbekov S., Smailova G., Buzauova T. Research of the operation of the turnstile support-fastening device during the transportation of a long-dimensional heavy load. *Vibroengineering Procedia*. 2023;(49):80-85. <https://doi.org/10.21595/vp.2023.23185>.

16. Васильев С. М., Железняков А. А., Целковикова Л. П. Совершенствование подвижных турникетно-крепёжных устройств с целью установки на современные типы грузовых вагонов // Механика. Исследования и инновации. 2019. Вып. 12. С. 29–34. EDN: <https://elibrary.ru/zrzcnd>.

Vasiliev S. M., Zheleznyakov A. A., Tselkovikova L. P. Improvement of mobile turnstile and fastening devices for their placement on the modern types of cargo cars. *Mechanics. Researches and Innovations*. 2019;(12): 29–34. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/zrzcnd>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Сергей Александрович ПЕТРАЧКОВ,

аспирант, заведующий лабораторией «Грузовая, коммерческая работа и тарифы», Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34), AuthorID: 985077, <https://orcid.org/0009-0006-8993-8346>

### Марина Григорьевна ГЕГЕДЕШ,

канд. техн. наук, доцент, декан машиностроительного факультета, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого (ГГТУ им. П. О. Сухого, 246029, г. Гомель, пр-т. Октября 48); доцент кафедры Техническая физика и теоретическая механика, Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34), AuthorID: 708868, <https://orcid.org/0000-0003-0776-9325>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### Siarhei A. PETRACHKOU,

Postgraduate Student, Head of the Cargo, Commercial Work and Tariffs Laboratory, Belarusian State University of Transport (246653, Gomel, 34 Kirova St.), AuthorID: 985077, <https://orcid.org/0009-0006-8993-8346>

**Maryna G. GEGEDESH,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Dean of the Mechanical Engineering Faculty, Sukhoi State Technical University of Gomel (246029, Gomel, 48, October Ave); Associate Professor of the Technical Physics and Engineering Mechanics Department, Belarusian State University of Transport (246653, Gomel, 34, Kirova St.), AuthorID: 708868, <https://orcid.org/0000-0003-0776-9325>

**ВКЛАД АВТОРОВ**

**Сергей Александрович ПЕТРАЧКОВ.** Подготовка данных, разработка идеи, аналитические расчеты, написание рукописи статьи (50 %).

**Марина Григорьевна ГЕГЕДЕШ.** Разработка компьютерных моделей, подготовка данных для компьютерного моделирования, расчет напряженно-деформированного состояния конструкции, написание и редактирование рукописи статьи (50 %).

**CONTRIBUTION OF THE AUTHORS**

**Siarhei A. PETRACHKOU.** Data preparation, idea development, analytical calculations, article writing (50 %).

**Maryna G. GEGEDESH.** Development of computer models, data preparation for computer modeling, device stress-strain state analysis, follow-on revision of the text (50 %).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

Статья поступила в редакцию 08.08.2024, рецензия от первого рецензента получена 19.08.2024, рецензия от второго рецензента получена 27.11.2024, рецензия от третьего рецензента получена 09.01.2025, принята к публикации 31.01.2025.

The article was submitted 08.08.2024, first review received 19.08.2024, second review received 27.11.2024, third review received 09.01.2025, accepted for publication 31.01.2025.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 697.921.4

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

Научная специальность: 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация



## Разработка устройства управления потоком воздуха для производственных и социальных зданий ОАО «РЖД»

С. Н. Наumenко✉, П. О. Мусерский

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассмотрены возможности снижения затрат на техническую эксплуатацию зданий, как решение одной из целевых задач ОАО «РЖД». За счет использования энергетически эффективных вентиляционных систем нормативные показатели воздушного потока могут быть обеспечены при меньших расходах тепловой и электрической энергии. Рассмотрены автоматизированные системы управления потоком воздуха приточной и вытяжной вентиляции. Анализ принципа действия этих систем позволил разработать опытный образец инновационного устройства и испытать его на различных объектах ОАО «РЖД», при этом достигнув уменьшения энергопотребления.

**Материалы и методы.** Применены методы натурных испытаний вентиляционной системы на стенде для фильтров очистки воздуха, поступающего в помещение пассажирского вагона, и натурных сравнительных испытаний на социальном объекте — здании санатория ОАО «РЖД».

**Результаты.** Научно обоснована целесообразность использования устройств регулирования воздушных потоков вентиляционных систем, сравнительные испытания которых, выполненные на производственных и социальных объектах ОАО «РЖД», по сравнению со штатными режимами работы вентиляции, показали надежную работу и стабильную экономию потребляемой электрической энергии.

**Обсуждение и заключение.** Результаты работы позволяют утверждать, что применение в системах вентиляции производственных и социальных зданий ОАО «РЖД» разработанного опытного образца устройства управления воздушным потоком обеспечит уменьшение потребляемой электроэнергии при сохранении нормированных параметров проходящих в воздуховодах объемов воздуха.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** производственные и социальные здания, система вентиляции зданий, регуляторы потока воздуха, трубка Пито, скорость потока, экономия электроэнергии

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Наumenко С. Н., Мусерский П. О. Разработка устройства управления потоком воздуха для производственных и социальных зданий ОАО «РЖД» // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 1. С. 21–28.

Original article

UDK 697.921.4

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

Scientific specialty: 2.9.3. Railway rolling stock, train traction and electrification



## Development of air flow control device for industrial and social buildings of JSC Russian Railways

Sergey N. Naumenko✉, Prokopi O. Muserskiy

Railway Research Institute,  
Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The authors considered ways of reducing costs of building maintenance as a solution of one of the target tasks of the JSC Russian Railways. The air flow standards may be achieved with lower heat and electricity consumption through the use of energy efficient ventilation systems. Automated systems for controlling the flow of air supply and exhaust ventilation were observed. Analysis of the principle of operation of these systems allowed to develop a prototype of an innovative device and test it on various facilities of JSC Russian Railways, thereby achieving reduction of energy consumption.

**Materials and methods.** Methods of field tests of ventilation system on a stand for filters to purify air entering passenger car space and field comparative tests at sanatorium of JSC Russian Railways were applied.

**Results.** The feasibility of using air flow control devices of ventilation systems, comparative tests of which performed on production and social facilities of JSC Russian Railways, were scientifically proven, demonstrated reliable operation and stable savings in energy consumption, compared to the standard operating modes of ventilation.

**Discussion and conclusion.** The results of the work enable to affirm that application of the developed prototype of the air flow control device in ventilation systems of production and social buildings of JSC Russian Railways would ensure reduction of energy consumption while maintaining normalised parameters of the air volumes passing through the air ducts.

**KEYWORDS:** industrial and social buildings, ventilation systems, air flow regulators, Pitot tube, flow speed, energy saving

**FOR CITATION:** Naumenko S. N., Muserskiy P. O. Development of air flow control device for industrial and social buildings of JSC Russian Railways. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(1):21–28. (In Russ.).

✉ [naumenko.sergey@vniizht.ru](mailto:naumenko.sergey@vniizht.ru) (S.N. Naumenko)

© Naumenko S. N., Muserskiy P. O., 2025

**Введение.** ОАО «РЖД» является крупнейшим владельцем инфраструктуры в России, в том числе зданий различного назначения: производственных, общественных, жилых. От профессиональной технической эксплуатации зданий во многом зависит обеспечение технологических процессов, удовлетворенность внешних и внутренних клиентов, а также оптимальная себестоимость продуктов ОАО «РЖД». Так, по состоянию на начало 2020 года Компания располагала 99,3 тыс. зданий, в совокупных расходах на техническую эксплуатацию которых, в частности, за 2019 год, затраты, относимые на себестоимость перевозок, составили 5,5 % или 83,1 млрд. рублей.

В связи с этим одной из стратегических целей ОАО «РЖД» является уменьшение себестоимости технической эксплуатации зданий до 2030 года на 7 %, в том числе снижение их энергоемкости за счет оптимизации расходов на электрическую и тепловую энергию не менее чем на 10 %<sup>1</sup>.

Известно, что наибольшую часть общих расходов здания занимают эксплуатационные затраты. При этом автоматизация зданий позволяет сократить эксплуатационные затраты по меньшей мере на 20 % [1, 2].

Здесь не лишним будет заметить, что существенная доля энергетических затрат в зданиях приходится на работу устройств вентиляции, состоящей преимущественно из приточных, вытяжных или приточно-вытяжных комбинированных систем. Так, например, приточные системы вентиляции потребляют 50–60 % всей электроэнергии здания [3]. Учитывая, что ОАО «РЖД» является крупнейшим работодателем страны, создающим комфортные условия для труда и отдыха своих работников, переход на экономичные режимы работы вентиляторов позволит достичь ожидаемых результатов в области энергоемкости зданий. Целью исследования является оценка возможности снижения энергоемкости зданий ОАО «РЖД» за счет использования энергетически эффективных вентиляционных систем, позволяющих обеспечивать нормативные показатели воздушного потока.

**Типы автоматизированных систем.** В развитых странах мира широко используются различные типы автоматизированных систем, позволяющих контролировать неизменность показателей воздушного потока или индивидуальные тепло-влажностные параметры вентилируемых помещений. Наиболее распространенные системы — CAV, обеспечивающие постоянный расход подаваемого в помещение воздуха, и более

сложные — VAV, регулирующие переменный расход воздуха для каждого вида помещений<sup>2</sup> [4].

Регуляторы постоянного расхода CAV (Constant Air Volume) появились на отечественном рынке вентиляционного оборудования относительно недавно и во многих компаниях еще только входят в стандартную практику проектирования и сооружения систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Конструктивно регулятор CAV представляет собой автономный механический клапан, который монтируется на участке воздуховода и работает в режиме самобалансировки, причем подключение к внешнему источнику электропитания не требуется [5].

В зависимости от величины давления в воздушной сети регулятор CAV создает дополнительное аэродинамическое сопротивление так, чтобы обеспечить заданный расход воздуха через воздуховод, в котором он установлен. Чем выше давление воздуха в сети перед регулятором, тем больше будет и сопротивление регулятора, и наоборот — при уменьшении давления регулятор снижает свое сопротивление. Механизм самобалансировки при этом обеспечивает постоянный расход воздуха независимо от любых колебаний давления.

Существует целый ряд задач, присущих производственным помещениям ОАО «РЖД», которые просто невозможно реализовать без применения регуляторов CAV, в частности, если требуется обеспечить:

- постоянный расход воздуха на отдельных участках вентиляционной сети независимо от изменения рабочих параметров всей системы;
- стабильную подачу и (или) вытяжку контролируемого объема воздуха в производственных помещениях, в которых требуется гарантированный дебаланс, в том числе для поддержания избыточного давления или разряжения;
- ограничение максимального объема вытяжного воздуха, удаляемого через местные отсосы периодического действия;
- выполнение модернизации отдельной ветви системы вентиляции, не нарушая работы системы в целом.

При всей полезности регуляторов CAV их применение, тем не менее, не позволяет должным образом минимизировать потребление электроэнергии. Для этих целей, как правило, применяют частотные преобразователи (инверторы), характеристики которых настраивают на стабильную работу вентиляционной системы с характерными для нее средними

<sup>1</sup> Об утверждении Стратегии технической эксплуатации зданий и сооружений ОАО «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года: распоряжение ОАО «РЖД» от 22.04.2021. № 896/р. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.02.2025).

<sup>2</sup> Томи Ристимяки. Энергетическая эффективность: Honeywell [Электронный ресурс]. URL: <https://masters.donntu.ru/2017/etf/rozuvanov/library/h-energy-VDF.pdf> (дата обращения: 14.02.2025).

техническими параметрами<sup>3</sup>. В такой системе мотор-вентилятор соединен с преобразователем частоты. Преобразователь контролирует скорость мотор-вентилятора для постоянного поддержания необходимого объема/давления воздуха, передаваемого по системе каналов. Уровень давления контролируется датчиком, осуществляя таким путем обратную связь с преобразователем частоты. В подобных системах экономия электроэнергии достигает 15 % [6].

Широко известны также регуляторы переменного расхода воздуха — VAV (Variable Air Volume)<sup>4</sup>. Основной принцип действия вентиляционной системы с регулятором VAV понятен из рис. 1, где VAV (5) автоматически управляет положением заслонки (6), устанавливаемой для подачи индивидуального объема воздуха в помещение, создавая при этом давление в воздуховоде, значение которого определяется по датчику давления (4) и преобразуется с помощью автоматического регулятора давления (3), оснащенного коммутатором, в эквивалентный электрический сигнал, передающийся частотному преобразователю (2), позволяющему изменять скорость вращения вентилятора, минимизируя таким образом потребляемую мощность двигателя (1) ровно настолько, чтобы давление в воздуховоде вернулось на прежний уровень.

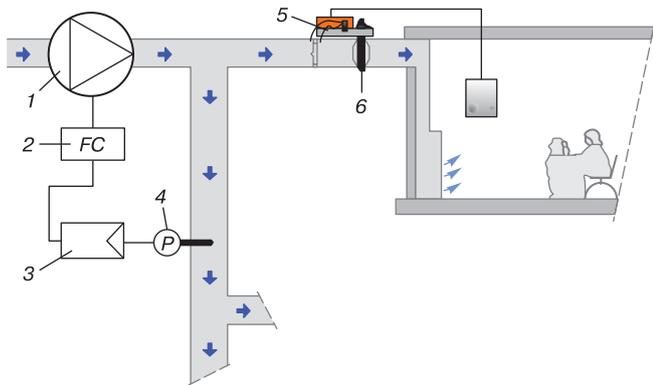


Рис. 1. Схема управления воздушными потоками системы VAV\*:

- 1 — двигатель вентилятора; 2 — частотный преобразователь;  
3 — автоматический регулятор давления; 4 — датчик давления;  
5 — регулятор переменного потока VAV; 6 — заслонка

\* Источник: разработан авторами

Fig. 1. Scheme of VAV air flow control system\*:

- 1 — fan motor, 2 — frequency drive, 3 — automatic pressure controller,  
4 — pressure control device, 5 — VAV variable flow regulator, 6 — valve

\* Source: developed by the authors

Это достаточно сложные и дорогостоящие автоматизированные системы различной иерархии, с помощью которых представляется возможным организовать подачу воздуха по потребности в зависимости, в том числе, от определенных внешних факторов (температура, влажность, CO<sub>2</sub> и пр.) и которые позволяют экономить от 30 % и более потребляемой электроэнергии<sup>5</sup>. Они могут быть интересны для бизнес-центров, номеров гостиниц и т.д., то есть для тех помещений, в которых необходимо гарантированное достижение индивидуальных параметров комфорта [7–10].

Вместе с тем, на предприятиях ОАО «РЖД» производственной или социальной сферы широко востребованными могут стать менее сложные и энергетически эффективные вентиляционные системы, позволяющие обеспечивать нормативные показатели воздушного потока в целом для зданий.

**Материалы и методы.** Оценка известных технических и конструктивных решений, рассмотренных выше, а также CAV и VAV регуляторов позволила определить несколько иные принципы управления потоком воздуха. В частности, используемый в указанных системах в качестве опорного значения датчик давления, настраиваемый на некую среднюю величину, не обладает возможностью фиксировать мгновенные изменения физических параметров поступающего в систему воздуха, а их учет позволяет обеспечить дополнительную экономию энергии.

В связи с этим разработано и предложено новое техническое решение, направленное на повышение надежности и достоверности учета изменений физических параметров воздушного потока, необходимого для поддержания заданного расхода воздуха, пропорционального массовому расходу, что позволяет при сохранении нормированного потока воздуха в большей степени оптимизировать потребление электроэнергии по критерию минимизации энергозатрат<sup>6</sup>.

В процессе работы был разработан и изготовлен опытный образец устройства, условно названный «Поток» (рис. 2).

Устройство управления потоком воздуха содержит преобразователь 2 скорости потока воздуха в напряжение постоянного тока, источник образцового напряжения 3 и дифференциальный усилитель 4 разности двух напряжений постоянного тока, которые размещены в отдельном корпусе 1. Устройство содержит датчик

<sup>3</sup> Системы вентиляции. Пример типового применения ПИ-регулятора: ООО «АРМОС» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.technowell.ru/info/articles/sistemy-ventilyatsii-primer-tipovogo-primeneniya-pi-regulyatora/?ysclid=m3yeiue2ht352483351> (дата обращения: 14.02.2025).

<sup>4</sup> VAV-система: Breezart Shop [сайт]. URL: <https://breezart.shop/about/vav/> (дата обращения: 14.02.2025).

<sup>5</sup> Регуляторы переменного расхода воздуха — энергоэффективная система индивидуального климат-контроля в каждом помещении: Systemair [сайт]. URL: [https://smtrading.ru/upload/goods/nVzee3cxObbL\\_Optima\\_VAV.pdf](https://smtrading.ru/upload/goods/nVzee3cxObbL_Optima_VAV.pdf) (дата обращения: 14.02.2025).

<sup>6</sup> Патент № 2824693 Российская Федерация, МПК F24F 11/63, F24F 7/00. Способ управления потоком воздуха в вентиляционной установке и устройство для его реализации: № 2023118010: заявл. 07.07.2023, опубл. 12.08.2024 / Науменко С.Н., Крылов А.А., Мусерский П.О.; заявитель Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. EDN: <https://elibrary.ru/dazpsi>.

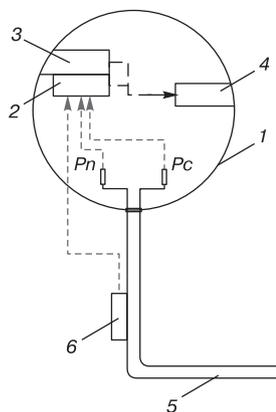


Рис. 2. Схемное решение устройства управления потоком воздуха\*:

1 — корпус устройства; 2 — преобразователь скорости потока воздуха в напряжение; 3 — источник образцового напряжения; 4 — дифференциальный усилитель разности двух напряжений постоянного тока; 5 — датчик динамического давления; 6 — датчик температуры

\* Источник: разработан авторами

Fig. 2. Circuit solution for the air flow controller\*:

1 — body; 2 — air flow rate to voltage converter; 3 — sample voltage source; 4 — differential difference amplifier of two DC voltages; 5 — dynamic pressure sensor; 6 — temperature sensor

\* Source: developed by the authors

динамического давления 5, выполненный в виде напорной трубки Пито, и датчик температуры 6.

Следует заметить, что сегодня на рынке широко представлены цифровые датчики динамического давления<sup>7</sup>, но для опытного образца была использована трубка Пито.

Принцип действия устройства основан на формировании выходного электрического сигнала, связанного линейной зависимостью с массовым расходом воздуха и описываемый выражением:

$$Q_M = \rho \cdot V \cdot S, \quad (1)$$

где  $Q_M$  — массовый расход воздуха, кг/с;  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — средняя скорость потока, м/с;  $S$  — площадь сечения потока, м<sup>2</sup>.

В качестве измерительной информации фиксируются основные параметры потока воздуха вентиляционной системы: температура, общее и статическое давление, определяемые, соответственно, с помощью термометра сопротивления и трубки Пито.

На рис. 3. приведена функциональная схема работы устройства, где  $P_D$  — значение динамического давления, измеряемое с помощью установленной в воздуховоде трубки Пито, мм вод.ст., определяемое как:

$$P_D = P_o - P_c, \quad (2)$$

где  $P_o$  — общее давление;  $P_c$  — статическое давление;  $t$  — значение температуры воздушного потока, измеряемое с помощью термометра сопротивления, °С;  $V = f(P_D; t \text{ °С}) / U_v$  — преобразователь скорости потока воздуха в напряжение постоянного тока (из м/с в В);  $U_{ref}$  — источник образцового напряжения, задающий значение скорости потока воздуха; ДУ — дифференциальный усилитель разности двух напряжений постоянного тока с коэффициентом усиления  $k = 6$ ;  $U/F$  — преобразователь постоянного напряжения в частоту управления и питания асинхронного двигателя вентилятора; Motor — асинхронный двигатель вентилятора.

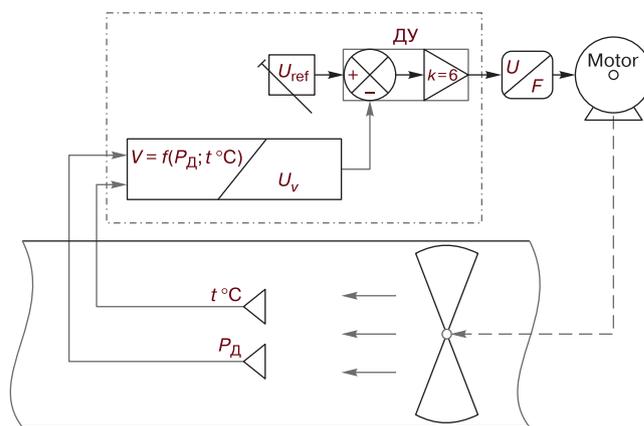


Рис. 3. Функциональная схема работы устройства «Поток»\*

\* Источник: разработан авторами

Fig. 3. Functional scheme of Potok device\*

\* Source: developed by the authors

В опытном образце устройства применен принцип регулирования частоты питающего напряжения двигателя вентилятора при использовании двух параметров: задающего образцового напряжения  $U_{ref}$ , устанавливаемого при его настройке, и выходного напряжения  $U_v$  измерительного канала, создаваемого устройством «Поток». Именно использование принципа регулирования частоты питающего напряжения двигателя вентилятора считается в ОАО «РЖД» одним из перспективных направлений снижения расхода электрической энергии, которое находит все более широкое применение<sup>8</sup>.

Поскольку воздух в вентилируемом помещении летом охлаждается, а зимой подогревается, в «Поток» предусмотрена функция регулирования изменения плотности воздуха  $\rho$  от его температуры  $t^\circ$ , выраженная как  $(273 + t^\circ) / 293$ . Эта функция при расчете скорости воздушного потока учитывает приведение

<sup>7</sup> Датчики динамического давления: АО «Теплоприбор» [сайт]. URL: <https://xn--90ahjlpccejdjdm.xn--p1ai/catalog/datchiki-dinamicheskogo-davleniya-zet-315-zet-801-802-803/?ysclid=m3zp34wo06761944163> (дата обращения: 14.02.2025).

<sup>8</sup> Об утверждении Энергетической стратегии холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года: Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.12.2016. № 2537р [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 14.02.2025).

объёмного расхода холодного или горячего воздуха к нормальной температуре 20 °С.

Измерительный канал устройства позволяет формировать сигнал, стабилизирующий массовый расход воздушного потока, плотность которого изменяется в зависимости от температуры.

За счет уменьшения колебаний скорости потока воздуха, которые в результате приводят к снижению энергопотребления, что можно увидеть на рис. 4, устройство позволяет поддерживать заданные параметры микроклимата.



Рис. 4. Колебания скорости потока воздуха в различных системах\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 4. Air flow speed fluctuations in different systems\*  
\* Source: developed by the authors

**Результаты.** Для апробации работы устройства был выбран следующий пилотный объект: стенд для испытания фильтров очистки воздуха, поступающего в помещение пассажирского вагона<sup>9</sup>. Стенд содержал приточный вентилятор с параметрами заявленной мощности  $N_{дв} = 4$  кВт, силой тока  $I = 8,5$  А и числом оборотов двигателя  $n = 2800$  об/мин. Для проведения испытаний стенд был дополнительно оборудован частотным преобразователем Emotron FDU 2.0. В соответствии с программой испытаний первый этап включал в себя исследование работы вентиляционной системы в штатном исполнении, при этом на стенде последовательно моделировались режимы движения вагона (1–3) со скоростями 0, 50 и 100 км/ч соответственно. Цифровым анемометром Актакот АТЕ-1034 измерялись параметры скорости потока воздуха в нагнетательном воздуховоде, а штатным ваттметром — потребляемая вентилятором мощность на каждом режиме моделируемой скорости.

На втором этапе испытания в нагнетательный воздухопровод был врезан опытный образец устройства «Поток», соединенный каналом связи с частотным

преобразователем Emotron FDU 2.0, и в течение трех суток проведены аналогичные измерения.

Результаты сравнительных испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнительных испытаний работы вентиляционной системы на стенде\*

Table 1

Comparative results of ventilation system on test bench\*

№ п/п	Частота вращения, Гц	Мощность двигателя вентилятора, кВт · ч	Скорость потока на линии нагнетания: мин.—макс., м/с	Режим моделирования движения вагона
Штатное исполнение стенда				
1	50	4,19–4,22	2,09–2,18	1
2	50	4,15–4,18	2,32–2,42	2
3	50	4,10–4,12	2,33–2,50	3
Штатное исполнение стенда с устройством «Поток»				
1	46,0–46,2	3,25–3,27	2,00–2,22	1
2	45,7–46,0	3,29–3,31	2,22–2,28	2
3	45,3–45,8	3,26–3,28	2,15–2,30	3

\* Источник: данные авторов  
\* Source: authors data

В соответствии с программой испытаний были получены следующие результаты:

- потребляемая мощность двигателем вентилятора по штатному счетчику составила 4,7 кВт · ч.;
- потребляемая мощность двигателем вентилятора по штатному счетчику после установки устройства «Поток» составила 3,3 кВт · ч.

На основании полученных результатов был определен экономический эффект относительно работы системы вентиляции по штатной схеме управления потоком воздуха, в среднем равный 29 %.

Поиск пилотного объекта в одном из производственных зданий ОАО «РЖД» показал, что установленные в них вентиляционные системы практически не оборудованы частотными преобразователями, а расход воздуха контролируется традиционным образом — с помощью дросселей, клапанов или заслонок. В этом случае объемный расход воздуха регулируется без изменения скорости вращения двигателя, и последний все время работает на полной скорости. Поскольку в системах вентиляции необходимость в максимальных объемных расходах воздуха возникает достаточно редко, то при отсутствии регулирования скорости вращения ротора тратится большое количество энергии.

<sup>9</sup> Стенд испытания фильтров очистки воздуха, поступающего в вагон. Рабочая документация 0420.01.08.000СО. Принципиальные схемы и схемы соединений. Щиты управления: ПКБ филиал ФГУП ВНИИЖТ РФ, 2010.

Экспертная оценка показала, что вентиляционные системы более полно оснащены частотными преобразователями в зданиях, предназначенных для отдыха работников Компании, в связи с чем вторым пилотным объектом стал санаторий с лечением «Березовая роща» Дирекции социальной сферы Московской железной дороги, расположенный в п. Аксаково Московской области.

Сравнительные испытания проводились в марте 2020 г. в главном корпусе санатория в течение трех суток. В качестве объекта испытаний был выбран приточный вентилятор с параметрами заявленной мощности  $N_{\text{дв}} = 3$  кВт, силой тока  $I = 6,3$  А и частотой вращения двигателя  $n = 1420$  об/мин.

Целью проведения испытаний являлось практическое подтверждение результатов уменьшения энергопотребления приточного вентилятора при управлении воздушным напором с помощью устройства «Поток» с сохранением фактической производительности. Результаты сравнительных испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сравнительных испытаний вентиляционной системы в санатории «Березовая роща»\*

Table 2

Comparative test results of ventilation system in the Berezovaya Rocha sanatorium\*

Режимы испытаний	Скорость потока воздуха, м/с	Температура наружного воздуха, °С	Потребляемая мощность двигателя, кВт·ч	Экономический эффект по активной энергии, %
Штатный режим работы вентилятора	1,4–2,2	–2	2,20	–
Штатный режим работы вентилятора с устройством «Поток»	1,5–2,1	–2	1,58	28

\* Источник: данные авторов

\* Source: authors data

В результате проведения испытаний было зафиксировано уменьшение энергопотребления приточного вентилятора по активной энергии.

Описанный выше способ управления потоком воздуха и устройство для его реализации анонсировались в г. Макао (Китайская Народная Республика) на международной выставке изобретений и инноваций, прошедшей в октябре 2024 года. По ее результатам инновации отмечены серебряной медалью<sup>10</sup>.

**Обсуждение и заключение.** Применение в системах вентиляции производственных и социальных зданий ОАО «РЖД» разработанного устройства «Поток» позволяет достичь уменьшения потребления электроэнергии при сохранении заданной скорости воздушного потока.

Использование устройств регулирования потока воздуха, реализующих разработанный способ, позволит существенно сэкономить затраты ОАО «РЖД» при его применении в системах вентиляции производственных и социально значимых зданий, увеличив при этом производительность труда работников Компании за счет создания заданных комфортных условий для труда и отдыха.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

**Acknowledgments:** the authors express gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеет 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

- Бернстин Р. Полное управление зданием и его влияние на энергосбережение // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. № 4. С. 72–76.
- Bernstin R. Complete building management and its impact on energy conservation. *AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building thermal physics*. 2008;(8):72–76. (In Russ.).
- Матросов Ю.А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути ее решения. М.: НИИСФ, 2008. 495 с. EDN: <https://elibrary.ru/qnntsf>.
- Matrosov Yu. A. *Energy saving in buildings*. The problem and ways to solve it. Moscow: NIISF; 2008. 495 p. (In Russ.).
- Ватин Н.И., Смотракова М.В. Технико-экономическое обоснование применения систем вентиляции с роторной рекуперацией тепла // ГОУВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Инженерно-строительный факультет, кафедра технологии, организации и экономики строительства, Изд-во СПбОДЗПП, 2003 г., 75 с.
- Vatin N. I., Smotrakova M. V. Feasibility study of the use of ventilation systems with rotary heat recovery. *St. Petersburg State Polytechnic University, Faculty of Civil Engineering, Department of Technology, Organization and Economics of Construction*. St-Pet.: SPbODZPP Publ.; 2003. 75 p. (In Russ.).
- Волков В.А. Регуляторы переменного расхода CAV [Электронный ресурс] // Мир климата. 2020. № 115. (дата обращения: 14.02.2025).
- Volkov V. A. Constant flow regulators CAV. *Climate World Magazine*. 2020;115. (In Russ.).
- Вильданов Р.Г., Вагапов М.Р., Фарваев И.Р. Разработка мероприятий по энергосбережению в системах промышленной

<sup>10</sup> Изобретатели России и Китая укрепляют сотрудничество. [Электронный ресурс]. URL: <http://салон-архимед.рф/2024/mao-2024-summary> (дата обращения: 14.02.2025).

вентиляции // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. EDN: <https://elibrary.ru/vidyvh>.

Vildanov R. G., Vagapov M. R., Farvaev I. R. Development of energy saving measures in industrial ventilation systems. *Modern problems of science and education*. 2015;1-1. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vidyvh>.

6. Вентиляция с переменным расходом воздуха для офисных зданий / А.Л. Наумов, Д.В. Капко // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. № 8. С. 16–21. EDN: <https://elibrary.ru/phgltl>.

Naumov A. L., Kapko D. V. Ventilation with variable air flow for office buildings. *AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building thermal physics*. 2008;(8):16–21. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/phgltl>.

7. Lawrence T. Системы вентиляции, регулируемые по уровню потребности // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2005. № 5. С. 52–62.

Lawrence T. Ventilation systems, adjustable according to the level of demand. *AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building thermal physics*. 2005;(5):52–62. (In Russ.).

8. Warden D. Регулирование расхода приточного воздуха по концентрации CO<sub>2</sub> // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2005. № 2. С. 72–81.

Warden D. Regulation of supply air flow by CO<sub>2</sub> concentration. *AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building thermal physics*. 2005;(2):72–81. (In Russ.).

9. Кувшинов Ю. Я., Ткаченко Н. В. Прерывистый режим работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2011. № 5. С. 26–29. EDN: <https://elibrary.ru/nwgbst>.

Kuvshinov Yu. Ya., Tkachenko N. V. Intermittent operation of ventilation and air conditioning systems. *AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building thermal physics*. 2011;(5):26–29. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/nwgbst>.

10. Оценка экономической эффективности применения систем вентиляции / Ш. Г. Хачалов [и др.] // Экономика и предпринимательство. 2023. № 7 (156). С. 1084–1087. EDN: <https://www.elibrary.ru/ddhlu>.

Khachalov S. G., Ivanov O. D., Zaitsev R. I., Katunina A. I., Iliassov D. R., Prikhozhaev A. I., Polozova M. V., Myznikov K. O. Evaluation of the economic efficiency of the application of ventilation systems. *Economics and entrepreneurship*. 2023;7(256):1084–1087. (In Russ.) EDN: <https://www.elibrary.ru/ddhlu>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Сергей Николаевич НАУМЕНКО,**

д-р техн. наук, эксперт, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, стр. 1.), AuthorID: 722006, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

### **Прокопий Олегович МУСЕРСКИЙ,**

руководитель проектов, Научный центр «Электрификация и теплоэнергетика», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, стр. 1.), AuthorID: 1147285, <https://orcid.org/0000-0001-6038-3435>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Sergey N. NAUMENKO,**

Dr. Sci. (Eng.), Expert, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, bldg. 1, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 722006, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

### **Prokopi O. MUSERSKIY,**

Project Manager, Electrification and Thermal Power Engineering Researcher Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, bldg. 1, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 1147285, <https://orcid.org/0000-0001-6038-3435>

## ВКЛАД АВТОРОВ

**Сергей Николаевич НАУМЕНКО.** Обоснование направления исследования, формулировка цели и задач. Написание статьи, формирование выводов и предложений (50 %).

**Прокопий Олегович МУСЕРСКИЙ.** Обзор основных направлений исследований, сбор и структурирование методики проведения испытаний, расчет зависимостей и обработка результатов (50 %).

## CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Sergey N. NAUMENKO.** Justification of the direction of the study, goals and objectives formulation. Article writing, forming conclusions and proposals (50 %).

**Prokopi O. MUSERSKIY.** Review of the main research areas, collection and structuring of test methodology, calculation of dependencies and results processing (50 %).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

Статья поступила в редакцию 21.11.2024, рецензия от первого рецензента получена 27.11.2024, рецензия от второго рецензента получена 13.12.2024, принята к публикации 11.02.2025.

The article was submitted 21.11.2024, first review received 27.11.2024, second review received 13.12.2024, accepted for publication 11.02.2025.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 625.151

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

Научная специальность: 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог



## Проектирование геометрии стрелочных кривых

Д. С. Ершов✉

Муромский стрелочный завод (АО «МСЗ»),  
Муром, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Помимо обеспечения надёжности и безопасности особое внимание при разработке конструкции стрелочных устройств должно быть уделено удовлетворению требований к скорости движения железнодорожного подвижного состава на ответственных направлениях. Конструктивные решения стрелочного хозяйства определяются показателями динамики подвижного состава при движении железнодорожных экипажей по пути. По мнению автора, методы проектирования стрелочных кривых не отвечают современным требованиям к скорости подвижного состава. Целью данной статьи является разработка новых подходов к проектированию стрелочных кривых.

**Материалы и методы.** Используются методы анализа динамико-кинематических параметров стрелочных кривых, применяемых в конструкциях стрелочных переводов. При проведении испытаний стрелочных переводов применены тензометрические методы получения исследуемых параметров.

**Результаты.** Выполнен анализ методов проектирования стрелочных кривых. Выполнены эксплуатационные испытания стрелочного перевода с улучшенными динамико-кинематическими характеристиками. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности усовершенствования методики проектирования стрелочных кривых, эффективности применения геометрических схем стрелочных переводов с касательной геометрией.

**Обсуждение и заключение.** Сравнительные эксплуатационные испытания стрелочных переводов с предлагаемыми в работе касательной и секущей формами стрелочной кривой показывают, что срок службы криволинейных острьяков увеличился. Целесообразно провести аналогичные испытания и с другими марками стрелочных переводов. Учитывая результаты испытаний и расчетов, следующим этапом планируется рассмотреть вопрос по корректировке методик проектирования стрелочной продукции, в особенности для высокоскоростного движения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стрелочные переводы, геометрия рельсовой колеи, динамико-кинематические показатели, виды геометрических схем, касательная геометрия, методы проектирования стрелочных кривых, проект стрелочного перевода

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Ершов Д. С. Проектирование геометрии стрелочных кривых // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 1. С. 29–41.



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 625.151

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

Scientific specialty 2.9.2. Railway track, survey and design of railways



## Design of switch curves geometry

Denis S. Ershov✉

Murom Switch Plant,  
Murom, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** In addition to ensuring reliability and safety, special attention should be paid to meeting the speed requirements of railway rolling stock in main lines in designing switch devices. Constructive solutions of switch facilities are determined by indicators of the dynamics of rolling stock when railway crews move along the track. According to the author, the design methods of switch curves do not meet modern speed requirements of rolling stock. The purpose of this article is to develop new approaches to the design of switch curves.

**Materials and methods.** The author applied analysis method of dynamic and kinematic parameters of applied switch curves used in turnout switches constructions. Tensometric methods of the investigated parameters of turnout switches are obtained.

**Results.** The analysis of turnout switch design methods is performed. Operational tests of the turnout switch with improved dynamic and kinematic characteristics were performed. The obtained results indicate the expediency of improving the design methodology of switch curves, the effectiveness of using geometric schemes of switch switches with tangential geometry.

**Discussion and conclusion.** Comparative operational tests of turnout switches with the tangential and secant shapes of the switch curve proposed in the article show that the service life of the curved contact tongues increased. It is relevant to conduct similar tests with other types of turnout switches. Considering the results of tests and calculations, the next stage is planned to address the issue of adjusting the design methods of turnout switches products, especially for high-speed traffic.

**KEYWORDS:** turnout switches, rail track geometry, dynamic and kinematic parameters, types of geometric schemes, tangential geometry, switch curves design methods, turnout switch design

**FOR CITATION:** Ershov D. S. Design of switch curves geometry. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(1):29–41. (In Russ.).

✉ [denis-fiolent@bk.ru](mailto:denis-fiolent@bk.ru) (D. S. Ershov)

© Ershov D. S., 2025

**Введение.** Стрелочное хозяйство каждого вида рельсового транспорта имеет важнейшее значение по влиянию на пропускную способность линий и затраты на устройство и содержание железнодорожного пути. Эффективность геометрии стрелочных переводов также оказывает значительное влияние как на технические, так и на экономические показатели железных дорог<sup>1</sup>.

Анализ развития стрелочного хозяйства показывает, что кроме обязательного повышения надежности и безопасности особое внимание следует уделять вопросам скоростей движения подвижного состава на ответвленное направление и уменьшения затрат на обслуживание стрелочных переводов [1, 2]. Конструктивные решения, обеспечивающие выполнение требований безопасности движения подвижного состава и уровня плавности хода, определяются показателями динамики и кинематики движения железнодорожных экипажей по пути.

Стрелочные переводы в силу особенностей своей конструкции и назначения не позволяют использовать большинство из технических решений, применяемых для прямых и криволинейных участков перегонных путей. Основными отличиями геометрии рельсовой колеи стрелочных переводов от пути на перегонах и станциях являются:

- отсутствие переходных кривых;
- скачкообразные переходы от прямых участков к криволинейным;
- наличие угла в плане в месте расположения острия острия (начальный стрелочный угол);
- скачкообразное изменение радиуса кривой без переходного участка;
- наличие углов «доворота» в местах изменения кривизны кривой или перехода от кривой к прямой;
- конструктивное местное уширение колеи для укрытия острия острия, предотвращающего вкатывание колес с неблагоприятной формой рабочей поверхности на острия [3];
- наличие вертикальной неровности в зоне перекатывания колес с острия на рамный рельс и обратно;
- отсутствие возвышения наружного рельса [4];
- наличие элементов, направляющих движение колесных пар (контррельсов);
- требования к взаимному положению острия и рамных рельсов на стрелке;
- требования к взаимному положению контррельсов и элементов крестовины (усовиков, сердечника);
- отсутствие подуклонки рельсовых нитей (у целого ряда конструкций стрелочных переводов).

В силу этих особенностей методики проектирования геометрии пути на стрелочных переводах существенным образом отличаются от методик проектирования геометрии перегонных путей.

Характеристики стрелочных переводов для российских железных дорог непосредственно связаны с соблюдением динамико-кинематических параметров движения подвижного состава. Современные стрелочные переводы должны быть спроектированы удовлетворяющими следующим динамико-кинематическим характеристикам:

- внезапно появляющееся ускорение при входе на боковой путь стрелочного перевода не более  $J_0 = 0,640 \text{ м/с}^2$ ;
- скорость нарастания ускорения вагона при входе на боковой путь стрелочного перевода не более  $\psi = 0,800 \text{ м/с}^3$ ;
- непогашенное центробежное ускорение при движении по переводной кривой не более  $\gamma_0 = 0,690 \text{ м/с}^2$  (фактические значения для марок крестовины: 1/9 —  $0,620 \text{ м/с}^2$ ; 1/11 —  $0,640 \text{ м/с}^2$ ; 1/18 —  $0,513 \text{ м/с}^2$ ; 1/22 —  $0,690 \text{ м/с}^2$ );
- величина (условная), характеризующая изменение кинетической энергии при ударе (набегании) колеса на острия не более  $W_0 = 0,225 \text{ м/с}^2$ .

Величины этих характеристик были определены экспериментальным путем и нормированы в процессе испытаний стрелочной продукции с учетом функционального состояния и работоспособности локомотивных бригад, воздействия на пассажиров и грузы, динамических эффектов, возникающих в стрелочных переводах и подвижном составе при скорости движения до 40–50 км/ч. Они неоднократно перепроверены и подтверждены многолетним опытом эксплуатационной работы стрелочных переводов на отечественных железных дорогах.

В соответствии с указанными параметрами, а также с учетом требований взаимозаменяемости (если они есть) проектируются новые геометрические схемы стрелочных переводов, рассчитанные на более высокую скорость.

При проектировании новых стрелочных кривых применяются различные технические решения, при этом могут использоваться две основные концепции.

#### **Нормирование нескомпенсированного ускорения.**

При движении по кривым возникает центробежное ускорение, зависящее от скорости и радиуса кривой. Для компенсации вызываемых им сил в кривых устраивается возвышение наружного рельса. В стрелочной кривой, в связи с особенностью конструкции стрелочного перевода, возвышение не устраивается.

<sup>1</sup> Стратегия развития холдинга «РЖД» до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. советом директоров ОАО «РЖД» (протокол № 19 от 23 декабря 2013 года). URL: [https://ar2020.rzd.ru/pdf/ar/ru/strategic-report\\_strategy.pdf](https://ar2020.rzd.ru/pdf/ar/ru/strategic-report_strategy.pdf) (дата обращения: 18.02.2025).

<sup>2</sup> Железнодорожный путь: [Учебник для вузов ж.д. транспорта] / Г. М. Шахунянц. М.: Трансжелдориздат, 1961. 615 с.

Нескомпенсированная часть ускорения может выражаться в виде недостатка возвышения [5]. Величину радиуса входа на стрелочную кривую  $R_0$ , м, исходя из допустимой величины недостатка возвышения можно определить из выражения

$$R_0 = \frac{12,5v_{\max}^2}{H}, \quad (1)$$

где  $v_{\max}$  — максимальная скорость движения, км/ч;  $H$  — допустимая величина недостатка возвышения, мм.

Рассмотрим конструкцию таких стрелочных кривых. Вход на стрелочную кривую в пределах зоны набегания колес на остряк выполняется постоянным радиусом, определяемым по формуле (1). Начальный стрелочный угол и угол удара колес в криволинейный остряк определяется исходя из нормируемых величин потери кинетической энергии и внезапно появляющегося ускорения по обычным методикам. Радиус  $R$  является минимальным<sup>3</sup>.

За пределами зоны набегания колес на криволинейный остряк радиус стрелочной кривой плавно увеличивается до величины, определяемой заданной в проекте скорости движения по ответвлению. Интенсивность изменения радиуса стрелочной кривой эквивалентна интенсивности отвода возвышения наружного рельса. Отвод, как правило, производится с изменением кривизны по кубической параболе или клотоиде.

Интенсивность отвода эквивалентна интенсивности возвышения наружного рельса<sup>4</sup>. На линиях французских железных дорог (SNCF) принята величина изменения недостатка возвышения  $\Delta i$  от времени  $\Delta t$  или скорости подъема колес на возвышение  $\Delta i/\Delta t = 30$  мм/с.

Исходя из допустимой величины этого показателя длина отвода  $L$ , м определяется по формуле<sup>4</sup>:

$$L = H v_{\max}/(\Delta i/\Delta t). \quad (2)$$

**Нормирование кинематических параметров движущегося экипажа.** Расчетные зависимости стрелочной кривой в соответствии с заданными динамико-кинематическими требованиями имеют следующий вид.

Радиус криволинейного остряка не менее

$$R'_0 = \frac{V_{\text{бок}}^2}{j_0}, \quad (3)$$

где  $R'_0$  — радиус остряка в зоне набегания колеса, м;  $V_{\text{бок}}$  — скорость движения экипажа на ответвленное направление, м/с;  $j_0$  — допустимая величина вне-

запно появляющегося непогашенного центрбежного ускорения, м/с<sup>2</sup>.

Начальный стрелочный угол и угол удара в остряк при входе на стрелку составляет не более

$$\beta_n \leq \arcsin \left[ \frac{1}{V_{\text{бок}}} \sqrt{W_0^2 - 2\delta_{\max} j_0} \right]; \quad (4)$$

$$\beta_y \leq \arcsin \left[ \frac{W}{V_{\text{бок}}} \right],$$

где  $\beta_n$  — начальный стрелочный угол стрелочной кривой (без учета подстройки остряка для укрытия остряка), градус;  $\beta_y$  — угол набегания колеса на остряк в расчетном сечении, градус;  $\delta_{\max}$  — наибольший расчетный зазор колеса относительно рамного рельса при входе на стрелку, мм.

Радиус основной части стрелочной кривой

$$R_0 \geq \frac{V_{\text{бок}}^2}{\gamma_0}, \quad (5)$$

где  $R$  — радиус кривой, м.

Из указанных соотношений возможно определить основные параметры геометрической схемы проектируемого стрелочного перевода:

- радиус криволинейного остряка (начальный радиус);
- радиус переводной кривой;
- начальный стрелочный угол.

Начальный радиус и радиус переводной кривой зависят от скорости движения и допустимой величины непогашенного и внезапно возникающего при набегании колеса на остряк ускорения. Начальный стрелочный угол напрямую зависит от величины, характеризующей потерю кинетической энергии. Этот показатель призван ограничить угол, под которым колесо будет наезжать на криволинейный остряк [6].

В целом, соотношения (3)–(5) позволяют проектировать кривизну стрелочной кривой, соответствующую движению по ней точечного экипажа, однако при практическом определении параметров нужно учитывать, что элементом, воспринимающим закругления пути, является не точечный объект, а база экипажа.

Анализ практических реализаций действующей в настоящее время методики проектирования показывает, что она отвечает задачам выработки технических решений при невысоких скоростях движения до 50 км/ч на ответвление, но обладает рядом недостатков, которые следует учесть при детальной обработке

<sup>3</sup> Проектирование скоростных стрелочных переводов: памятка ОСЖД Р 752/3. Варшава, 2003. 13 с.

<sup>4</sup> Там же.

метода проектирования стрелочных кривых для более высоких скоростей.

Таким образом, соотношения (3)–(5) рассматривают вход экипажа на стрелочную кривую только как процесс набегания направляющих колес колесных пар на остряк. Это справедливо, если рассматривать экипаж как точечный объект.

Если рассматривать движение экипажа как протяженного объекта, имеющего жесткую базу, то очевидно, что помимо набегания направляющего колеса на остряк и возникновения при этом изменения кинетической энергии при входе экипажа на стрелочную кривую возникает нестационарный процесс, сопровождающийся изменением центростремительного ускорения от исходной величины (до входа в кривую) до величины непогашенного ускорения, соответствующего движению всего экипажа по стрелочной кривой [7]. Скорость изменения ускорений при движении по этой части кривой не анализируется.

Скорость изменения ускорения при входе жесткой базы экипажа на стрелку определяется соотношением

$$\psi = \frac{V^3}{Rd}, \quad (6)$$

где  $\psi$  — скорость изменения ускорения,  $\text{м/с}^3$ ;  $d$  — длина жесткой базы расчетного экипажа,  $\text{м}$ ;  $V$  — скорость движения экипажа,  $\text{м/с}$ .

При этом угол поворота стрелочной кривой до места установки на ней базы экипажа (участок нестационарного движения) уже не может быть местом удара колес в остряк. То есть этот угол нельзя идентифицировать с углом удара — смысл нормирования динамики входа на стрелку по углу удара в данной методике теряется.

Важнейшим фактором является также то, что траектория движения базы экипажа при входе на стрелку может быть различной. Причем, задняя точка базы экипажа может смещаться в зависимости от конкретных отношений размеров и скорости движения, как в сторону рамного рельса, так и от него.

Теоретический анализ кинематики движения базы экипажа после набегания его на остряк возможен, однако следует иметь в виду, что фактическое движение экипажа зависит еще и от силового взаимодействия с путем и соседними по поезду экипажами [8].

Скорость изменения ускорения оказывает существенное влияние на геометрию стрелочных кривых при скоростях движения, превышающих  $80 \text{ км/ч}$ , и движении по сочетаниям стрелочных переводов [9, 10]. В связи с изложенным, целесообразно при проектировании остряков для высокоскоростных стрелочных переводов и съездов сохранить принятое

в России нормирование величин внезапно появляющегося ускорения удара в остряк, дополнив этими показателями критерии проектирования по скорости изменения ускорения. Это позволит контролировать геометрию остряка на участке от остря до сечения  $30 \text{ мм}$ . Имеет смысл использовать также контроль средней скорости нарастания ускорения на участке входа базы экипажа в стрелочную кривую, принятый за рубежом.

Спроектированные таким образом остряки будут одновременно удовлетворять всем требованиям российских и зарубежных методик проектирования.

Кроме требований кинематики и динамики геометрии остряков должна обеспечивать возможность их изготовления при минимальных дополнительных затратах на реконструкцию оборудования заводов-изготовителей стрелочных переводов и остряковых спецпрофилей. Выполнение этих требований достигается применением различных конструктивных решений.

В применяемых в настоящее время стрелочных переводах используются разные варианты геометрии остряков. Наиболее распространены остряки, выполненные по одной из следующих схем:

- остряки с постоянной или скачкообразной изменяющейся кривизной, однорадиусные (рис. 1, а), двухрадиусные (рис. 1, б);

Обозначения на рис. 1–4:  $x_0$  — длина остряка (строганой части);  $l_{\text{п}}$  — длина поворотной части (поворачивающаяся часть остряка с полным профилем);  $y_{\text{п}}$  — ордината в начале поворотной части (в корне);  $y_{\text{и}}$  — ордината упорной нити бокового пути в месте изменения радиуса;  $l$  — длина переводной кривой;  $l_{\text{и}}$  — длина упорной нити бокового пути до места изменения радиуса;  $R_{\text{вх}}$  — радиус на входе на стрелку;  $R_0$  — начальный радиус переводной кривой;  $R_{\text{лх}}$  — радиус в определенной точке переводной кривой;  $R$  — радиус бокового пути, 1 — место изменения кривизны; 2, 3 — подварианты кривизны.

- клотоидные с увеличением кривизны, с уменьшением кривизны и комбинированные (рис. 2);

- остряки в виде комбинации клотоиды и круговой кривой с увеличением кривизны или с уменьшением кривизны (рис. 3);

- остряки с косинусоидальным изменением кривизны с нулевой начальной кривизной или с ненулевой начальной кривизной (рис. 4).

- остряки с косинусоидальным изменением кривизны с нулевой начальной кривизной или с ненулевой начальной кривизной (рис. 4).

Каждая из перечисленных схем остряков может быть осуществлена по одному из следующих вариантов кривых, применяемых на железных дорогах различных стран (рис. 5).

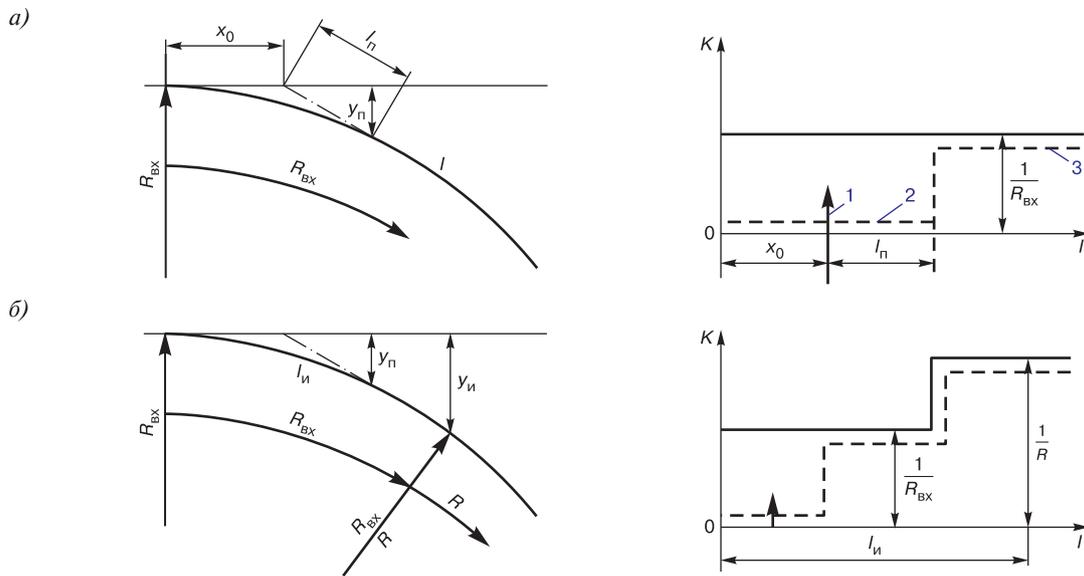


Рис. 1. Геометрические схемы остяков (слева) и кривизна стрелочных кривых в зоне остяков  $K$  (справа)\*:  
*a* — остяки с постоянной кривизной; *b* — со скачкообразно изменяющейся кривизной  
 \* Источник: разработан автором

Fig.1. Geometric schemes of contact tongues (left) and curvature of switch curves in the area of the contact tongues  $K$  (right)\*:  
*a* — contact tongues with constant curvature; *b* — with intermittently changing curvature  
 \* Source: developed by the author

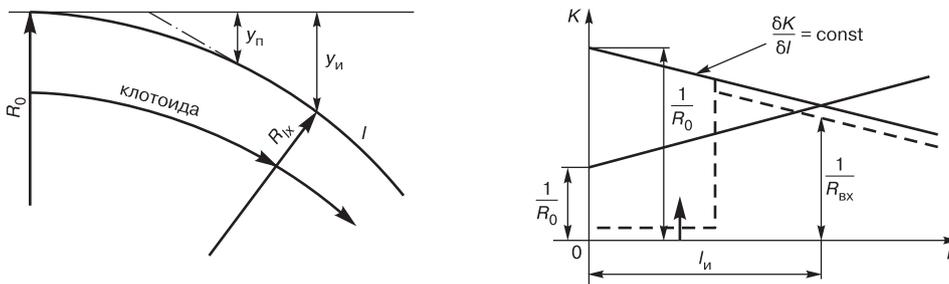


Рис. 2. Геометрические схемы остяков (слева) и кривизна стрелочных кривых в зоне остяков (справа) с комбинированным  
 клотоидным увеличением и уменьшением кривизны\*  
 \* Источник: разработан автором

Fig. 2. Geometric schemes of contact tongues (left) and curvature of switch curves in the contact tongues area (right) with a combined clothoid  
 increase and decrease in curvature\*  
 \* Source: developed by the author

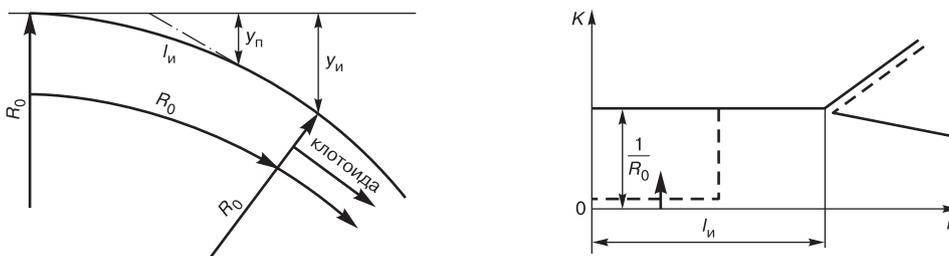


Рис. 3. Геометрические схемы остяков (слева) и кривизна стрелочных кривых в зоне остяков (справа) в виде комбинации клотоиды  
 и круговой кривой с увеличением кривизны, или с уменьшением кривизны\*  
 \* Источник: разработан автором

Fig. 3. Geometric schemes of contact tongues (left) and curvature of switch curves in contact tongues area (right) in combination of a clothoid  
 and a circular curve with an increase in curvature, or with a decrease in curvature\*  
 \* Source: developed by the author

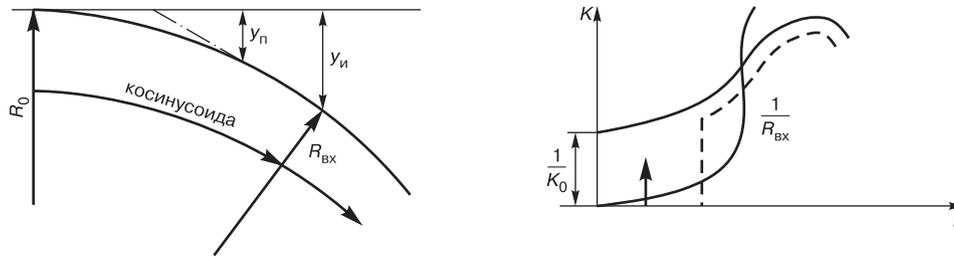


Рис. 4. Геометрические схемы острижков (слева) и кривизна стрелочных кривых в зоне острижков (справа) с косинусоидальным изменением кривизны с нулевой начальной кривизной, или с ненулевой начальной кривизной\*

\* Источник: разработан автором

Fig. 4. Geometric schemes of contact tongues (left) and the curvature of switch curves in the contact tongues area (right) with a sinusoidal change in curvature with zero initial curvature, or with non-zero initial curvature\*

\* Source: developed by the author

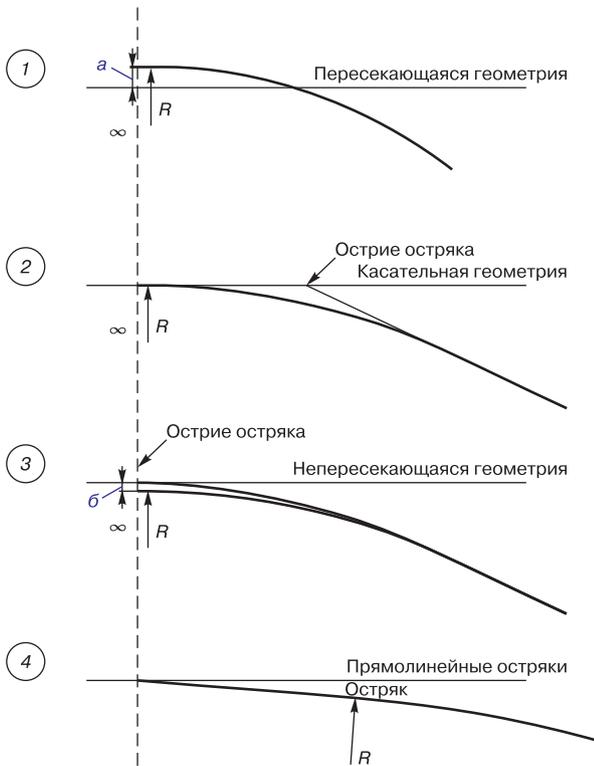


Рис. 5. Виды стрелочных кривых\*:

1 — с пересекающейся геометрией; 2 — с касательной геометрией; 3 — с непересекающейся геометрией; 4 — с прямолинейными острижками, а — засечка; б — обратная засечка

\* Источник: разработан автором

Fig. 5. Types of switch curves\*:

1 — with intersecting geometry; 2 — with tangent geometry; 3 — with non-intersecting geometry; 4 — with rectilinear contact tongues, a — notch; б — reverse gauge notch

\* Source: developed by the author

*Пересекающаяся геометрия (секущая)*, рис. 5, 1. Основное преимущество такой геометрии — это возможность спроектировать более короткий перевод за счет большого начального угла. При этом к отрица-

тельным параметрам можно отнести высокий уровень внезапно возникающего ускорения.

*Касательная геометрия*, рис. 5, 2. Наибольший комфорт движения подвижного состава за счет меньших углов входа. Используется, в том числе, в высокоскоростных стрелочных переводах Великобритании, Франции, Германии.

*Непересекающаяся геометрия*, рис. 5, 3. В данной геометрии путь не пересекается с рамным рельсом. Применяется в стрелочных переводах Великобритании NR60 mk 1, BWG.

*Прямолинейные острижки*, рис. 5, 4. Устаревшая геометрия острижков, используемая в настоящее время только в шахтных или специальных конструкциях.

Кроме того, для каждого варианта возможны различные подварианты, связанные с оформлением практического острижка острижка.

Итак, в разных странах существуют различные методы проектирования стрелочных кривых, различаются подходы к проектированию стрелочной продукции в зависимости от скоростей движения. На железных дорогах установлены разные нормативные параметры, в соответствии с которыми производятся расчеты. Целью данной работы является улучшение динамико-кинематических параметров стрелочной продукции, используемой на отечественных железных дорогах, посредством изменения методики проектирования геометрии стрелочной кривой на основе анализа отечественного и мирового опыта.

Выполнение динамико-кинематических требований можно обеспечить применением практически всех представленных схем, поэтому в процессе проектирования стрелочного перевода должны быть рассмотрены и сопоставлены конструктивные решения всех этих видов. Наилучшим вариантом является тот, который при выполнении всех условий обеспечивает минимальные длину и стоимость разрабатываемого стрелочного перевода.

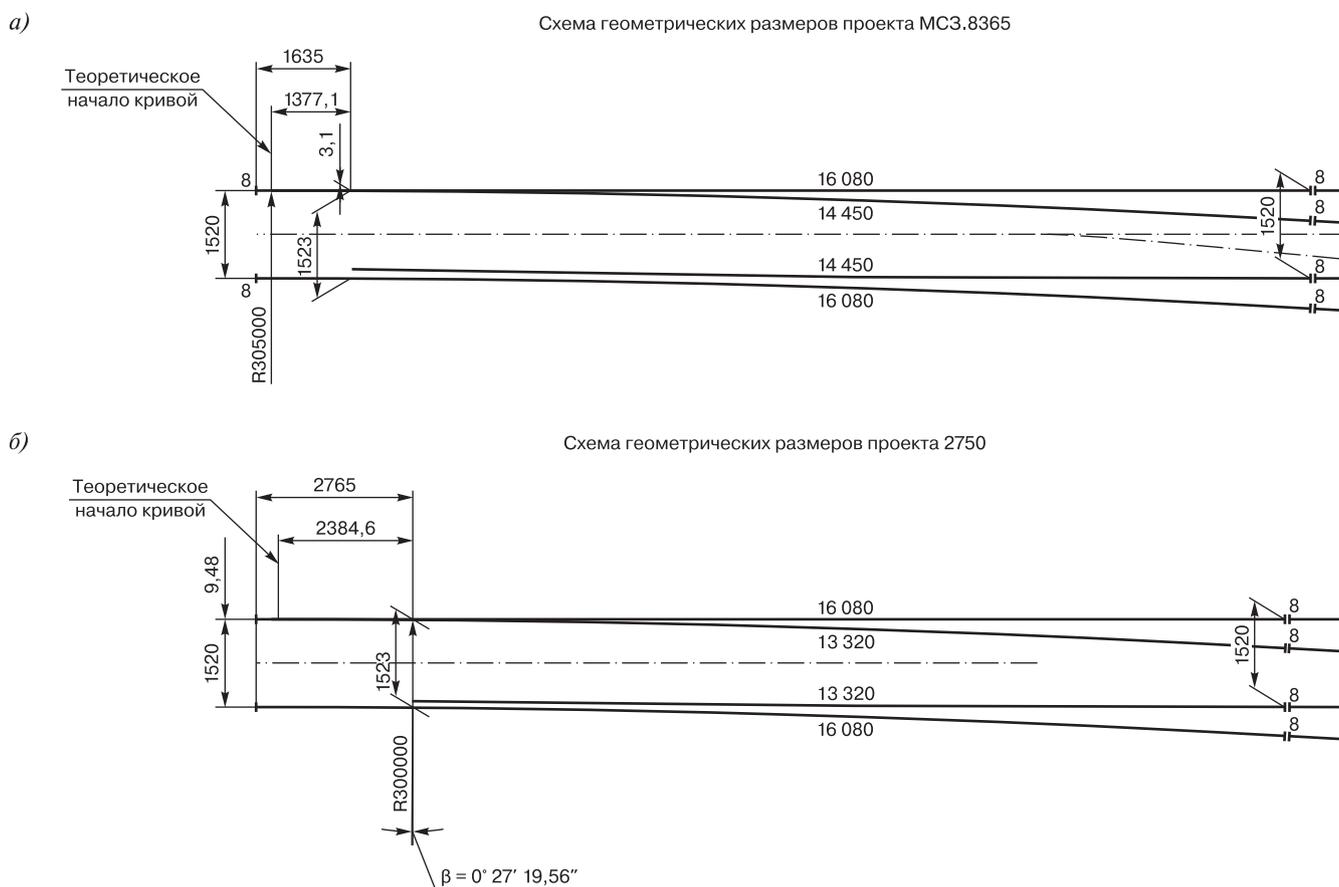


Рис. 6. Различия геометрических схем стрелочных переводов в зоне стрелочной части\*:  
*a* — проекта МС3.8365; *b* — проекта 2750  
 \* Источник: данные автора

Fig. 6. Differences in geometric schemes of turnout switches in the area of the switch part\*:  
*a* — MSP.8365 project; *b* — 2750 project  
 \* Source: author's data

Отечественные стрелочные переводы в абсолютном большинстве спроектированы с использованием схемы с пересекающейся геометрией, в том числе и высокоскоростные. Конструкторы, имея возможность соблюсти норматив по потере кинетической энергии подвижного состава при ударе в криволинейный остряк и стремясь увеличить радиус кривой, создавали стрелочные переводы с практически максимальными значениями начального стрелочного угла даже на самых пологих марках, предназначенных для высокоскоростного движения.

Учитывая мировой опыт эксплуатации стрелочных переводов с касательной геометрией с целью снижения воздействия колес подвижного состава на криволинейные остряки стрелочных переводов, проведены расчеты по возможности модернизации типовой геометрической схемы стрелочных переводов марок 1/9 и 1/11 со скоростями движения на ответвление до 50 км/ч с применением касательной геометрии остряка вместо секущей.

В результате была разработана новая схема стрелочного перевода с касательной геометрией остряка проекта МС3.8365.00.000 (рис. 6). При разработке схемы учитывалось требование по взаимозаменяемости нового стрелочного перевода и типового проекта 2750.00.000. Для применения касательной геометрии остряка потребовалось уменьшить передний вылет рамных рельсов с 2765 мм в проекте 2750 до 1635 мм в новом проекте. При этом увеличилась длина сварных остряков с 13 320 до 14 450 мм. Также увеличился радиус бокового пути с 300 до 305 м.

**Результаты.** Анализ результатов расчетов показал, что при касательном остряке условная зона, на которую приходится все удары колес в криволинейный остряк, становится длиннее, а соответственно все удары распределяются на большую длину, что должно благоприятно сказаться на ресурсе остряка. Кроме того, угол этих ударов меньше, чем при секущей геометрии с начальным углом (табл. 1).

Таблица 1  
Углы стрелочной кривой в характерных сечениях остряка\*

Table 1  
The angles of the switch curve in the characteristic sections of the contact tongue\*

Проект стрелочного перевода	Сечения остряка на уровне измерения, мм	
	20	50
2750	0° 48' 11,53"	1° 8' 27,36"
МС3.8365	0° 39' 22,15"	1° 2' 14,92"

\* Источник: данные автора

\* Source: author's data

В табл. 1 показаны углы рабочей грани остряка к оси прямого железнодорожного пути в сечениях, где толщина остряка на уровне измерений составляет 20 и 50 мм. Большинство ударов колес в остряк происходит между указанными сечениями. Соответственно, чем меньше углы удара в зоне набегания колеса в остряк, тем меньшими будут контактные напряжения.

Учитывая положительные теоретические результаты, было принято решение о проведении натуральных испытаний и изготовлении опытного образца. После проведения заводских испытаний стрелочный перевод был уложен на станции Вековка Горьковской железной дороги для проведения эксплуатационных испытаний.

Основными отличиями в геометрической схеме стрелочного перевода проекта МС3.8365 является увеличенный радиус бокового железнодорожного пути и уменьшенный начальный стрелочный угол по сравнению с типовыми конструкциями (табл. 2).

Угол в острие остряка в новой геометрии уменьшен практически в два раза в сравнении с типовой (табл. 2).

Для оценки влияния результатов улучшения геометрии стрелочного перевода на динамику прохода экипажей были проведены сравнительные измерения

горизонтальных поперечных ускорений кузовной части локомотива ЧМЭЗ при движении по двум стрелочным переводам проектов 2750 и 8365 на станции Вековка Горьковской железной дороги.

Стрелочные переводы № 17 (проект МС3.8365) и № 19 (2750) работают в аналогичных условиях под воздействием одних и тех же поездов, поэтому величины ускорений, возникающие в движущемся по стрелочному переводу локомотиве, должны характеризовать особенности геометрии стрелочной кривой перевода.

Таблица 2  
Параметры стрелочных переводов проектов МС3.8365 и 2750\*

Table 2  
Parameters of turnout switches of MSP.8365 and 2750 projects\*

Параметр	Проект МС3.8365	Проект 2750
Начальный стрелочный угол, град	0° 15' 31,32"	0° 27' 19,56"
Радиус бокового пути, м	305,00	300,00

\* Источник: данные автора

\* Source: author's data

Во время работы в пути рельсовые элементы обоих стрелочных переводов были подвержены боковому износу, поэтому перед проведением опытных поездок были проведены измерения фактического состояния стрелочных кривых обоих стрелочных переводов непосредственно в пути. Измерения производились методом хорд — от хорды длиной 10 м с расположением точек измерения от острия остряка в сторону его корня с шагом через 5 м. Результаты измерений представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, геометрия бокового пути в зоне криволинейного остряка более благоприятная у стрелочного перевода проекта МС3.8365, чем у перевода проекта 2750. Величины радиусов в точках

Таблица 3  
Фактическая геометрия стрелочных кривых переводов № 17 и № 19 на станции Вековка Горьковской железной дороги при проведении опытных поездок локомотива\*

Table 3  
The actual geometry of the switch curves No. 17 and No. 19 at the Vekovka station of the Gorky Railway during the experiment locomotive trips\*

Расстояние от острия остряка до места измерения стрелы изгиба, м	Стрелочный перевод № 17, проект МС3.8365.00.000			Стрелочный перевод № 19, проект 2750.00.000		
	Стрела, мм	Радиус кривой, м		Стрела, мм	Радиус кривой, м	
		номинальный	фактический		номинальный	фактический
0	38	305	329	40	300	312
5	40		312	45		278
10	43		291	45		278

\* Источник: данные автора

\* Source: author's data

на расстоянии 0,5 м и 10 м от острия в стрелочных переводах проекта МС3.8365 и 2750 составляют соответственно 329/312 м, 312/278 м и 291/278 м. Соотношение величин радиусов соответственно равно 1,05, 1,12 и 1,05 раз в пользу стрелочного перевода проекта МС3.8365.

В качестве испытательной подвижной единицы использовался маневровый тепловоз ЧМЭЗ № 5943, обращающийся на железнодорожных путях станции Вековка Горьковской железной дороги. Для проведения опытных поездок локомотив был оборудован акселерометрами, которые были расположены на раме кузова.

По результатам опытных поездок были получены величины ускорений кузовной части локомотива при движении по стрелочным кривым исследуемых стрелочных переводов (табл. 4).

Из данных, приведенных в таблице, видно, что при проходе стрелки стрелочного перевода проекта МС3.8365, как в противошерстном, так и в пошерстном направлениях в экипаже возникают ускорения меньше на величину порядка 10–13%, чем при аналогичном движении по переводу проекта 2750. Это связано с тем, что в процессе эксплуатационной работы и износа рельсовых элементов радиус стрелочной кривой, «выкатанной» колесами на переводе проекта МС3.8365, больше и что начальный стрелочный угол на новом переводе проекта МС3.8365 меньше, а радиус стрелочной кривой больше соответствующих величин стрелочного перевода проекта 2750. Также на стрелочном переводе были произведены замеры величин напряжений в остриях, рамных рельсах, рельсах соединительных путей, рельсовой и литой частях крестовины и контррельсах, максимальные значения которых составили соответственно 232, 185, 206, 150,

80 и 250 МПа. Эти значения не превышают допускаемые, составляющие 275, 240, 240, 240, 110 и 330 МПа.

Кроме натуральных испытаний с помощью Программного комплекса «Универсальный механизм»<sup>5</sup> было проведено моделирование движения локомотива ЧМЭЗ по стрелочным кривым переводов проектов 2750 и МС3.8365. Данные, полученные в результате расчетов, представлены на рис. 7.

Как видно из рис. 7, результаты моделирования подтверждают преимущества геометрии касательного острия стрелочного перевода проекта МС3.8365 по сравнению с секущим острием стрелочного перевода проекта 2750. Максимальное значение поперечного ускорения для перевода МС3.8365 составило 0,96 м/с<sup>2</sup>, для 2750 — 1,09 м/с<sup>2</sup>, т.е. применение касательной геометрической схемы позволяет уменьшить горизонтальные поперечные ускорения при движении локомотива по стрелочной кривой на 13%.

В настоящее время продолжают сравнительные эксплуатационные наблюдения за работой стрелочных переводов с касательной и секущей формами стрелочной кривой. Данные последовательных испытаний криволинейных остриев проекта МС3.8365 и проекта 2750 на трех стрелочных переводах № 2, 4, 536 станции Ярославль-Главный Северной железной дороги приведены на рис. 8. Разброс срока службы остриев до замены по износу (14–44%) связан с особенностями работы конкретных стрелочных переводов, влиянием окружающей температуры, изменением грузонапряженности. Наблюдается однозначная тенденция — срок службы стрелочных переводов с касательной формой стрелочной кривой выше, чем в тех же условиях у переводов с секущей геометрией.

Таблица 4

Ускорения рамы кузова локомотива при движении по стрелочным переводам № 17 и № 19 на станции Вековка Горьковской железной дороги\*

Table 4

Acceleration of the locomotive body frame when moving along switches No. 17 and No. 19 at the Vekovka station of the Gorky Railway\*

Направление движения	Место расположения акселерометра	Наибольшие ускорения, м/с <sup>2</sup>		Соотношение ускорений для № 17 относительно № 19
		стрелочный перевод № 17, проект МС3.8365	стрелочный перевод № 19, проект 2750	
Противо-шерстное (ПРШ)	Над первой по ходу тележкой	2,6	3,0	0,87
	Над второй по ходу тележкой	2,1	2,8	0,84
Пошерстное (ПШ)	Над первой по ходу тележкой	2,4	2,8	0,86
	Над второй по ходу тележкой	2,2	2,5	0,88

\* Источник: данные автора

\* Source: author's data

<sup>5</sup> Моделирование динамики железнодорожных экипажей: Руководство пользователя [Электронный ресурс]. URL: [www.universalmechanism.com/download/80/rus/08\\_um\\_loco.pdf](http://www.universalmechanism.com/download/80/rus/08_um_loco.pdf) (дата обращения: 11.02.2025).

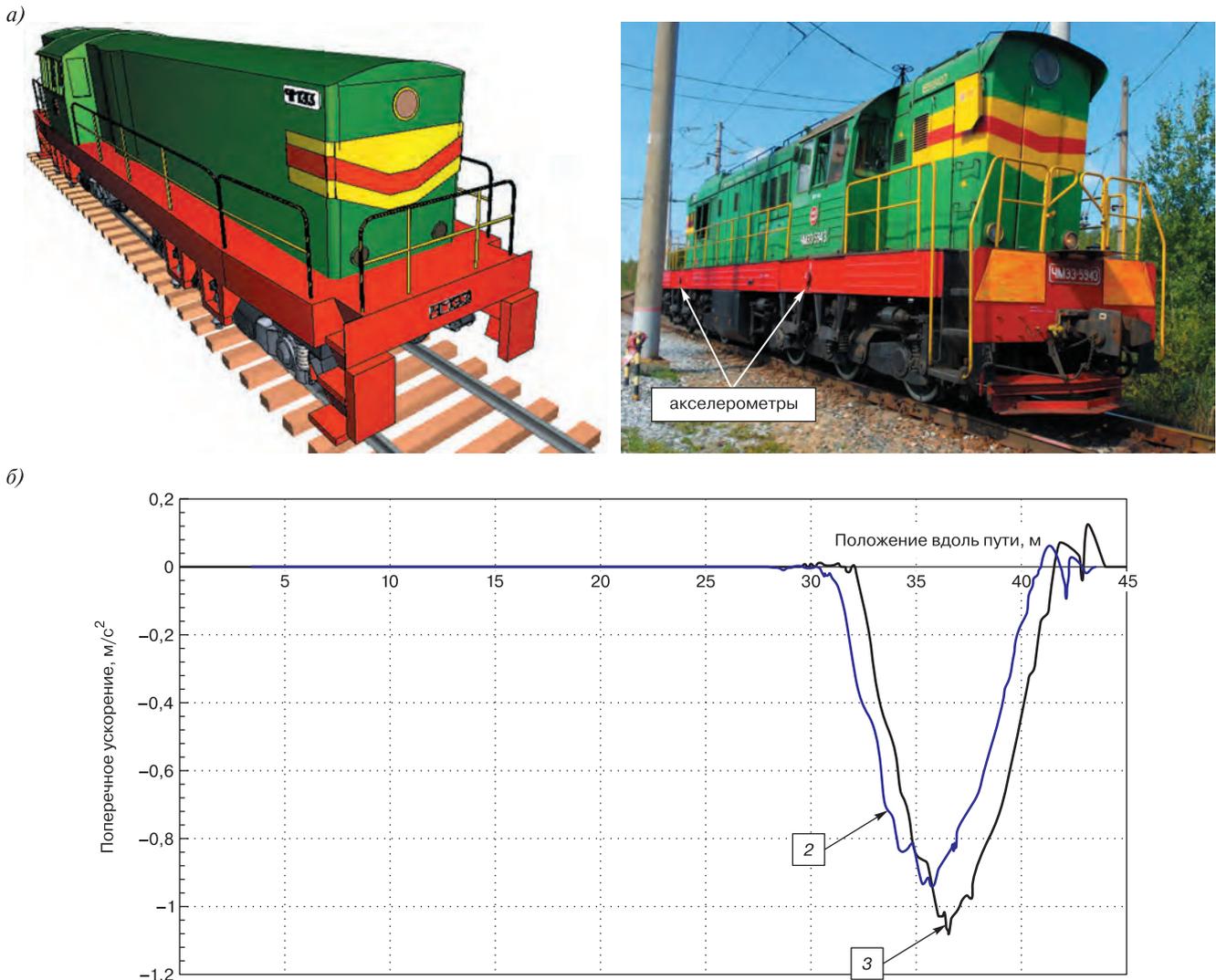


Рис. 7. Моделирование движения маневрового тепловоза ЧМЭ3 по стрелочным кривым переводам проектов 2750 и МС3.8365 в программном комплексе «Универсальный механизм»\*:

*a* — модель тепловоза; *б* — зависимость поперечных ускорений по длине пути; 1 — акселерометры; 2 — кривая ускорений для МС3.8365; 3 — кривая ускорений для 2750

\* Источник: разработан автором

Fig. 7. Simulation of the movement of the ChME3 shunting locomotive along switch curves of turnout switches of 2750 and MSP.8365 projects in the Universal Mechanism software package\*:

*a* — locomotive model; *б* — dependence of transverse accelerations along the length of the track; 1 — accelerometers; 2 — acceleration curve for MSP.8365; 3 — acceleration curve for 2750

\* Source: developed by the author

**Примечание:** РК 2750 — стрелочный перевод с применением ремонтного комплекта по проекту 2750. РК № 005 21, РК № 011 21, РК № 001 21 (1,2), РК 8365 — стрелочные переводы с касательной формой стрелочной кривой по проекту МС3.8365.

**Обсуждение.** Методы проектирования стрелочных кривых, используемые с 1960-х годов, в большей степени отвечают задачам прохождения подвижного состава со скоростью 40–80 км/ч, принятой в качестве максимально допустимой. Для современного

подвижного состава и высокоскоростного движения необходима разработка новых подходов к проектированию.

Сравнительные эксплуатационные наблюдения за работой стрелочных переводов с предлагаемыми в работе касательной и секущей формами стрелочной кривой на примере переводов марки 1/11 показывают, что срок службы криволинейных острьяков увеличился, поэтому целесообразно провести аналогичные испытания и с другими марками стрелочных переводов.

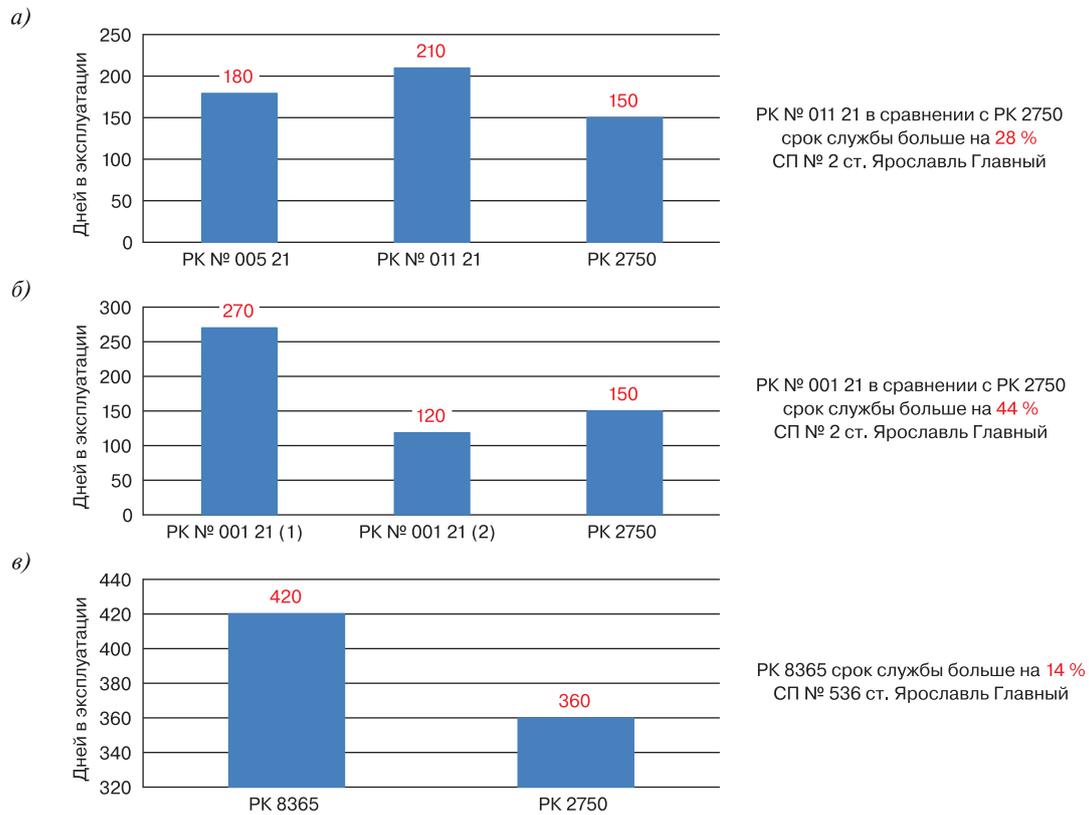


Рис. 8. Сравнение срока службы до замены по износу криволинейных острижков с острижками проекта 2750, ст. Ярославль-Главный Северной железной дороги\*:

а — стрелочный перевод № 2; б — стрелочный перевод № 4; в — стрелочный перевод № 536

\* Источник: разработан автором

Fig. 8. Comparison of the service life before replacement by wear of curved contact tongues with contact tongues of 2750 project, Yaroslavl-Glavny station, Northern Railway\*:

a — turnout switch No. 2; б — turnout switch No. 4; в — turnout switch No. 536

\* Source: developed by the author

Учитывая результаты испытаний и расчетов, следующим этапом планируется рассмотреть вопрос по корректировке методик проектирования стрелочной продукции, в особенности для высокоскоростного движения. Уже сейчас стрелочные переводы, которые создаются для высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург, проектируются не по типовым методикам, а с учетом подходов, изложенных в настоящей статье.

#### Выводы

1. Для улучшения геометрии стрелочных кривых требуется сохранить принятое в России нормирование величин внезапно появляющегося ускорения удара в остриж, дополнив этот показатель критериями проектирования по скорости изменения ускорения. Это позволит контролировать геометрию острижа на участке от острия до сечения 30 мм. Имеет смысл использовать также контроль средней скорости нарастания ускорения на участке входа базы экипажа в стрелочную кривую, принятый за рубежом.

2. В стрелочных переводах для высокоскоростного движения, а также для марок переводов большей или равной 1/11, учитывая требования к плавности хода и комфортабельности движения, целесообразно использовать касательную геометрию стрелки. Для стрелочных переводов массовых конструкций необходимо проводить сравнительный анализ с точки зрения динамических и конструктивных преимуществ исходя из планируемых условий их работы.

3. Результаты эксплуатации стрелочного перевода проекта МС3.8365 показывают преимущества новой геометрической схемы. Более низкий уровень ускорений в экипаже при проходе стрелки стрелочного перевода МС3.8365 уменьшит износ рельсовых элементов, а также позволит рекомендовать повысить скорость движения грузового подвижного состава по этому переводу до 50 км/ч.

4. Результаты исследований в совокупности с положительными результатами моделирования и натурных испытаний позволяют сделать вывод об эффек-

тивности проведенной работы. Совокупность данных, полученных при исследованиях и испытаниях, может и должна быть использована при корректировке методологии проектирования стрелочных переводов.

5. Учитывая полученные результаты, одним из направлений для дальнейших исследований может стать распространение полученных результатов на геометрию стрелочных переводов пологих марок для высокоскоростного движения поездов.

**Благодарности:** автор выражает благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

**Acknowledgments:** the author expresses gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement 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 declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Глюзберг Б. Э., Королев В. В., Шишкина И. В. Модернизация стрелочных переводов на современной элементной базе // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. 2019. № 15. С. 156–161. EDN: <https://www.elibrary.ru/wuqbif>.

Glyuzberg B. E., Korolev V. V., Shishkina I. V. Modernisation of switches on a modern element base. *Modern problems of improving the operation of railway transport*. 2019;(15):156–161. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/wuqbif>.

2. Глюзберг Б. Э., Титаренко М. И., Трегубчак П. В. Обеспечение перевозочного процесса при нагрузках на стрелочные переводы, превышающих проектные и нормативные критерии // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024, Т. 83, № 3. С. 205–214. EDN: <https://elibrary.ru/pvmugq>.

Glyuzberg B. E., Titarenko M. I., Tregubchak P. V. Ensuring transportation under turnout switches loads exceeding design and regulatory criteria. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(3):205–214. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/pvmugq>.

3. Глюзберг Б. Э., Титаренко М. И., Тимакова Е. А., Савченко А. А., Кузнецов С. В., Калачев А. М. Динамическое воздействие вагонов, имеющих колесные пары с тонкими гребнями, на стрелочные переводы // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020. № 4. С. 202–208. EDN: <https://www.elibrary.ru/aprxey>.

Glyuzberg B. E., Titarenko M. I., Timakova E. A., Savchenko A. A., Kuznetsov S. V., Kalachev A. M. Dynamic effect on turnouts of cars having wheelsets with thin flanges. *Russian Railway Science Journal*. 2020;79(4):202–208. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/aprxey>.

4. Титаренко М. И., Глюзберг Б. Э., Трегубчак П. В., Кузнецов С. В. Стрелочные переводы типа Р65 марки 1/11 в условиях обращения поездов повышенной массы и длины // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 12. С. 7–11.

Titarenko M. I., Glyuzberg B. E., Tregubchak P. V., Kuznetsov S. V. Switches of the P65 type of the 1/11 mark in the conditions of handling trains of increased weight and length. *Railway Track and Facilities*. 2024;(12):7–11. (In Russ.).

5. Craig Jr. R. R., Bampton M. C. C. Coupling of substructures for dynamic analysis. *AIAA Journal*. 1968;6(7):1313–1319. <https://doi.org/10.2514/3.4741>.

6. Sun Y. Q., Cole C., McClanachan M. The Calculation of Wheel Impact Force Due to the Interaction between Vehicle and a Turnout. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F*. 2010;224(5):391–403. <https://doi.org/10.1243/09544097jrrt3>.

7. Глюзберг Б. Э. Проектирование стрелочных переводов для высоких скоростей движения на ответвленное направление // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 1993. № 8. С. 25–30.

Glyuzberg B. E. Design of switches for high speeds of movement in the branching direction. *Russian Railway Science Journal*. 1993;(8):25–30. (In Russ.).

8. Iwnik S. The Manchester Benchmarks for Rail Vehicle Simulation. CRC Press; 1999. 206 p.

9. Xinggao Shu and Davis D. High-Speed Rail Turnout Literature Review [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fra.dot.gov>. (дата обращения: 11.02.2025).

10. Глюзберг Б. Э. Влияние нагрузок подвижного состава на сроки службы элементов стрелочных переводов // Современные способы совершенствования работы железнодорожного транспорта. Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути. М.: МГУПС; 2016. С. 157–158. EDN: <https://www.elibrary.ru/ykpwxf>.

Glyuzberg B. E. The influence of rolling stock loads on the service life of switch elements. In: *Modern ways to improve the operation of railway transport Modern problems of railway track design, construction and operation: Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference. Readings dedicated to the memory of Professor G. M. Shakhnyants*. Moscow: MSUPS; 2016. 157–158 p. EDN: <https://www.elibrary.ru/ykpwxf>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

### Денис Сергеевич ЕРШОВ,

Главный конструктор, Муромский стрелочный завод (АО «МСЗ», 602262, Россия, Владимирская обл., г. Муром, ул. Стахановская, 22а), <https://orcid.org/0009-0002-9491-2520>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

### Denis S. ERSHOV,

Chief Constructor, Murom Switch Plant (602262, Murom, 22a, Stakhanovskaya St.), <https://orcid.org/0009-0002-9491-2520>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 05.12.2024, рецензия от первого рецензента получена 13.12.2024, рецензия от второго рецензента получена 18.12.2024, рецензия от третьего рецензента получена 19.12.2024, принята к публикации 23.01.2025.

The article was submitted 05.12.2024, first review received 13.12.2024, second review received 18.12.2024, third review received 19.12.2024, accepted for publication 23.01.2025.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 625.151.812

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

Научная специальность: 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог



## Конструкции контррельсовых узлов с увеличенным ресурсом для перспективных стрелочных переводов

М. Е. Березовский✉

Новосибирский стрелочный завод (АО «НСЗ»),  
Новосибирск, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Одним из конструктивных элементов современных стрелочных переводов, который требует увеличения ресурса, является контррельсовый узел. Воздействие колес железнодорожного подвижного состава на контррельсы вызывает высокие изгибные напряжения в элементах крепления к опорам — контррельсовым опорным подкладкам. Статья посвящена проводимым в настоящее время конструктивным и опытным разработкам по увеличению ресурса контррельсовых опорных подкладок.

**Материалы и методы.** Расчеты прочности подкладок выполнены на основе математического моделирования. Верификация моделей проведена путем прямых динамико-прочностных испытаний контррельсовых подкладок в эксплуатируемом стрелочном переводе. Ресурс подкладок определялся путем усталостных расчетов и с помощью непосредственного наблюдения за работой подкладок в составе эксплуатируемых стрелочных переводов.

**Результаты.** Разработана улучшенная конструкция опорных элементов контррельсовых узлов стрелочных переводов — подкладок с упором. Опытные образцы подкладок апробированы непосредственно в составе стрелочных переводов, работающих в условиях повышенных нагрузок подвижного состава. Результаты испытаний показали хорошую сходимость примененных методик моделирования с практикой эксплуатации и положительный результат повышения ресурса крестовинных узлов.

**Обсуждение и заключение.** Разработанную улучшенную конструкцию крепления контррельсов к опорам предлагается использовать при конструировании новых образцов стрелочной продукции. Подход и методики разработки целесообразно использовать при конструировании элементов новых стрелочных переводов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железнодорожный путь, стрелочные переводы, контррельсовые узлы, конструкции подкладок, подкладки с упором, моделирование, напряжения, расчеты прочности, ресурс

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Березовский М. Е. Конструкции контррельсовых узлов с увеличенным ресурсом для перспективных стрелочных переводов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 1. С. 42–50.

Original article

UDK 625.151.812

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

Scientific specialty 2.9.2. Railway track, survey and design of railways



## Counterrail design with increased service life for advanced turnout switches

Mikhail E. Berezovskii✉

Novosibirsk Switch Plant,  
Novosibirsk, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Counterrail is one of the constructive elements of modern turnout switches, which requires increased service life. The impact of railway rolling stock wheels on the counterrails causes high bending stresses in the elements of attachment to the counterrail pads with stop blocks. The article is devoted to the currently ongoing design and development of counterrail support rail pads.

**Materials and methods.** The strength calculations of the rail pads are based on mathematical modelling. Verification of models is carried out by direct dynamic-strength tests in the way of counterrail linings in the operated cross-link railway track. The durability of the rail pads was determined by fatigue calculations and direct observation of rail pads in the turnout switches.

**Results.** The improved design of the support elements of the counterrail axles of the hinged linkage, such as rail pads with stop block was developed. The experimental samples of the backings are tested directly in combination with the turnout switches operating under increased loads of railway rolling stock. The test results showed good similarity of applied methods with the practice of operation and positive result of increase of service life of cross-link units.

**Discussion and conclusion.** The developed construction of the counterrails fastening to the rail guard support is proposed for use in the design of new samples of switch products. The approach and methodology of development is practical to use in the construction of elements of new turnout switches.

**KEYWORDS:** railway track, turnout switches, counterrails, rail pad constructions, rail pads with stop block, modelling, stress, strength analysis, service life

**FOR CITATION:** Berezovskii M.E. Counterrail design with increased service life for advanced turnout switches. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(1):42–50. (In Russ.).

**Введение.** Современные стрелочные переводы работают в условиях интенсивного динамического воздействия подвижного состава. Напряженно-деформированное состояние их элементов определяет их работоспособность и ресурс [1–4]. Контррельсы стрелочных переводов являются важнейшей частью конструкции, обеспечивающей безопасность прохода подвижного состава через их крестовинную зону. Их основная функция — направлять колесные пары в желоб крестовины, обеспечивающий движение экипажа в заданном направлении. В современных стрелочных переводах в качестве контррельсов используются специальные элементы, которые изготавливают из прокатных спецпрофилей и крепят к опорам с помощью подкладок с упором (контррельсовых башмаков). Совершенствованию конструкции и технологии изготовления контррельсовых узлов уделяется повышенное внимание. Были предложены новые конструкции контррельса [5] и его профиля [6, 7], конструкции подкладок [8, 9]. Выполнено расчетное исследование прочности новых подкладок, при этом нагрузки были определены опытным путем для стандартной подкладки [10].

Контррельсовые узлы испытывают большие нагрузки из-за действия горизонтальных поперечных сил, возникающих при сдвигах колесных пар в желобах. В среднем каждая третья колесная пара, проходящая по стрелочному переводу, взаимодействует с контррельсом. Силы, действующие на контррельс, передаются на опорные части контррельсового узла, вызывая в них высокий уровень изгибных напряжений. В результате по мере наработки в опорных элементах возникают усталостные трещины, которые, развиваясь, приводят к изломам подкладок. На рис. 1 приведены данные по вероятности безотказной работы контррельсовых узлов стрелочных переводов (контррельсов и подкладок с упором, обеспечивающих их

прикрепление к опорам)  $R(t)$  в зависимости от наработки, полученные из наблюдений за работой стрелочных переводов на дорогах Сибирского региона.

Зависимости, приведенные на рис. 1, построены не по всем стрелочным переводам, за которыми велось наблюдение, а только по тем, на которых возникли отказы контррельсовых узлов, требующие их замены (всего 347 отказов). Поэтому зависимости следует считать условными [11]. Тем не менее, из данных, приведенных на рис. 1, наглядно видно, что вероятность безотказной работы подкладок ниже, чем у контррельсов на протяжении всего периода работы в железнодорожном пути, то есть отказы подкладок с упором ограничивают работоспособность узла в целом.

Целью работы является разработка улучшенной конструкции подкладки с упором, исходя из требований увеличения прочности при сохранении системы ограничений — граничных условий и размеров, определяющих расположение подкладки с контррельсовым упором на крестовинном узле стрелочного перевода, материала и технологических возможностей заводов-изготовителей стрелочной продукции.

**Материалы и методы.** В настоящей работе был установлен характер нагружения подкладок с упором — циклический, знакопеременный.

При монтаже стрелочного перевода в путь и сборке его узлов от действия крепежителей в верхних кромках подкладок возникают растягивающие напряжения закрепления —  $\sigma_m$ .

Под действием проходящего подвижного состава на монтажные напряжения от закрепления накладываются циклические напряжения  $\sigma_g$  противоположного знака. Общие напряжения  $\sigma_i$ , возникающие при прохождении  $i$ -того колеса над подкладкой, определяются как алгебраическая сумма монтажных напряжений и напряжений от поездной нагрузки  $\sigma_{gi}$ :

$$\sigma_i = \sigma_m + (-\sigma_{gi}). \quad (1)$$

За цикл нагружения напряжения в подкладке изменяются от  $\sigma_m$  до  $\sigma_i$ . Коэффициент асимметрии цикла нагружения  $r_i = \sigma_{gi}/\sigma_m$  с учетом (1) составит  $r_i = 1 - \sigma_{gi}/\sigma_m$ .

Число циклов до излома подкладки  $N_i$  определится по кривой усталостной прочности:

$$N_i = \begin{cases} N_0(\sigma_{ri}/\sigma_i)^m, & \text{при } \sigma_i \geq \sigma_{ri}, \\ \infty, & \text{при } \sigma_i < \sigma_{ri}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\sigma_{ri}$  — предел длительной выносливости подкладки при циклах нагружения с максимальной величиной напряжений  $\sigma_i$  и асимметрией цикла  $r_i$ ;  $N_0$  и  $m$  — характеристики кривой усталостной прочности;  $N_0$  — базовое число циклов;  $m$  — показатель наклона кривой усталости.

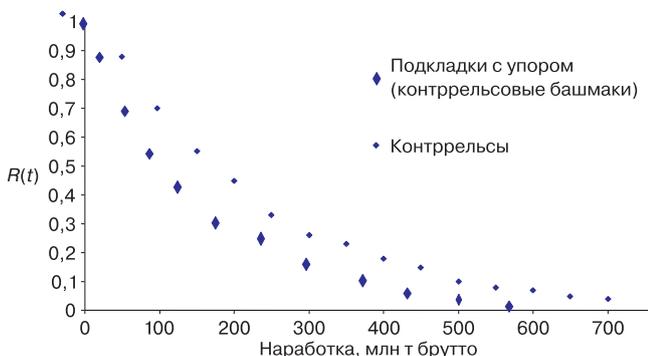


Рис. 1. Условная вероятность безотказной работы контррельсов и подкладок с упором (контррельсовых башмаков)\*  
\* Источник: разработан авторами

Fig. 1. Conditional probability of trouble-free operation of countertrails and rail pads with stop block (countertrail drag shoes)  
\* Source: developed by the author

Напряжение  $\sigma_r$  может быть выражено через предел длительной выносливости при симметричном цикле нагружения  $\sigma_{-1}$  с помощью коэффициента асимметрии цикла [12]:

$$\sigma_r = \sigma_{-1} \sqrt{2 / (1 - r)}. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в формулу (1) для «повреждающих» циклов нагружения, получим

$$N_i = \left[ \frac{\sqrt{2\sigma_{gi}}}{\sigma_3} / (\sigma_3 - \sigma_{gi}) \right]^m (\sigma_{-1})^m N_0, \quad (4)$$

где  $\sigma_3$  — напряжения от закрепления подкладки.

При известных параметрах материала, из которого изготовлена подкладка  $\sigma_{-1}$ , и параметрах усталостной зависимости  $N_0$  и  $m$  из выражения (4) можно определить число циклов до излома подкладки в зависимости от монтажных растягивающих напряжений закрепления  $\sigma_m$  и изменения напряжений под поездной нагрузкой  $\sigma_{gi}$ . Поскольку при прохождении поездной нагрузки в подкладке могут возникать различные циклы нагружения, то общее число циклов до излома подкладки следует определять с учетом накопления повреждений за каждый цикл.

Существует несколько теоретических подходов к анализу накопления повреждений при циклическом нагружении с циклами, имеющими различные характеристики. Одним из распространенных способов является метод суммирования повреждений [13]. В соответствии с этим подходом выражение для общего числа циклов до излома подкладки  $n_0$  будет иметь вид

$$n_0 = 1 / \int_{\sigma_{пов}} \frac{dn_0}{N}; \quad (5)$$

$$dn_0 = -p(\delta\sigma) \cdot d\sigma_g, \quad (6)$$

где  $\sigma_{пов}$  — повреждающие напряжения;  $p(\delta\sigma) = p(\sigma_m - \sigma_g)$  — плотность вероятности возникновения результирующих напряжений, равных  $(\sigma_m - \sigma_g)$  от монтажа и поездной нагрузки;  $N$  — общее число циклов при испытаниях.

Суммирование (интегрирование) ведется по всем циклам, напряжения в которых являются повреждающими (выше предела длительной выносливости) [14]. Дифференциал  $dn_0$  является функцией от плотности вероятности возникновения цикла с напряжениями  $\sigma_r$ , которую можно определить, используя распределение напряжений, получаемых от поездной нагрузки непосредственно в испытаниях, или расчетным путем, переместив это распределение по оси  $\sigma$  на величину монтажных напряжений  $p(\delta\sigma) = p(\sigma_m - \sigma_g)$ .

Подставляя формулы (6) и (4) в (5), получим

$$n_0 = (\sigma_{-1})^m \times \left[ N_0 / \int_{\sigma_{пов}} (0,5\sigma_m \sigma_g - \sigma_g^2 + 0,5\sigma_g^3 / \sigma_m) p(\delta\sigma) \cdot d\sigma_g \right]. \quad (7)$$

С учетом факторов, влияющих на работу элементов стрелочных переводов и снижающих их долговечность (включая коррозию и т.д.), практически все циклы нагружения следует считать «повреждающими». Обращая внимание на то, что множитель в квадратных скобках соотношения (7) не зависит от свойств материала, из которого подкладка изготовлена, обозначив его  $\alpha$ , выражение (7) можно записать в виде

$$n_0 = \alpha (\sigma_{-1})^m. \quad (8)$$

Из (8) видно, что в этом случае число циклов, которые подкладка выдержит до наступления излома (или образования трещины) в одинаковых условиях работы, полностью определяется пределом длительной выносливости материала  $\sigma_{-1}$ , из которого она изготовлена. Тогда, при известном распределении предела длительной выносливости можно найти распределение наработки подкладок до излома, пользуясь методами преобразования случайных величин [15]:

$$p(n_0) = p[\sigma_{-1}(n_0)] \cdot |J|^{-1}. \quad (9)$$

где  $p(n_0)$  — искомая плотность распределения числа циклов наработки подкладок до излома;  $p[\sigma_{-1}(n_0)]$  — плотность распределения предела длительной выносливости  $\sigma_{-1}$  материала подкладок для усталостной зависимости  $\sigma_{-1}(n_0)$ ;  $|J|$  — якобиан преобразования.

Предел длительной выносливости углеродистых сталей имеет распределение, близкое к нормальному [14]. Исходя из этого, выразив  $\sigma_{-1}(n_0)$  из формулы (8) и подставив все необходимые параметры в (9), получим

$$p(n_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_{\sigma_{-1}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(n_0 / \alpha)^{1/m} - \sigma_{-1}^{cp}}{S_{\sigma_{-1}}} \right]^2 \right\} \times \frac{1}{m \alpha^{1/m} \cdot n_0^{(1-1/m)}}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{-1}^{cp}$  — среднее значение предела длительной выносливости  $\sigma_{-1}$ , а  $S_{\sigma_{-1}}$  — среднеквадратическое отклонение его распределения.

Подставляя в формулу (10) различные значения числа циклов до излома подкладок, можно получить соответствующую им плотность вероятности. Таким

образом, имея данные по пределу длительной выносливости  $\sigma_{-1}^{cp}$  и  $S_{\sigma_{-1}}$ , из формулы (10) можно получить распределение числа циклов до отказа подкладок по изломам  $n_0$ . Интегрируя выражение (10) в диапазоне значений от 0 до  $n_0$  и учитывая, что наработка в пути составляет

$$T = Q_{oc} n_0, \quad (11)$$

где  $Q_{oc}$  — максимальная вертикальная статическая нагрузка на ось, то получим долю подкладок, изломавшихся на момент наработки  $T$ , млн т брутто. Если не все циклы являются повреждающими, то расчет по формуле (10) дает завышенные значения. В этом случае расчет  $p(n_0)$  следует проводить по формуле (9) численными методами [16].

Построенная вероятностная модель позволяет, используя зависимости формул (7) и (10), рассчитывать распределения отказов подкладок по изломам как функцию от наработки с учетом свойств материала, из которого они изготовлены, монтажных напряжений в подкладках и дополнительных напряжений в подкладках, возникающих при проходе поездов по стрелочному переводу.

По результатам изучения особенностей работы подкладок с упором был разработан вариант контрольного башмака усиленной конструкции, показанный на рис. 2.

Подкладки изготовлены из стали 30Л методом литья с последующей термообработкой. Механические характеристики металла, полученные при лабораторных испытаниях образцов подкладок, представлены в табл. 1.

Результаты лабораторных испытаний позволяют определить необходимые для расчета ресурса подкладок характеристики материала. Согласно [11] для образцов имеет место зависимость

$$\sigma_{-1}^{cp} = (0,55 - 0,0001\sigma_B)\sigma_B, \quad (12)$$

где  $\sigma_{-1}^{cp}$  — средняя величина предела длительной выносливости;  $\sigma_B$  — предел прочности материала.

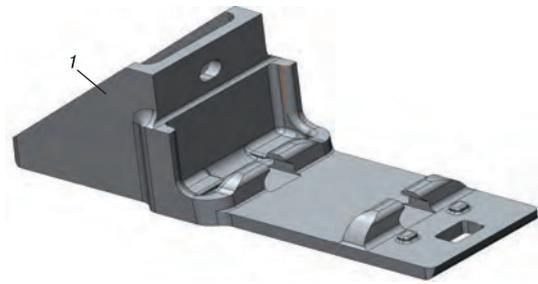


Рис. 2. Конструкция усиленной подкладки контрольного башмака с упором\*: 1 — упор  
\* Источник: рисунок автора

Fig. 2. Construction of the reinforced rail pad of the counterail drag shoe with stop block\*: 1 — stop block  
\* Source: author's layout

Подставляя в формулу (12) результаты испытаний образцов, получим среднюю величину предела длительной выносливости материала подкладок при симметричном цикле нагружения, т.е.  $\sigma_{-1}^{cp} = 290$  МПа. Для деталей машин коэффициент вариации предела длительной выносливости располагается в диапазоне (0,05–0,15) [11]. Принимая среднее значение, получим  $S_{\sigma_{-1}} = 29$  МПа.

Геометрические размеры опорной части подкладок были приняты такими, чтобы напряжения в наиболее нагруженных сечениях не превышали прочностных характеристик материала, из которого подкладка изготовлена. Опытные образцы разработанного варианта подкладок с упором были изготовлены Новосибирским стрелочным заводом.

Для оценки эффективности предложенного варианта подкладок с упором были проведены сравнительные испытания типовых и разработанных вариантов подкладок непосредственно под воздействием поездной нагрузки. Испытания подкладок с упором проводились на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» под воздействием испытательного поезда, состоящего из локомотива ВЛ80 и грузовых полувагонов

Таблица 1

Механические характеристики стали, из которой изготовлены опытные подкладки\*

Table 1

Mechanical characteristics of the steel of the experimental rail pads\*

Параметры	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
Разброс показателя	480–488	271–370	25–27	31–42	660–1260
Среднее значение показателя	485	307,3	26	37	970
Требование ГОСТ 977-88 для стали 30Л (нормализация или нормализация с отпускком)	Не менее 471	Не менее 255	Не менее 17	Не менее 30	Не менее 343

\* Источник: разработана автором

\* Source: developed by the author



Рис. 3. Стрелочный перевод типа P65, марки 1/11, оборудованный опытными подкладками\*  
\* Фото автора

Fig. 3. Turnout switch type P65, grade 1/11, equipped with experimental rail pads\*  
\* Photo made by the author

с нагрузкой до 25 т/ось. Скорости движения не превышали 70 км/ч. Испытания проводились в два этапа.

На первом этапе производилась запись напряжений в типовых подкладках с упором, входящих в состав эксплуатируемого на кольцевом пути стрелочного перевода марки 1/11 на железобетонных брусках (рис. 3).

По результатам первого этапа выбиралось место, в котором подкладки с упором работали в наиболее нагруженном режиме и фиксировались напряжения в наиболее нагруженных сечениях этих подкладок. Затем на их место устанавливались опытные подкладки (рис. 4, а и 4, б) и производились измерения напряжений в этих подкладках.

Датчики напряжений (тензорезисторы) располагались по низу подошвы подкладки. Во время установки подкладок фиксировались монтажные напряжения в подошве подкладок, возникающие при затяжке болтов, а также крепления подкладки к брускам.

Образец записи напряжений в подкладке при проходе испытательного поезда показан на рис. 5.

Циклы напряжений, возникающих в подкладках от проходящего подвижного состава, двумерные, то есть определяются не только величиной наибольшего напряжения в цикле, но и коэффициентом асимметрии цикла. Кроме того, на записи (рис. 5) отчетливо видно, что под воздействием проходящего подвижного состава в подкладке возникает два вида напряжений — циклические напряжения, возникающие при проходе колес над подкладкой, вызванные прогибом рельса крестовины под нагрузкой, и дополнительные напряжения, возникающие от дополнительного бокового воздействия колес на контррельс.

Число циклов с дополнительным нагружением в эксплуатации зависит от параметров геометрии рельсовой колеи на стрелочном переводе (ширина колеи, размеры желобов, расстояние между сердечником

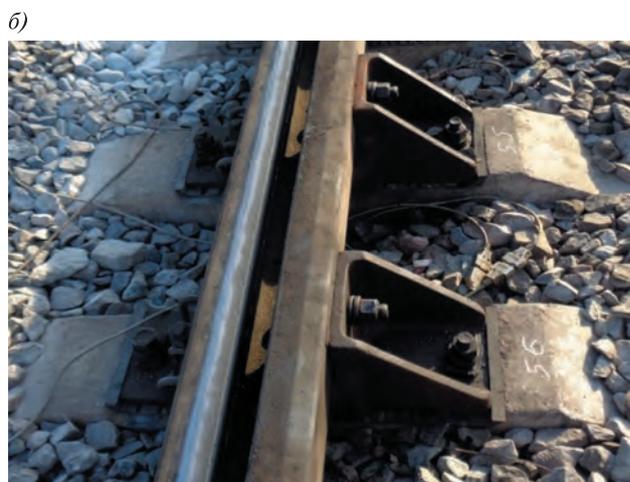


Рис. 4. Опытные контррельсовые подкладки, уложенные в путь для проведения испытаний:  
а — вид сбоку; б — вид сверху\*  
\* Фото автора

Fig. 4. Experimental counter-rail rail pads laid for testing:  
а — side view; б — top view\*  
\* Photo made by the author

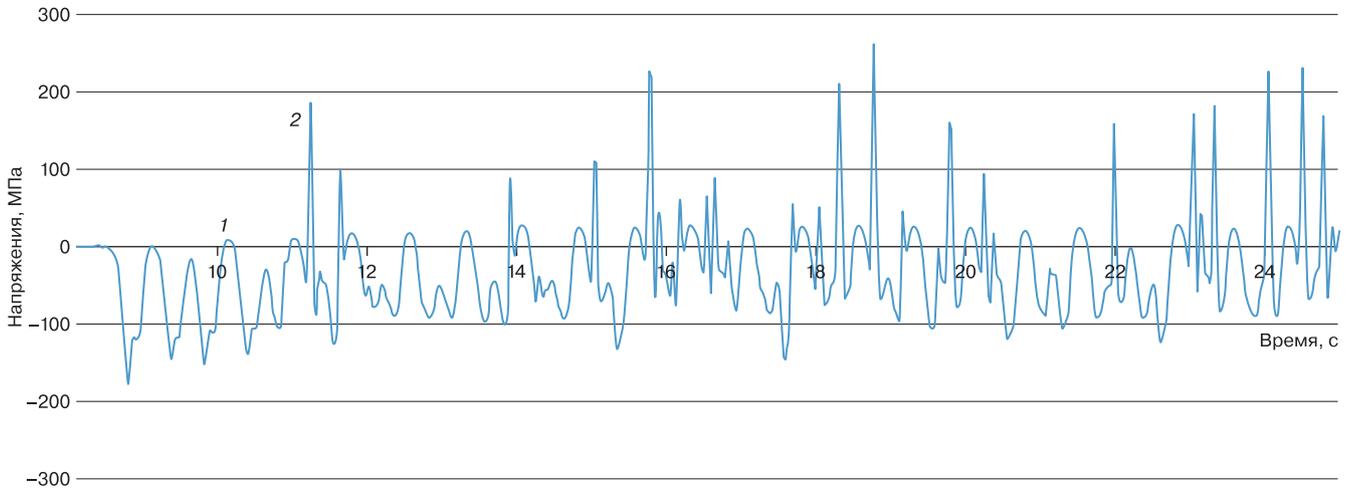


Рис. 5. Напряжения в подошве подкладки при проходе испытательного поезда\*:  
1 — циклические; 2 — дополнительные (динамические добавки)

\* Источник: данные автора

Fig. 5. Stresses in the sole of the rail pad during the passage of the test train\*:

1 — cyclical; 2 — additional (dynamic additives)

\* Source: author's data

крестовины и контррельсом), а также параметров колеи проходящего подвижного состава (толщина гребней и насадка колесных пар). Для среднесетевых условий эта доля составляет 30–40% от общего количества циклов. В условиях проведенных испытаний использовался один и тот же подвижной состав, а параметры рельсовой колеи были одинаковы, поэтому доля колес дополнительно воздействующих на контррельс также оказалась одинаковой, в среднем около 32,5–33%.

Анализ данных, полученных от воздействия испытательного поезда, показал (табл. 2.), что параметры распределений наибольших напряжений первого вида в цикле для типовых и опытных подкладок соответственно составляют: средние величины —

78 и 57 МПа, максимальные вероятные значения наибольших напряжений — 128 и 102 МПа, т.е. преимущество опытных — 25,5%. Коэффициенты асимметрии циклов нагружения первого вида с учетом монтажных напряжений от затяжки болтов колеблются в пределах  $(-0,15) - (-0,25)$ .

Параметры распределений циклов с дополнительным нагружением следующие: средние величины наибольших напряжений для типовых и опытных подкладок соответственно равны 215 и 172 МПа. Максимальные вероятные значения наибольших напряжений — 348 и 277 МПа, т.е. преимущество опытных — 25,6%. Коэффициенты асимметрии циклов нагружения от  $(-0,68)$  до  $(+0,10)$ .

Таблица 2

Параметры циклов нагружения подкладок с упором от воздействия испытательного поезда, МПа\*

Table 2

Parameters of rail pad with stop block stress cycles from the exposure of the test train, MPa\*

Вид цикла нагружения	Типовая подкладка		Опытный образец	
	изгибные	дополнительные	изгибные	дополнительные
Математическое ожидание наибольшего напряжения в цикле	78	215	57	172
Среднеквадратическое отклонение	20	53	18	42
Максимальные вероятные значения наибольших напряжений	128	348	102	277
Коэффициент асимметрии цикла нагружения	$(-0,15) - (+0,25)$	$(-0,68) - (+0,05)$	$(-0,15) - (+0,22)$	$(-0,60) - (+0,10)$
Доля циклов нагружения	67%	33%	67,5%	32,5%

\* Источник: данные автора

\* Source: author's data

Полученные данные по прочностным показателям материала подкладок и напряженному состоянию их в пути под воздействием поездной нагрузки позволяют произвести с помощью предложенной выше модели сравнительные расчеты распределения ресурса подкладок в вероятностном аспекте.

Сравнительные ресурсные показатели типовых и опытных подкладок с упором были рассчитаны для условий испытаний, реализуемых на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ».

При проведении расчетов данные табл. 2 были возвращены в двумерные распределения:

$$\sigma_g = k\sigma_g(\sigma_n, r), \quad (13)$$

где  $k$  — доля циклов нагружения, т.е.  $k=0,67$  для циклов изгибных напряжений, а  $k=0,33$  для циклов «дополнительных» напряжений;  $\sigma_n$  — наибольшие напряжения цикла нагружения;  $r$  — коэффициент асимметрии цикла нагружения.

Показатель угла наклона усталостной кривой для углеродистых сталей  $m$  составляет 5–6 [11]. При выполнении настоящих расчетов принята величина  $m=6$ . Результаты расчетов показаны на рис. 6.

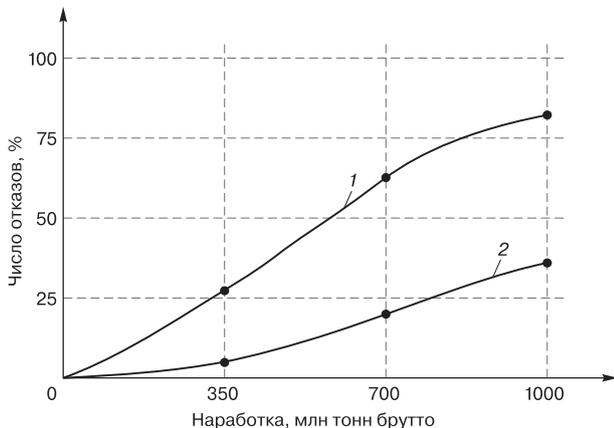


Рис. 6. Расчетные ресурсные показатели подкладок с упором\*:  
1 — типовые подкладки; 2 — опытные  
\* Источник: разработан автором

Fig. 6. Estimated resource indicators of rail pads with stop blocks\*:  
1 — standard rail pads; 2 — prototypes  
\* Source: developed by the author

Из графиков прогнозируемых отказов подкладок с упором видно, что предлагаемый вариант подкладок с упором позволяет значительно снизить число их отказов в эксплуатационной работе. Так, для условий Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» к моменту наработки стрелочного перевода, близкой к среднесетевой нормативной (350 млн т брутто), число отказавших типовых подкладок с упором составляет более 25,5%, а число таких же отказов подкладок предлагаемой конструкции — всего 5,3%. При вдвое

большей наработке отказы получают до 65% типовых подкладок и около 20% предлагаемых.

**Результаты.** Построенная модель распределения вероятности отказов контррельсовых подкладок с упором позволяет определять показатели ресурса подкладок в зависимости от прочностных параметров материала, напряженного состояния подкладок под воздействием поездной нагрузки и монтажных напряжений, возникающих при установке подкладки в узел.

Динамико-прочностные испытания, проведенные на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», показали, что под воздействием проходящего железнодорожного подвижного состава в подкладке возникает два вида напряжений — циклические напряжения, возникающие при проходе колес над подкладкой, вызванные прогибом рельса крестовины под нагрузкой, и дополнительные напряжения, возникающие от дополнительного бокового воздействия колес на контррельс.

Результаты испытаний типовых и опытных подкладок с упором в условиях Экспериментального кольца выявили, что преимущество опытных подкладок по уровню напряжений в наиболее нагруженных сечениях составляет около 25%. Прогнозируемый ресурс предлагаемых подкладок с упором на 20% превышает ресурс типовых подкладок, используемых в настоящее время.

**Обсуждение и заключение.** Вероятность безотказной работы контррельсовых подкладок с упором ниже, чем у контррельсов на протяжении всего периода работы в пути, то есть отказы подкладок с упором ограничивают работоспособность контррельсового узла в целом. Для решения задачи повышения ресурса всего контррельсового узла предлагается при проектировании использовать метод суммирования повреждений, предложенный в данной работе.

Разработанную и испытанную в рамках выполнения данной работы конструкцию подкладки с упором целесообразно использовать как при разработке новых образцов стрелочной продукции, так и при модернизации уже эксплуатируемой, так как она была разработана с учетом принципа взаимозаменяемости.

**Благодарности:** автор выражает благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

**Acknowledgments:** the author expresses his gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the 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 ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Глюзберг Б. Э. Система критериев и требований, определяющих скорости движения подвижного состава по стрелочным переводам // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 3. С. 198–211. EDN: <https://elibrary.ru/fvoefa>.

Glyuzberg B. E. System of criteria and requirements that determine rolling stock velocities along railroad switches. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(3):198–211. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/fvoefa>.

2. Глюзберг Б. Э., Титаренко М. И., Трегубчак П. В. Обеспечение перевозочного процесса при нагрузках на стрелочные переводы, превышающих проектные и нормативные критерии // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 3. С. 205–214. EDN: <https://elibrary.ru/pvmugq>.

Glyuzberg B. E. System of criteria and requirements that determine rolling stock velocities along railroad switches. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(3):205–214. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/pvmugq>.

3. Королев В. В. Перспективные разработки стрелочных переводов для российских железных дорог // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути.: Москва, 05–06 апреля 2017 г.: сб. мат. XIV науч.-техн. конф. Москва: 2017. С. 193–194. EDN: <https://elibrary.ru/xpqrdrv>.

Korolev V. V. Promising developments of switch switches for Russian railways. *Modern Problems Of Railway Track Design, Construction And Operation: Proceedings of the international conference, 05-06 April 2017, Moscow*. Moscow: 2017. P. 193–194. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/xpqrdrv>.

4. Титаренко М. И. Совершенствование конструкции стрелочных переводов // Путь и путевое хозяйство. 2002. № 9. С. 29–30.

Titarenko M. I. Improving the design of turnout switches. *Railway Track and Facilities*. 2002;(9):29–30. (In Russ.).

5. Глюзберг Б. Э., Королев В. В., Шишкина И. В. Новые конструкции контррельса для увеличения безопасности движения по стрелочным переводам // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2021. № 1. С. 38–41. EDN: <https://elibrary.ru/dcetrk>.

Glyuzberg B. E., Korolev V. V., Shishkina I. V. New counter-rail designs to increase traffic safety on turnouts. *History and prospects of transport development in the North of Russia: Materials of the proceedings of All-Russian scientific and practical conference*. 2021;(1):38–41. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/dcetrk>.

6. Королев В. В. Возможность изменения профиля контррельсового уголка СП-850 // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 9. С. 29–31. EDN: <https://elibrary.ru/hwgdov>.

Korolev V. V. Possibility to change the angle profile of the counter-rail SP-850. *Railway Track and Facilities*. 2021;(9):29–31. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/hwgdov>.

7. Королев В. В. Варианты изменения контррельсового профиля // Транспортное строительство. 2022. С. 69–80. EDN: <https://elibrary.ru/ytjdvq>.

Korolev V. V. Options for changing the counter-rail profile. In: *Transport construction: Proceedings of the third All-Russian scientific and technical conference, Moscow*. Moscow: Pero; 2022. P. 69–80. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ytjdvq>.

8. Рихтер Е. Е. К вопросу увеличения ресурса контррельсовых подкладок // Путь и путевое хозяйство. 2024. № 6. С. 21–22. EDN: <https://www.elibrary.ru/yzziib>.

Richter E. E. On the issue of increasing the resource of counter-rail linings. *Railway Track and Facilities*. 2024;(6):21–22. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/yzziib>.

9. Рихтер Е. Е. Совершенствование конструкции подкладки контррельса стрелочного перевода // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2 (50). С. 14–20. EDN: <https://elibrary.ru/vfefoo>.

Richter E. E. Improvement of the switch counter-rail lining design. *Vestnik UrGUPS*. 2021;2(50):14–20. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vfefoo>.

10. Подойников В. Г., Рихтер Е. Е., Проценко Г. Г. Разработка дискретной модели и расчетные исследования прочности конструкции подкладок контррельса // РСРП-Эксперт. 2013. № 12. С. 20–22.

Podoinikov V. G. Development of a discrete model and computational studies of the structural strength of counter-rail lining. *RSP-Expert*. 2013;(12):20–23. (In Russ.).

11. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993. 363 с.

Kogaev V. P. *Calculations for strength under time-varying stresses. 2nd ed., revision and additions*. Moscow: Mashinostroenie; 1993. 363 p. (In Russ.).

12. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.

Kapur K., Lamberson L. *Reliability and system design*. Moscow: Mir, 1980. 604 p. (In Russ.).

13. Гохфельд Д. А., Чернявский О. Ф. Несущая способность конструкций при повторных нагружениях. М.: Машиностроение, 1979. 263 с.

Gohfeld D. A., Chernyavskiy O. F. *Bearing capacity of structures under repeated loads*. Moscow: Mashinostroenie; 1979. 263 p. (In Russ.).

14. Коллинз Д. Повреждение материалов в конструкциях: анализ, предсказание, предотвращение. М.: Мир, 1984. 624 с.

Collins D. A. *Damage to materials in structures: analysis, prediction, prevention*. Moscow: Mir; 1984. 624 p. (In Russ.).

15. Розанов Ю. А. Случайные процессы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1979. 183 с.

Rozanov Yu. A. *Random processes*. 2nd ed., revision and additions. Moscow: Mir; 1979. 183 p. (In Russ.).

16. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1971. 576 с.

Mitropolskiy A. K. *Statistical computing techniques*. 2nd ed., revision and additions. Moscow: Nauka; 1971. 576 p. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Михаил Евгеньевич БЕРЕЗОВСКИЙ**,  
заместитель генерального директора, Акционерное общество «Новосибирский стрелочный завод» (АО «НСЗ») (630025, г. Новосибирск, ул. Аксенова, 7), AuthorID: 1277422, ORCID 0009-0009-1414-8376

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Mikhail E. BEREZOVSKII**,  
Deputy General Director, Novosibirsk Switch Plant (Novosibirsk, 7, Aksenova st.), AuthorID: 1277422, ORCID 0009-0009-1414-8376

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 04.12.2024, рецензия от первого рецензента получена 10.12.2024, рецензия от второго рецензента получена 11.12.2024, принята к публикации 09.01.2025.

The article was submitted 04.12.2024, first review received 10.12.2024, second review received 11.12.2024, accepted for publication 09.01.2025.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 625.143(045)

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

Научная специальность: 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог



## Определение напряженно-деформированного состояния упругой клеммы рельсового скрепления W30

В. С. Коссов, О. Г. Краснов✉, М. В. Тимаков,  
А. Л. Протопопов, С. В. Чунин, М. А. Литвинов

Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ), Коломна, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** При проектировании упругих клемм промежуточных рельсовых скреплений проводится оценка их прочностных характеристик. В современных условиях этот вопрос решается моделированием на основе метода конечных элементов. Для получения достоверных результатов расчёта проводится верификация конечно-элементной модели. Целью статьи является моделирование упругой клеммы Skl 14 промежуточного рельсового скрепления W30, а также верификация полученных результатов путем тензометрирования клеммы при статическом нагружении на стенде.

**Материалы и методы.** Для моделирования напряженно-деформированного состояния упругой клеммы Skl 14 разработана конечно-элементная модель клеммы, которая включает 450 000 элементов типа «тетраэдр» размером 1 мм и 90 000 узлов. Для проведения верификации разработанной модели и результатов расчета проведены лабораторные испытания натурной клеммы с определением напряжений кручения и изгиба методом тензометрирования. Датчики базой  $l = 5$  мм для регистрации касательных напряжений от кручения наклеивались под углом  $45^\circ$  на диаметрально противоположных участках прутка на внешнем и внутреннем радиусах в зонах технологических перегибов упругой клеммы. Для регистрации изгибных напряжений датчики наклеивали в верхней части наружных поперечных участков упругой клеммы.

**Результаты.** Выполнена виртуальная и экспериментальная тарировка упругой клеммы. Расчетным путем определены напряжения кручения, изгиба и эквивалентные. Показано, что наиболее высокий уровень эквивалентных напряжений наблюдается в зонах технологических перегибов. Выполнен сравнительный анализ расчетных и экспериментальных значений напряжений в контрольных точках.

**Обсуждение и заключение.** Средняя величина расхождений по 13 контрольным точкам составила 10,1%. Это позволяет сделать вывод, что разработанная конечно-элементная модель упругой клеммы Skl 14 с достаточной для практического применения точностью может использоваться для определения ее напряженно-деформированного состояния, уровни напряжений могут стать эталонами при разработке новых конструкций клемм. Исследования напряженно-деформированного состояния упругих клемм целесообразно продолжить в условиях эксплуатации с определением влияния скорости движения, осевой нагрузки, конструкции экипажных частей, состояния колесных пар и состояния поверхности катания рельсов, а также с использованием примененной методики анализа.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** промежуточное рельсовое скрепление, упругая клемма, конечно-элементная модель, касательные, изгибные, эквивалентные напряжения, тензометрирование, верификация, сходимость

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Коссов В. С., Краснов О. Г., Тимаков М. В., Протопопов А. Л., Чунин С. В., Литвинов М. А. Определение напряженно-деформированного состояния упругой клеммы рельсового скрепления W30 // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 1. С. 51–59.

✉ [krasnov-og@vnikti.com](mailto:krasnov-og@vnikti.com) (О. Г. Краснов)

© Коссов В. С., Краснов О. Г., Тимаков М. В., Протопопов А. Л., Чунин С. В., Литвинов М. А., 2025

Original article

UDK 625.143(045)

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

Scientific specialty: 2.9.2. Railway track, survey and design of railways



## Determining the stress-strain state of the elastic clip of rail fastening W30

Valery S. Kossov, Oleg G. Krasnov✉, Maksim V. Timakov,  
Andrey L. Protopopov, Sergey V. Chunin, Maksim A. Litvinov

Research, Design and Technology Institute of Rolling Stock,  
Kolomna, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The article provides performance evaluation of the elastic clip of intermediate rail fastening during their strength characteristics assessment. In modern conditions this issue is solved by modelling using the finite element method. In order to obtain reliable calculation results, the authors carry out verification of the finite element model. The purpose of the article is to model Skl 14 elastic clip of W30 intermediate rail fastening, as well as to verify the obtained results of the clip under static loading on the test bench by strain-gauging method.

**Materials and methods.** For stress-strain modelling the researchers developed a finite element model of the elastic clip, which includes 450,000 elements of the tetrahedron type of size 1 mm and 90,000 nodes. In order to verify the developed model and the calculation results, laboratory tests of full-scale terminal were carried out while determining tangential and bending stresses by strain-gauging method of a full-scale clip were performed while determining torsional and bending stresses by the strain-gauging method. Sensors with base of  $l = 5$  mm for recording tangential stresses due to torsion were glued at  $45^\circ$  on diametrically opposite sections of the bar on the outer and inner radii in the zones of technological bends of the elastic clip. Sensors were glued on the upper part of the outer transverse sections of the elastic clip to register bending stresses.

**Results.** Virtual and experimental calibration of the elastic clip was performed. Calculation tests were conducted to determine tangential, bending and equivalent stresses. They showed that the highest level of equivalent stresses is observed in the zones of technological bends. A comparative analysis of calculated and experimental values of stresses at measuring points was performed.

**Discussion and conclusion.** The average value of discrepancies for 13 test points was 10.1%, which allows to conclude that the developed finite element model of Skl 14 elastic clip with a sufficient accuracy for practical application could be used to determine its stress-strain state, and the stress levels may become standards for the development of new clip designs. It is advisable to continue studies of the stress-strain state of elastic clips under operating conditions with the determination of speed influence, axial load, undercarriage design, condition of wheel pairs and tread of rails, as well as to use the applied analysis methodology.

**KEYWORDS:** intermediate rail fastening, elastic clip, finite element model, tangential, bending and equivalent stresses, strain-gauging method, verification, convergence

**FOR CITATION:** Kossov V.S., Krasnov O.G., Timakov M.V., Protopopov A.L., Chunin S.V., Litvinov M.A. Determining the stress-strain state of the elastic clip of W30 rail fastening. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(1):51–59. (In Russ.).

✉ [krasnov-og@vnikti.com](mailto:krasnov-og@vnikti.com) (O. G. Krasnov)

© Kossov V.S., Krasnov O.G., Timakov M.V.,  
Protopopov A.L., Chunin S.V., Litvinov M.A., 2025

**Введение.** Рельсовые крепления служат для крепления рельсов к шпалам, выполняя при этом ряд важных задач:

- сохранять стабильность рельсовой колеи;
- упруго передавать динамические воздействия от колес железнодорожного подвижного состава;
- гасить высокочастотные вибрации, интенсифицирующие накопление остаточных деформаций балластного слоя земляного полотна железнодорожного пути;
- обеспечивать достаточное сопротивление продольному перемещению рельса.

На российских железных дорогах с рельсовыми креплениями системы W30 Vossloh (Фоссло) эксплуатируется 2269 км железнодорожного пути или 2% от общей протяженности [1].

Недостатком рельсовых креплений системы W30 является непрочность боковых полимерных упоров Wfp 30K-12NT [2].

Упругая клемма Skl 14 является элементом узла рельсового крепления системы W30 (рис. 1), которая создает стабильное прижимное усилие и сопротивление уgonу рельса. Центральная петля упругой клеммы предотвращает раскантовку рельса, а также защищает свободные концы клеммы от деформаций.

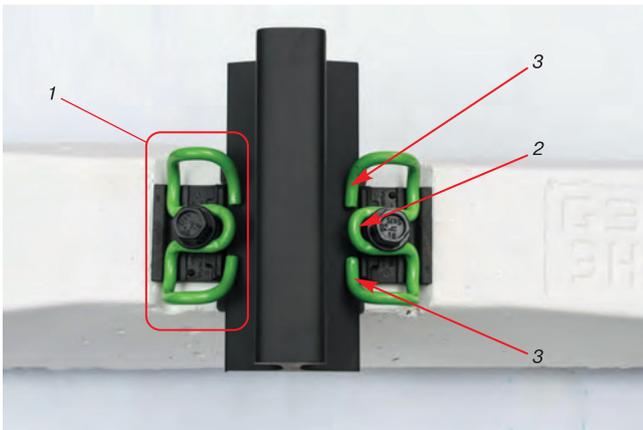


Рис. 1. Общий вид промежуточного рельсового крепления системы W30\*:

1 — упругая клемма Skl 14; 2 — центральная петля упругой клеммы; 3 — свободные концы клеммы

\* Источник: сайт компании Vossloh<sup>1</sup>

Fig. 1. General view of the intermediate rail fastening of W30 system\*:

1 — Skl 14 elastic clip; 2 — central loop of elastic clip; 3 — free clip ends

\* Source: Vossloh company website<sup>1</sup>

В связи с развитием в России высокоскоростного движения конструкции железнодорожного пути с ресурсом 2,5 млрд т брутто пропущенного тоннажа российскими конструкторами разрабатываются новые типы

промежуточных рельсовых клемм. Учитывая положительный опыт эксплуатации упругих клемм Skl 14, разработчики рельсовых креплений ЖБР-65ПШР (модернизированное), ЖБР-65ПШТ, ИЦТ2П.1, ИЦТ2У.2 применили форму упругих клемм в виде пространственного кривого бруса. Для отработки конструкций вновь разрабатываемых упругих клемм важно иметь верифицированную конечно-элементную модель. Создание надежных конструкций упругих клемм позволит повысить потребительские свойства рельсовых креплений и ресурс пути в целом.

**Материалы и методы.** Для определения допустимых уровней эквивалентных напряжений в настоящей статье поставлена цель исследовать напряженно-деформированное состояние упругой клеммы Skl 14, как прошедшей широкую эксплуатационную апробацию.

Для определения напряженно-деформированного состояния упругих клемм Skl 14 теоретическими и экспериментальными методами необходимо изучить зависимости напряжений изгиба и кручения, а также перемещения усов упругой клеммы от приложенной силы. Для проведения теоретических исследований была разработана конечно-элементная модель упругой клеммы, представленная на рис. 2.

Вариации размера и типа конечных элементов при нагружении единичной силой привели к выбору в пользу элемента типа «тетраэдр» размером 1 мм.

Конечно-элементная модель упругой клеммы включает 450 000 элементов типа «тетраэдр», образованных 90 000 узлами. Была выполнена виртуальная тарировка упругой клеммы Skl 14 и произведено сравнение результатов с натурным экспериментом. Конечно-элементная модель клеммы в зоне центральной петли через пластик, имитирующий плоскую шайбу, нагружалась вертикальной ступенчатой нагрузкой. При увеличении силы, имитирующей величину затяжки путевого шурупа, увеличивался прогиб центральной петли, и с шагом 1 мм фиксировалась величина этой силы в данный момент (рис. 2). График зависимости прогиба упругой клеммы Skl 14 от величины вертикальной силы, прилагаемой к упругой клемме, представлен на рис. 3.

Из графика видно, что при прогибе центральной петли клеммы 8 мм, усилие прижатия имитатора шурупа к центральной петле составляет 21 кН. Величины эквивалентных напряжений в клемме и их распределение представлены на рис. 4. Анализ напряженно-деформированного состояния показал, что максимальные эквивалентные напряжения возникают в зонах технологических перегибов.

<sup>1</sup> Сайт компании Vossloh [Электронный ресурс]: <https://vossloh-rail.ru/wp-content/uploads/2020/10/1-%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BF%D0%BB-scaled.jpg> (дата обращения: 13.02.2025).

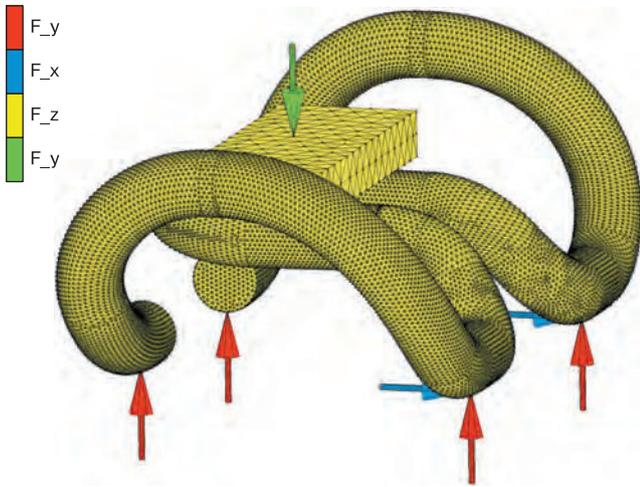


Рис. 2. Конечно-элементная модель упругой клеммы промежуточного рельсового скрепления системы W30\*: зеленой стрелкой обозначена сила, приложенная к металлическому платику; красными стрелками обозначены закрепления модели от вертикальных смещений в зоне контакта со скреплением; синими стрелками обозначены закрепления модели от горизонтальных поперечных смещений в зоне контакта со скреплением; на плоскости симметрии модель закреплена от продольных горизонтальных смещений в зоне контакта со скреплением  
\* Источник: разработано авторами

Fig. 2. Finite element model of the elastic clip of the intermediate rail fastening system W30\*: the green arrow indicates the force applied to the metal pad; the red arrows indicate the anchoring of the model from vertical displacements in the contact surface with the clip; the blue arrows indicate the anchoring of the model from horizontal transverse displacements in the contact surface with the clip; on the centre plane the model is fixed from longitudinal horizontal displacements in the contact surface with clip  
\* Source: developed by the authors

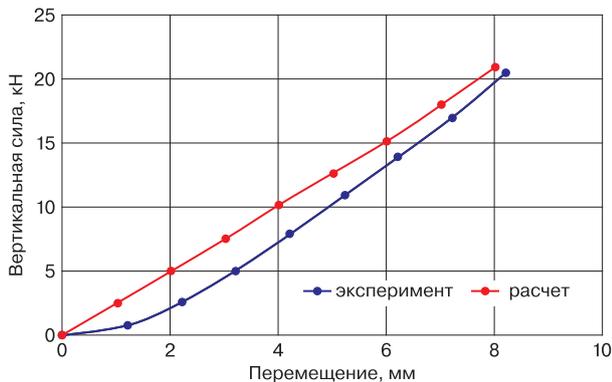


Рис. 3. Зависимости прогиба упругой клеммы Skl 14 от величины вертикальной силы, прилагаемой к упругой клемме промежуточного рельсового скрепления системы W30\*: синяя линия — эксперимент; красная линия — расчет  
\* Источник: разработано авторами

Fig. 3. Dependences of the deflection of Skl 14 elastic clip on the magnitude of the vertical force applied to the elastic clip of the intermediate rail fastening system W30\*: blue line — experiment; red line — calculation  
\* Source: developed by the authors

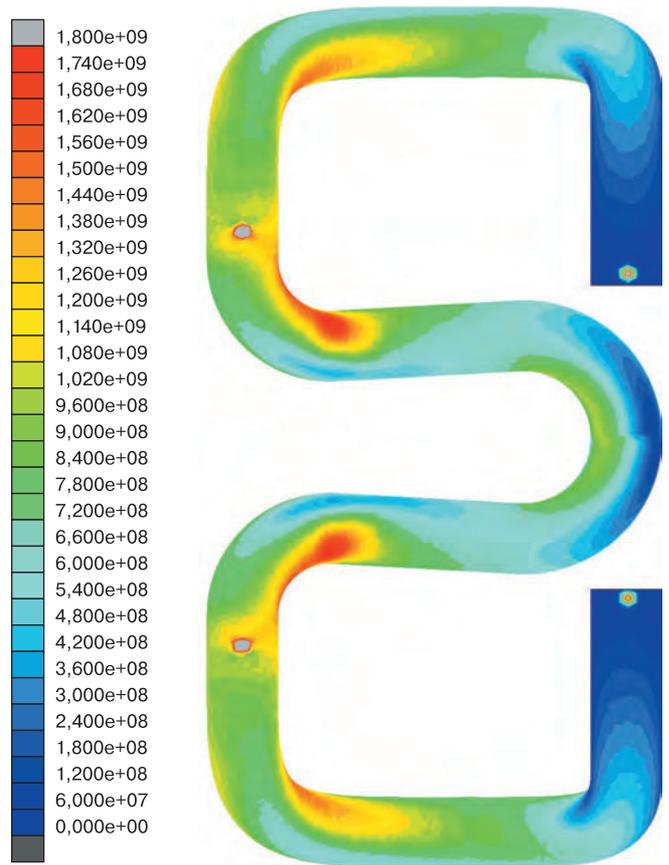


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние упругой клеммы Skl 14 при виртуальном прогибе центральной петли\*  
\* Источник: разработано авторами

Fig. 4. Stress-strain state of Skl 14 elastic clip at virtual deflection of the central loop\*  
\* Source: developed by the authors

Для более наглядного представления уровней эквивалентных напряжений упругой клеммы Skl 14 рассмотрены фрагменты с контрольными точками. Наиболее характерные представлены на рис. 5. В контрольных измерительных точках, расположенных в характерных зонах, определялись усредненные уровни напряжений по нескольким узловым точкам, расположенным на поверхности клеммы, что характерно для тензодатчиков базой 5 мм, которые применялись при экспериментальных исследованиях.

Для верификации разработанной конечно-элементной модели по величинам механических напряжений были проведены экспериментальные исследования по изучению зависимости напряжений изгиба и кручения от приложенной силы. Выполнены лабораторные испытания натурной клеммы с определением напряжений кручения, а также изгиба методом тензометрирования. Датчики базой  $l = 5$  мм для регистрации касательных напряжений от кручения

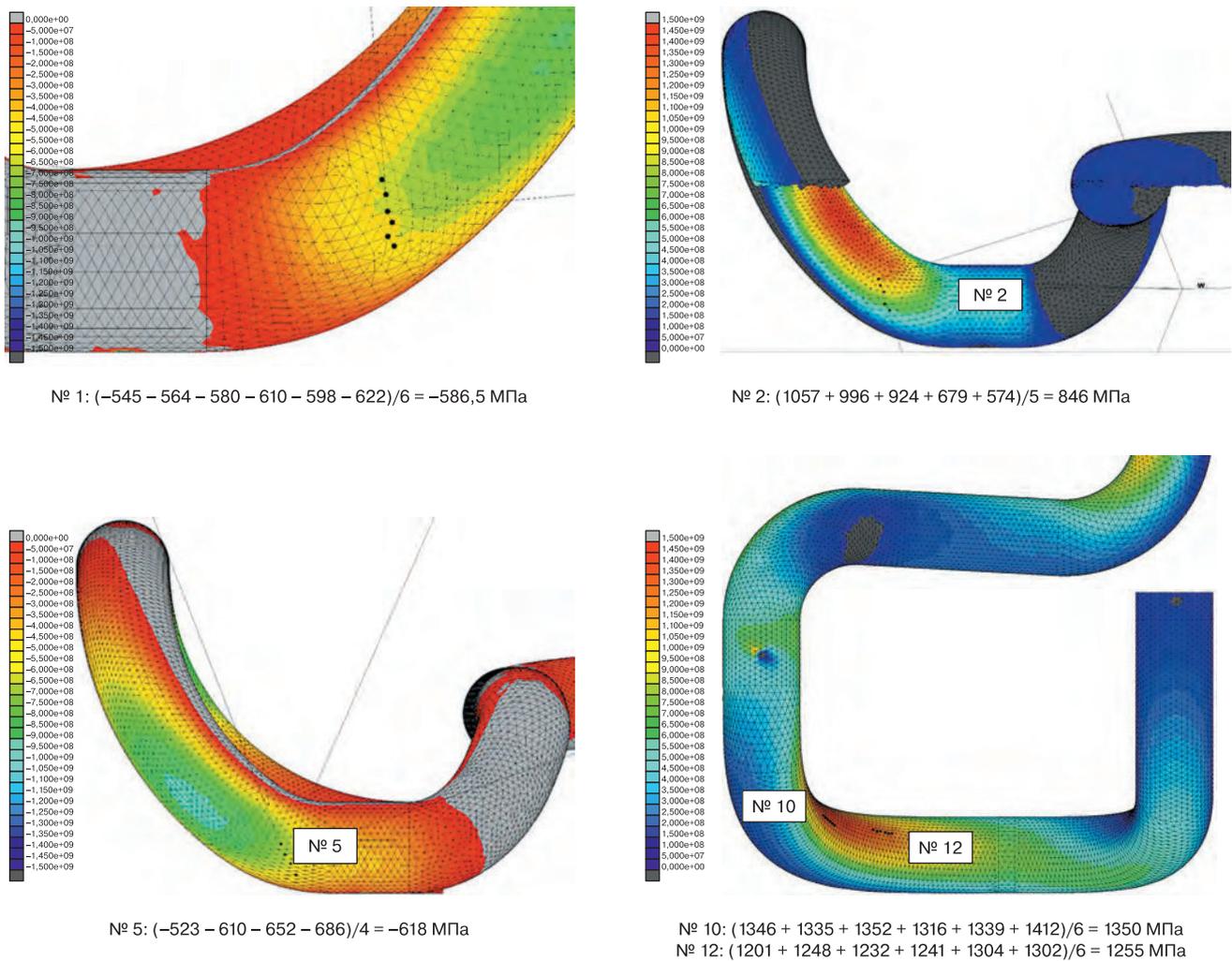


Рис. 5. Характерные фрагменты упругой клеммы Skl 14 промежуточного рельсового крепления системы W30: усреднение значений механических напряжений по узлам, попадающим в зону наклейки тензодатчика базой 5 мм в заданном направлении по его длине и ширине\*

\* Источник: разработано авторами

Fig.5. Characteristic fragments of Skl 14 elastic clip of the intermediate rail fastening of the W30 system: averaging of mechanical stress values over nodes getting into the area of the strain-gauging sensor setting with a base of 5 mm in a given direction along its length and width\*

\* Source: developed by the authors

наклеивались под углом  $45^\circ$  на диаметрально противоположных участках прутка на внешнем и внутреннем радиусах в зонах технологических перегибов упругой клеммы. Для регистрации изгибных напряжений датчики наклеивали в верхней части наружных поперечных участков упругой клеммы в соответствии со схемой (рис. 6). На клемму крепления были установлены тензорезисторы № 1–8 для измерения напряжений кручения и № 9–16 для измерения напряжений, действующих в продольном относительно оси прутка направлении.

Общий вид упругой клеммы Skl 14 промежуточного рельсового крепления системы W30 с установленными тензорезисторами показан на рис. 7.

Клемма Skl 14, оборудованная тензорезисторами для измерения напряжений кручения и изгиба, установленная в ложементе для нагружения на испытательной машине ИК-100, показана на рис. 8, а. Клемма Skl 14 ступенчато нагружалась вертикальной силой при перемещениях 0, 1, 2...8 мм на испытательной машине ИК-100. Процесс нагружения клеммы вертикальной силой и перемещения центральной петли упругой клеммы от приложенной силы показан на рис. 8, б. При каждой ступени нагружения проводилась регистрация напряжений с выводом результатов на измерительный комплекс.

**Результаты.** Результаты измерений напряжений представлены в табл. 1.

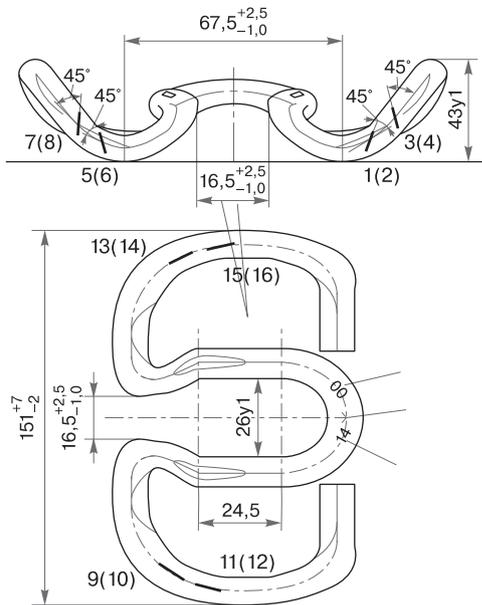


Рис. 6. Схема расположения и нумерация контрольных точек (датчиков) для измерения механических напряжений в клемме промежуточного рельсового скрепления системы W30\*:  
 1–8 — датчики для измерения напряжений кручения; 9–16 — датчики для измерения напряжений, действующим в продольном относительно оси прутка направлении  
 \* Источник: разработан авторами

Fig. 6. Layout and numbering of measuring points (sensors) for measuring mechanical stresses in clip of the intermediate rail fastening system W30\*:  
 1–8 — sensors for measuring tangential stresses; 9–16 — sensors for measuring stresses acting longitudinally relative to the axis of the rod  
 \* Source: developed by the authors

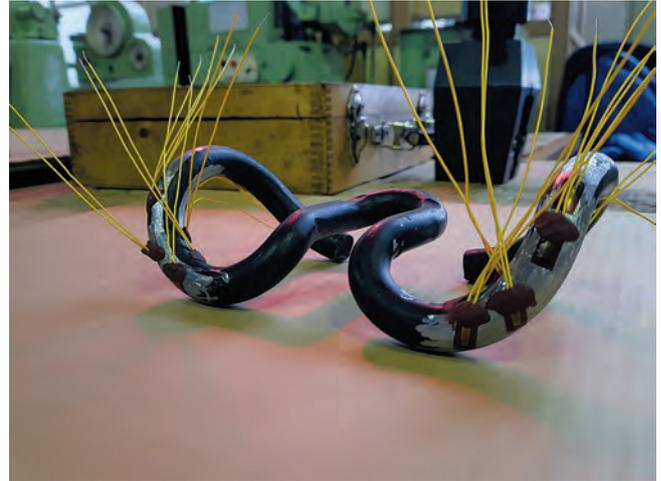


Рис. 7. Расположение измерительных схем тензодатчиков на упругой клемме Skl 14 промежуточного рельсового скрепления системы W30\*  
 \* Источник: фото авторов

Fig. 7. Arrangement of the measuring circuits of strain gauge sensors on SKL 14 elastic clip of the intermediate rail fastening of the W30 system\*  
 \* Source: authors photo

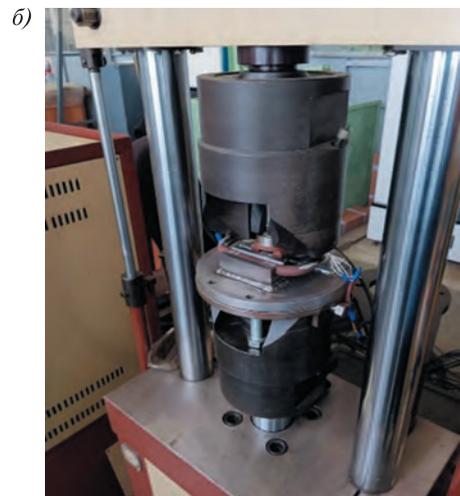


Рис. 8. Стендовые испытания упругой клеммы на универсальной машине для испытаний материалов ИК-100.01М\*:  
 а) установленная в ложементе клемма, оборудованная тензорезисторами для измерения напряжений кручения и изгиба;  
 б) процесс нагружения клеммы вертикальной силой и перемещения центральной петли упругой клеммы  
 \* Источник: фото авторов

Fig. 8. Bench tests of an elasticclip on a universal material testing machine IK-100.01M\*:  
 а) clip installed in the base plate, equipped with strain gauges for measuring tangential and bending stresses;  
 б) the process of loading the clip with vertical force and moving the central loop of the elastic clip  
 \* Source: authors photo

Таблица 1

Результаты измерений напряжений (МПа) в контрольных точках (1–16) для разных значений пошаговых вертикальных перемещений\*

Table 1

The results of stress measurements (MPa) at measuring points (1–16) for different values of gradual vertical movements\*

№ точки	Перемещение, мм								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–4	–70	–130	–195	–264	–337	–411	–485	–560
2	0	104	189	273	362	455	550	640	731
3	–1	–56	–105	–157	–215	–276	–337	–398	–462
4	–1	45	100	150	190	230	290	350	420
5	7	–23	–88	–161	–241	–331	–427	–520	–610
6	–4	41	142	258	385	523	657	794	929
7	–1	–30	–92	–162	–236	–313	–397	–484	–572
8	0	13	43	76	112	149	187	227	268
9	0	–119	–234	–355	–484	–607	–725	–850	–971
10	3	126	246	373	507	635	762	897	1040
12	3	136	264	399	540	672	791	925	1053
13	0	–47	–150	–265	–387	–509	–634	–762	–889
14	–1	66	212	378	552	726	906	1093	1289
15	1	–41	–130	–231	–333	–430	–533	–638	–740
16	–1	58	184	326	470	603	748	896	1039

\* Источник: разработано авторами

\* Source: developed by the authors

**Обсуждение.** Анализ уровней касательных напряжений (контрольные точки 1–8) показал, что последние изменяются в широком диапазоне. Датчики, расположенные на противоположных сторонах прутка, фиксируют касательные напряжения противоположного знака — напряжения сжатия «–» и напряжения растяжения «+». Средние величины касательных напряжений в зонах технологических перегибов составляли 569 МПа, при этом максимальные значения достигали 929 МПа. Их величины в значительной степени зависели от точности пространственной ориентации при наклейке датчиков. Согласно [2] подтверждается вывод о том, что фактическое место и величина максимального напряжения упругой клеммы не могут быть точно определены тензодатчиками.

В контрольных точках 9–16, которые располагались в зонах технологических перегибов в прутках клеммы, возникает многоосное напряженное состояние, которое определяется одновременным действием крутящих и изгибающих моментов. Многоосное напряженное состояние в зонах технологических перегибов приводит к возникновению высоких значений эквивалентных напряжений, которые достигают значений 1255...1289 МПа. Проведенные экспериментальные измерения, выполненные методом

тензометрирования, показали уровни напряжений в этих точках ниже на 150...200 МПа. При этом средние уровни эквивалентных напряжений достигали 1003 МПа, максимальные — 1289 МПа. При этом согласно [3] предел прочности материала упругих клемм равен 1300 МПа. Учитывая, что уровни динамических напряжений в клеммах от воздействия подвижного состава в прямых участках пути и кривых радиусом более 650 м определяются прогибами подрельсового основания под поездной нагрузкой, которая достигает 1...1,3 мм [4], средние уровни динамических напряжений носят разгрузочный характер и не превышают 30...40 МПа [5]. Это определяет коэффициент запаса по усталости, близкий к единице, что считается допустимым для пружин [6] и подтверждается успешным опытом эксплуатации скреплений Sk1 14 как на отечественных, так и зарубежных железных дорогах.

В табл. 2 приведены сравнительные напряжения в контрольных точках упругой клеммы Sk1 14 при величине статического прогиба 8 мм, полученные при проведении моделирования и экспериментальных измерений.

К анализу принимались контрольные точки, в которых различие не превышало 25%. Выбросы имели место в трех точках из шестнадцати: 4, 6, 8. Средняя

величина расхождений по 13-ти контрольным точкам составила 10,1%. Это позволяет сделать вывод, что разработанная конечно-элементная модель упругой клеммы Skl 14 с достаточной для практического применения точностью может использоваться для определения ее напряженно-деформированного состояния.

Таблица 2

Сравнительные напряжения в контрольных точках, полученных расчетным и экспериментальным путем\*

Table 2

Comparative stresses in measuring points obtained by calculation and experiment\*

№ контрольной точки	Напряжения в контрольных точках по расчетным данным, МПа	Напряжения в контрольных точках по экспериментальным данным, МПа	Погрешность, %
1	586	560	4,4
2	846	731	13,5
3	477	462	3,1
4	730	420	42,4
5	618	610	1,3
6	576	929	38
7	606	572	5,6
8	913	268	70,5
9	978	971	0,7
10	1350	1040	22,9
11	989	940	4,9
12	1255	1053	16
13	991	889	10,3
14	1437	1289	10,2
15	919	740	19,4
16	1298	1039	19,9

\* Источник: разработана авторами

\* Source: developed by the authors

### Заключение

1. Разработанная конечно-элементная модель упругой клеммы Skl 14 с достаточной для практического применения точностью может использоваться для определения ее напряженно-деформированного состояния.

2. Выполненное моделирование позволило установить количественные величины касательных и эквивалентных напряжений в упругой клемме Skl 14 при нагружении квазистатической вертикальной нагрузкой.

3. Показано, что в зоне технологических перегибов в прутках клеммы возникает многоосное напряженное состояние, которое определяется одновременным действием крутящих и изгибающих моментов.

4. Многоосное напряженное состояние в зонах технологических перегибов приводит к возникновению высоких значений эквивалентных напряжений, которые достигают значений 1255...1289 МПа. Проведенные измерения, выполненные методом тензометрирования, показали, что уровни напряжений в этих точках ниже на 150...200 МПа.

5. Уровни динамических напряжений носят разгрузочный характер и не превышают 30...40 МПа, что определяет коэффициент запаса по усталости, близкий к единице. Это считается допустимым для пружин и подтверждается успешным опытом эксплуатации скреплений Skl 14 как на отечественных, так и зарубежных железных дорогах.

6. Предлагается продолжить исследования напряженно-деформированного состояния упругих клемм в условиях эксплуатации с определением влияния скорости движения, осевой нагрузки, конструкции экипажных частей, состояния колесных пар и состояния поверхности катания 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. Прокопенко О.С. Эксплуатация рельсовых скреплений на сети и новые разработки // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 2. С. 12–16. EDN: <https://elibrary.ru/bjtkvq>.
2. Prokopenko O.S. Operation of rail fastenings on the network and new developments. *Railway track and track facilities*. 2023;(2):12–16. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/bjtkvq>.
3. Ермаков В.М. Скрепления для железобетонных шпал: требования, обоснования, оценка // Путь и путевое хозяйство. 2009. № 2. С. 9–16. EDN: <https://elibrary.ru/ppdxrb>.
4. Ermakov V.M. Fastenings for reinforced concrete sleepers: requirements, justifications, assessment. *Railway track and track facilities*. 2009;(2):9–16. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ppdxrb>.
5. Кириленков С.А. Опыт эксплуатации скреплений Vossloh и Pandrol на Октябрьской дороге // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 8. С. 24–25. EDN: <https://elibrary.ru/vbbpnx>.
6. Kirilenkov S.A. Operation experience of Vossloh and Pandrol fastenings on the Oktyabrskaya railway. *Railway track and track facilities*. 2015;(8):24–25. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vbbpnx>.
7. Прокопенко О.С., Радыгин С.Ю., Низамиев М.Р. Перспективные решения для инфраструктурного комплекса // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 8. С. 6–7. EDN: <https://elibrary.ru/yqddsf>.
8. Prokopenko O.S., Radygin S.Yu., Nizamiyev M.R. Promising solutions for the system infrastructure. *Railway track and track facilities*. 2020;(8):6–7. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/yqddsf>.
9. Коссов В.С., Бидуля А.Л., Краснов О.Г. Нагруженность упругих клемм скрепления APC-4 при тяжеловесном движении //

Путь и путевое хозяйство. 2017. № 11. С. 20–23. EDN: <https://elibrary.ru/zssosb>.

Kossov V.S., Bidulya A.L., Krasnov O.G. Loading of elastic clips of fastenings ARS-4 during heavy-haul traffic. *Railway track and track facilities*. 2017;(11):20–23. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/zssosb>.

6. Ling L., Li W., Shang H., Xiao X., Wen Z., Jin X. Experimental and numerical investigation of the effect of rail corrugation on the behavior of rail fastenings. *Vehicle System Dynamics*. 2014;52(9):1211–1231. <https://doi.org/10.1080/00423114.2014.934844>.

7. Mohammadzadeh S., Ahadi S., Nouri M. Stress-based fatigue reliability analysis of the rail fastening spring clip under traffic loads. *Latin American Journal of Solids and Structures*. 2014;11(6):993–1011. <https://doi.org/10.1590/S1679-78252014000600006>.

8. Sadeghi J., Fesharaki M., Khajehdezfuly A. Influences of train speed and axle loads on life cycle of rail fastening clips. *Transactions of The Canadian Society for Mechanical Engineering*. 2015;39(1):1–11. <https://doi.org/10.1139/tcsme-2015-0001>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Валерий Семенович КОССОВ,

д-р техн. наук, профессор, генеральный директор, Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ, 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410), Author ID: 353160

### Олег Геннадьевич КРАСНОВ,

д-р техн. наук, заведующий отделом пути и специального подвижного состава, Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ, 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410), Author ID: 355854

### Максим Владимирович ТИМАКОВ,

заведующий лабораторией прочностных расчетов, Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ, 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410), Author ID: 1029566

### Андрей Леонидович ПРОТОПОПОВ,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ, 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410), Author ID: 882840

### Сергей Владимирович ЧУНИН,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией испытаний на усталость, Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ, 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410), Author ID: 1217811

### Максим Алексеевич ЛИТВИНОВ,

научный сотрудник, Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (ВНИКТИ, 140402, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410), <https://orcid.org/0009-0001-3228-1711>.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### Valery S. KOSSOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director, Research, Design and Technology Institute of Rolling Stock (140402, Kolomna, 410, Oktyabrskoy revolyutsii St.), Author ID: 353160

### Oleg G. KRASNOV,

Dr. Sci. (Eng.), Head of Track and Special Rolling Stock Department, Research, Design and Technology Institute of Rolling Stock (140402, Kolomna, 410, Oktyabrskoy revolyutsii St.), Author ID: 355854

### Maksim V. TIMAKOV,

Head of Strength Calculation Laboratory, Research, Design and Technology Institute of Rolling Stock (140402, Kolomna, 410, Oktyabrskoy revolyutsii St.), Author ID: 1029566

### Andrey L. PROTOPOPOV,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Research, Design and Technology Institute of Rolling Stock (140402, Kolomna, 410, Oktyabrskoy revolyutsii St.), Author ID: 882840

### Sergey V. CHUNIN,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Fatigue Testing Laboratory, Research, Design and Technology Institute of Rolling Stock (140402, Kolomna, 410, Oktyabrskoy revolyutsii St.), Author ID: 1217811

### Maksim A. LITVINOV,

Research Scientist, Research, Design and Technology Institute of Rolling Stock (140402, Kolomna, 410, Oktyabrskoy revolyutsii St.), <https://orcid.org/0009-0001-3228-1711>

## ВКЛАД АВТОРОВ

**Валерий Семенович КОССОВ.** Методическое и научное сопровождение, научное редактирование статьи (15 %).

**Олег Геннадьевич КРАСНОВ.** Анализ данных, написание статьи (15 %).

**Максим Владимирович ТИМАКОВ.** Разработка компьютерной модели упругой клеммы (20 %).

**Андрей Леонидович ПРОТОПОПОВ.** Разработка конечно-элементной модели упругой клеммы (20 %).

**Сергей Владимирович ЧУНИН.** Проведение экспериментальных исследований (20 %).

**Максим Алексеевич ЛИТВИНОВ.** Проведение расчетов, участие в лабораторных испытаниях (10 %).

## CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Valery S. KOSSOV.** Methodological and scientific assistance, scientific article editing (15 %).

**Oleg G. KRASNOV.** Data analysis, article writing (15 %).

**Maksim V. TIMAKOV.** Elastic clip computer model design (20 %).

**Andrey L. PROTOPOPOV.** Development of a finite element elastic clip model (20 %).

**Sergey V. CHUNIN.** Experimental research conduction (20 %).

**Maksim A. LITVINOV.** Performing calculations, participation in laboratory tests (10 %).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

Статья поступила в редакцию 16.01.2025, рецензия от первого рецензента получена 27.01.2025, рецензия от второго рецензента получена 03.02.2025, рецензия от третьего рецензента получена 07.02.2025, принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 16.01.2025, first review received 27.01.2025, second review received 03.02.2025, third review received 07.02.2025, accepted for publication 03.03.2025.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 625.11

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

Научная специальность: 2.9.2 Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог



## О подходах к обоснованию целесообразности изменения геометрии трассы со сложным планом железнодорожных линий

М. И. Мехедов<sup>1</sup>, В. А. Антонец<sup>2</sup>, В. А. Устинов<sup>1</sup>✉, В. Г. Федулин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Забайкальская железная дорога — филиал ОАО «РЖД», Чита, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассмотрены проблемы обеспечения надежной работы верхнего строения железнодорожного пути в кривых малого радиуса на примере наиболее грузонапряженных участков Транссибирской магистрали. Основной целью является разработка методики проведения сравнительного анализа участков, находящихся в разных условиях эксплуатации по критериям плана железнодорожной линии и длины участка. Это позволит оценивать целесообразность изменения плана железнодорожной линии криволинейных участков. В исследовании были использованы: показатели выхода острodefектных рельсов, наличие ограничений скорости 15 и 25 км/ч, затраты времени на ремонт и текущее содержание пути за период эксплуатации от последнего капитального ремонта железнодорожного пути.

**Материалы и методы.** Предложена методика сравнительного анализа участков по показателям изъятия из эксплуатации острodefектных рельсов, выдачи ограничений скорости, а также фактического предоставления «окон» для ремонта и текущего содержания путевой инфраструктуры на участках с различными условиями эксплуатации за истекший период жизненного цикла железнодорожного пути. Выбор участка-аналога для сравнения осуществлен по выбранным автором критериям. Исходные данные для исследования получены из автоматизированных информационных систем ОАО «РЖД».

**Результаты.** Установлена зависимость факторов, негативно влияющих на эксплуатационную работу участка железнодорожной линии от параметров плана железнодорожного пути. Полученные данные сравнительного анализа показали, что на участке, рассматриваемом для изменения плана железнодорожной линии, отмечено значительное превышение объемов работ по ремонту и текущему содержанию пути, выхода острodefектных рельсов и наличия лимитирующих ограничений скорости по сравнению с участком, аналогичным выбранному варианту проекта спрямления.

**Обсуждение и заключение.** Результаты исследования могут быть рекомендованы к использованию в качестве одного из разделов технико-экономического обоснования целесообразности изменения геометрии трассы участков с неблагоприятными эксплуатационными условиями, связанными с параметрами плана железнодорожной линии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** грузонапряженность, пропущенный тоннаж, кривые участки пути, ограничения скорости движения поездов, дефекты рельсов, план железнодорожной линии

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Мехедов М. И., Антонец В. А., Устинов В. А., Федулин В. Г. О подходах к обоснованию целесообразности изменения геометрии трассы со сложным планом железнодорожных линий // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 1. С. 60–71.

Original article

UDK 625.11

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

Scientific specialty: 2.9.2. Railway track, survey and design of railways



## Approaches to substantiating the expediency of changing routing geometry with a complex plan of railway lines

Mikhail I. Mekhedov<sup>1</sup>, Vladimir A. Antonets<sup>2</sup>,  
Vladimir A. Ustinov<sup>1</sup>✉, Vyacheslav G. Fedulin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Railway Research Institute,  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>TransBaikal Railway,  
Chita, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The subject of the study is the problems of ensuring reliable operation of the railway track superstructure in small radius curves on the example of the most heavy-traffic sections of the Trans-Siberian railroad. The main purpose is to create a comparative analysis methodology of sections under different operating conditions according to the criteria of railroad line layout and section length, which would enable to assess the feasibility of changing the layout of the railway line of curved sections. The parameters of the study include indices of a critical faulty rails output, presence of speed limits of 15 and 25 km/h, actual time expenditures for repair and current maintenance of the track for the period of operation after the last major repair.

**Materials and methods.** The author employed results of the analysis of actual indicators of withdrawal of critical faulty rails from operation, issuance of speed limits, actual provision of break for repair and current maintenance of railway track on sections with different operating conditions for the elapsed period of the life cycle. The source data for the study were obtained from the automated systems of JSC "Russian Railways".

**Results.** The conducted research established dependence of the factors negatively influencing the operational work of the railway line section on the parameters of its layout. The obtained data of the comparative analysis showed a significant excess of the volume of works on repair and current track maintenance, the output of critical faulty rails and the presence of limiting speed restrictions on the section considered for changing the alignment in comparison with the section similar to the selected variant of the straightening project.

**Discussion and conclusion.** The results of the study could be recommended for use as one of the sections of the feasibility study of the expediency of changing in the track sections routing geometry with unfavorable operating conditions related to the parameters of the layout of the railway line.

**KEYWORDS:** traffic density, passed tonnage, curved track, train speed restrictions, rail defects, layout of the railway line

**FOR CITATION:** Mekhedov M. I., Antonets V. A., Ustinov V. A., Fedulin V. G. Approaches to substantiating the expediency of changing routing geometry with a complex plan of railway lines. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(1):60–71. (In Russ.).

**Введение.** Техническое содержание сети железных дорог России требует больших экономических затрат, связанных с поддержанием надежности объектов инфраструктуры и обеспечением безопасности перевозочного процесса<sup>1</sup>. Надежностью железнодорожного пути является его способность обеспечивать в заданных условиях эксплуатации, текущего содержания и ремонтов<sup>2</sup> бесперебойный пропуск поездов с установленной скоростью движения.

В настоящее время в условиях тенденции российской логистики — перенаправления основных грузопотоков с запада на восток, общий грузооборот железнодорожного транспорта сохранил положительную динамику. При этом значительно возросла нагрузка на путевую инфраструктуру Восточного полигона, который включает в себя участки Транссибирской железнодорожной магистрали в границах обслуживания четырех железных дорог (Красноярская, Восточно-Сибирская, Забайкальская и Дальневосточная) и участки Байкало-Амурской магистрали в границах Восточно-Сибирской и Дальневосточной железных дорог.

Наиболее сложной в организации эксплуатационной работы является Забайкальская железная дорога, что обусловлено рядом особенностей технического, технологического, природного и демографического характера, в том числе сложным планом железнодорожного пути (более 45 % протяженности главного пути составляют кривые участки, из которых более половины (58 %) — кривые радиусом 650 м и менее).

Часть особенностей Забайкальской железной дороги имеет исторические корни. Предварительные и подробные изыскания трассы будущей железной дороги проводились еще в 80–90 годах XIX вв., а непосредственно сооружение железной дороги в Забайкалье началось в 1895 г. Наиболее подробно особенности изыскательских и проектных работ для Транссибирской магистрали в конце XIX и начале XX вв. изложены в [1, 2].

План железнодорожной линии до настоящего времени сохранился практически без изменений, чем и обусловлено наличие в границах дороги значительного количества прижимов, скальных выемок, кривых малого радиуса, подъемов и спусков. При существующих на сегодняшний день весовых нормах и скоростях движения грузовых поездов, а также по причине возрастающих осевых нагрузок данные особенности железнодорожной линии снижают эффективность и уровень безопасности эксплуатации путевой инфраструктуры.

Рассмотрены условия эксплуатации железнодорожного пути на участке Станция А — Станция В с протяженностью кривых около 80 % при среднесетевом параметре 32,5 % и преобладанием кривых малого радиуса (<350 м). Данные участки наиболее подвержены сверхинтенсивному износу рельсов и росту количества отступлений от норм содержания железнодорожного пути, что ведет к значительному росту эксплуатационных расходов и снижает пропускную способность всего направления.

На участке четного пути Станция А — Станция В протяженностью около 43 км только за период 7 лет от последнего капитального ремонта в общей сложности сменено порядка 125 км рельсовых нитей. Это значительно превышает все установленные нормативы. Кардинальное решение проблем эксплуатации данного участка возможно за счет спрямления плана линии и ликвидации кривых малого радиуса.

Целью работы является разработка методики проведения сравнительного анализа участков, находящихся в разных условиях эксплуатации по критериям плана железнодорожной линии и длины участка.

Специалистами РУТ (МИИТ) и проектного института «Гипротранспуть» — филиала АО «Росжелдорпроект» совместно было рассмотрено несколько вариантов типовых проектных решений спрямления железнодорожного пути на подобных участках. По результатам анализа технико-экономических показателей предварительно был выбран один из вариантов, при котором длина трассы сокращалась на 16 км или на 38 %. Кривые радиусом менее 1000 м в данном варианте отсутствуют, а также ликвидируются все дефектные искусственные сооружения (далее — вариант проектных решений № 1). Расчеты экономической эффективности реализации этого варианта проектного решения по реконструкции железнодорожного пути на участке Станция А — Станция В показали его коммерческую эффективность для ОАО «РЖД» [3].

Вариант новой трассы на участке Станция А — Станция В представлен на рис. 1.

Кроме того, различные варианты возможной реконструкции трассы на сложных участках железных дорог Восточного полигона рассмотрены в ряде работ ученых ДВГУПС, РУТ (МИИТ), ИрГУПС, в том числе исследован вариант ликвидации кривых малого радиуса на перегоне Станция А — Станция В. Предварительные результаты исследований подтверждают технико-экономическую эффективность спрямления трассы на таком участке [4–10].

<sup>1</sup> Методические рекомендации по комплексному управлению надежностью, безопасностью, ресурсами на основе оценки рисков на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 6 декабря 2016 г. № 2468р. Доступ из АСПИЖТ.

<sup>2</sup> Глоссарий железнодорожных терминов и определений [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 25 октября 2023 г. № 2663/р. Доступ из АСПИЖТ.



Рис. 1. Вариант новой трассы на участке Станция А — Станция В\*

\* Источник: рисунок авторов

Fig. 1. Option for a new route on the Railway station A — Railway station B section\*

\* Source: author's data

По ряду объективных причин данный проект не получил дальнейшего развития, но в условиях возрастающих объемов перевозок и дефицита пропускных способностей Восточного полигона руководством ОАО «РЖД» принято решение вернуться к рассмотрению данного вопроса с разработкой технико-экономического обоснования (далее — ТЭО) для текущих условий эксплуатации.

В дополнение к Требованиям<sup>3</sup>, регламентирующим состав и содержание обосновывающих материалов по инвестиционным проектам ОАО «РЖД» при разработке ТЭО, предложено выполнить сравнительный анализ существующего участка Станция А — Станция В и участка, аналогичного по параметрам спрямления выбранному варианту проектных решений № 1. Предлагаемый участок-аналог Станция Х — Станция У имеет те же эксплуатационные характеристики, что и исследуемый участок, при этом протяженность кривых на 30 % меньше и отсутствуют кривые малого радиуса.

**Материалы и методы.** Предлагаемая методика сравнительного анализа участков с различными условиями

эксплуатации основана на оценке их технического состояния и результатах анализа показателей изъятия из эксплуатации острodefектных рельсов, выдачи ограничений скорости движения поездов, а также нормативных и фактических затрат времени для ремонта и текущего содержания устройств инфраструктуры на различных этапах жизненного цикла с последующей экономической оценкой полученных результатов исследования (находится в стадии разработки).

Основными критериями выбора участка-аналога являются:

- длина участка (должна максимально соответствовать длине проектного участка);
- параметры плана линии (процент протяженности кривых участков, минимальная и максимальная величина радиусов кривых);
- тип верхнего строения железнодорожного пути;
- год и вид последнего капитального ремонта пути;
- грузонапряженность в четном и нечетном направлениях;
- пропущенный тоннаж по состоянию на 1 января 2024 г.

<sup>3</sup> Требования к составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 26 июня 2023 г. № 1597/р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 17.06.2024 № 1444/р). Доступ из АСПИЖТ.

Основные технические и эксплуатационные характеристики анализируемых участков должны максимально соответствовать в четном направлении, как наиболее грузонапряженном.

Выбор участка-аналога производился на основании анализа данных соответствующего технического паспорта дистанции пути и дистанции инженерных сооружений формы АГУ-4, отражающего количественную и качественную характеристику основных элементов путевого хозяйства, основных характеристик верхнего и нижнего строения железнодорожного пути и т.д.

В результате аналитической работы с базой паспортных данных и эксплуатационных характеристик различных участков в границах главного хода железной дороги наиболее подходящим в качестве участка-аналога принят перегон Станция X — Станция Y.

Основные технические характеристики проектного участка и участка-аналога приведены в табл. 1.

Основные эксплуатационные характеристики существующего участка Станция А — Станция В и участка-аналога приведены в табл. 2.

В четном направлении выбранный для сравнения участок-аналог наиболее полно соответствует техническим и эксплуатационным параметрам как существующему участку Станция А — Станция В, так и варианту проектных решений № 1. В нечетном направлении имеется отличие по конструкции пути (звеньевой путь и бесстыковой путь) и по сроку эксплуатации (28 лет/7 лет) участка-аналога от существующего участка, при этом выводы о корректности сравнения участков в нечетном направлении будут сделаны по результатам выполненных исследований.

В данной работе будет представлен сравнительный анализ участков в наиболее грузонапряженном четном направлении.

Таблица 1

Основные технические характеристики проектного участка и участка-аналога

Table 1

Main technical characteristics of design site and equivalent site

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Проектный участок Станция А — Станция В	Участок-аналог Станция X — Станция Y
1	Длина	км	25,0	24,0
2	Протяженность прямых	км/%	14,0/58,0	14,1/59,0
3	Протяженность кривых всего	км/%	11,0/43,0*	10,0/41,0
4	В том числе по радиусам:			
	R 2500 м и более	км/%	0,6/2,6	0,8/3,4
	R от 2000 м до 2500 м	км/%	4,0/16,7	2,9/11,9
	R от 1000 м до 2000 м	км/%	6,0/25,1	3,6/14,7
	R от 650 м до 1000 м	км/%	0	1,6/6,5
	R менее 650 м	км/%	0	1,2/5,2*
5	Тип верхнего строения пути, четн./неч.		бесстыковой путь	бесстыковой путь/звеньевой путь**
6	Рельсы, четн./неч.		Р65, категории ДТ	Р65, категории ДТ/ Р65, закаленные З; Т1
7	Шпалы, четн./неч.		железобетонные	железобетонные/деревянные
8	Промежуточные скрепления, четн./неч.		ЖБР-65	ЖБР-65/ДО
9	Балласт		щебеночный	щебеночный

\* без учета кривых радиусом более 2500 м общий процент кривых составляет 41,7%;

\*\* минимальный радиус кривой — 560 м, длина — 65 м

Источник: таблица сформирована авторами на основании эксплуатационных характеристик и данных технического паспорта рассматриваемых участков железнодорожного пути из Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой ОАО «РЖД» (ЕК АСУИ)

Source: formed by the authors based on the operational characteristics and data from the technical passport of the railway sections under consideration from the Unified corporate automated infrastructure management system of JSC Russian Railways (UC AIMS)

Таблица 2

Основные эксплуатационные характеристики существующего участка и участка-аналога по состоянию на 1 января 2024 г.

Table 2

Key operational characteristics of existing site and equivalent site as of January 1, 2024

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Существующий участок Станция А — Станция С — Станция В*	Участок-аналог Станция Х — Станция Y*
1	Грузонапряженность	млн ткм бр. на км	145,0/61,0	174,0/71,0
2	Год последнего капитального ремонта		2016/2016–2017	2017/1996
3	Год и вид последнего промежуточного ремонта (П, С, РП, РС)		9,5 км РП в 2022 г./не проводился	не проводился/в 2008 г. средний ремонт
4	Нормативная наработка	млн т бр.	1400/1400	1400/600
5	Пропущенный тоннаж	млн т бр.	940–1020/360–410	1020/1130
6	Наибольшая допускаемая скорость грузовых поездов	км/ч	60–65/60	80/80
7	Средняя техническая скорость грузовых поездов	км/ч	39/38	41/45
8	Количество поездов в сутки (гр.; пасс.; приг.)	шт.	75; 4; 2/ 68; 4; 2	90; 6; 0/83; 6; 0

\* числитель — четное направление, знаменатель — нечетное направление

Источник: таблица сформирована авторами на основании данных ЕК АСУИ

Source: the table was formed by the authors based on the operational characteristics and data from the technical passport of the railway sections under consideration from the Unified corporate automated infrastructure management system of JSC Russian Railways (UC AIMS)

**Сравнительный анализ выполненных объемов работ по ремонту и текущему содержанию железнодорожного пути.** Началом анализируемого периода является дата окончания последнего капитального ремонта пути, концом — 31 декабря 2023 г. включительно. При проведении анализа выполненных объемов работ по ремонту и текущему содержанию железнодорожного пути, требующих предоставления существенных перерывов в графике движения поездов, сравнивался существующий участок железнодорожного пути Станция А — Станция В (за период с 2017 по 2023 гг. включительно) с участком-аналогом Станция Х — Станция Y (за период с 2018 по 2023 гг. включительно). Рассматривалось фактическое выполнение работ, предусмотренных действующей ремонтной схемой (В, С, П, РС)<sup>4</sup>, сплошная смена рельсов новыми, профильное шлифование рельсов в пути, а также выполнение работ по текущему содержанию пути. Объемы по ремонту пути учитывались в физических единицах и по времени (в часах), затраченному на их выполнение. Работы по текущему содержанию пути учитывались только в часах, затраченных на их выполнение.

Источником данных для выполнения исследования послужили отчетные формы Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой ОАО «РЖД» (ЕК АСУИ) (объемы ремонта по видам работ за исследуемый период), Автоматизированной системы анализа планирования и выполнения «окон» (АС АПВО) «Сетевая отчетность» (фактическая продолжительность «окон» для ремонта и текущего содержания железнодорожного пути на рассматриваемых участках за исследуемый период, средняя выработка в один час «окна» для основных видов ремонта за фактический период жизненного цикла).

На рис. 2 представлены данные о фактически выполненных объемах по ремонту железнодорожного пути на рассматриваемых участках за период от последнего капитального ремонта.

На рис. 3 представлены данные о фактических затратах времени для выполнения ремонта и текущего содержания железнодорожного пути на рассматриваемых участках по годам за период эксплуатации с 2017 по 2023 гг. включительно.

<sup>4</sup> В — плано-предупредительная выправка; С — средний ремонт; П — подъемочный ремонт; РС — сплошная смена рельсов новыми по обеим нитям, сопровождаемая работами в объемах среднего ремонта.

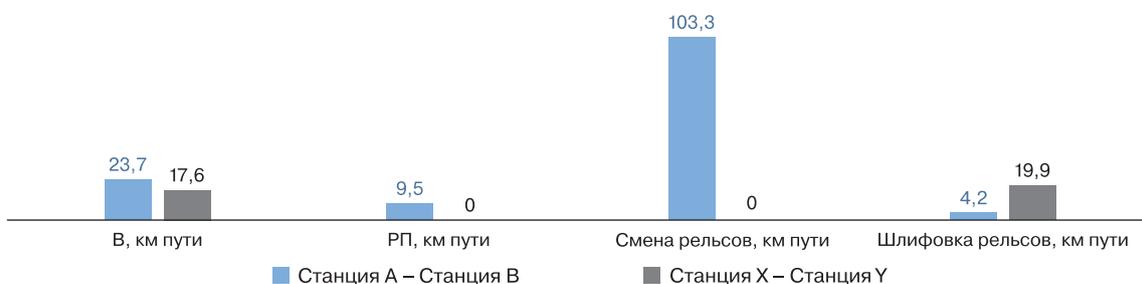


Рис. 2. Фактические объёмы ремонта железнодорожного пути на участках Станция А — Станция В и Станция X — Станция Y за период с 2017 по 2023 гг. включительно\*

\* Источник: рисунок разработан авторами на основании данных ЕК АСУИ

Fig. 2. Actual track repair volumes on Railway station A — Railway station B and Railway station X — Railway station Y sections from 2017 to 2023 inclusive\*

\* Source: formed by the authors based on data from UC AIMS

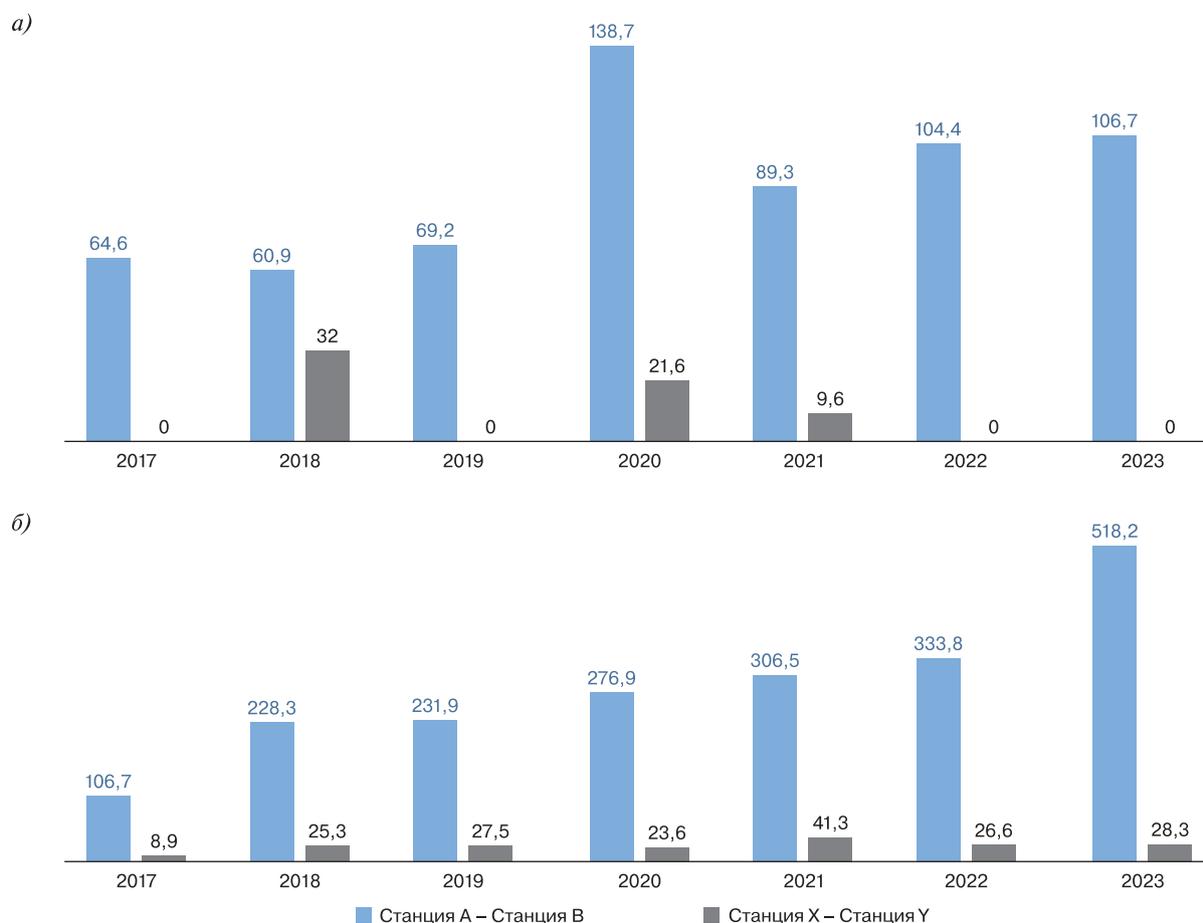


Рис. 3. Фактические затраты времени на участках Станция А — Станция В и Станция X — Станция Y за период с 2017 по 2023 гг. включительно для выполнения\*:

а — ремонта железнодорожного пути; б — текущего содержания железнодорожного пути

\* Источник: разработан авторами на основании данных автоматизированной системы «Планирование, учет и анализ проведения «окон» и выполнения хозяйственной работы» (АС АПВО-2)

Fig. 3. Actual time expenditure on Railway station A — Railway station B and Railway station X — Railway station Y sections for the period from 2017 to 2023 inclusive to perform\*:

а — track repair; б — current track maintenance

\* Source: developed by the authors based on data from Planning, accounting and analysis of break scheduling and the performance of labour activities automated system (AS APVO-2)

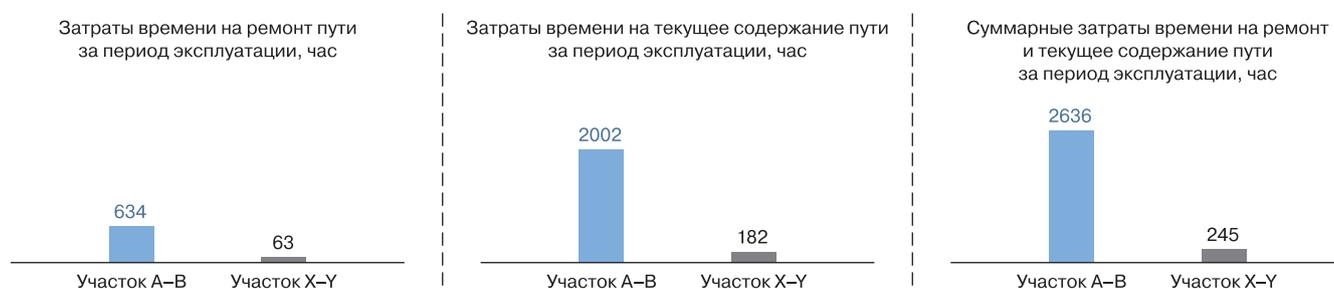


Рис. 4. Фактические суммарные затраты времени для ремонта и текущего содержания железнодорожного пути на участках Станция А — Станция В и Станция Х — Станция Y за период с 2017 по 2023 гг. включительно\*

\* Источник: рисунок разработан авторами на основании данных АС АРВО-2

Fig. 4. Actual total time expenditure on track repair and maintenance on Railway station A — Railway station B and Railway station X — Railway station Y sections for the period from 2017 to 2023 inclusive\*

\* Source: developed by the authors based on data from Planning, accounting and analysis of break scheduling and the performance of labour activities automated system (AS APVO-2)

На рис. 4 представлены данные о суммарных фактических затратах времени для выполнения ремонта и текущего содержания железнодорожного пути на рассматриваемых участках за период эксплуатации с 2017 по 2023 гг. включительно.

Для производства работ по ремонту и текущему содержанию четного железнодорожного пути сравнимых участков, схожих по эксплуатационным характеристикам, типу и конструкции верхнего строения пути, но кардинально отличающихся параметрами плана линии, суммарные затраты времени за период эксплуатации после последнего капитального ремонта на участке-аналоге (максимально схожем по техническим характеристикам с проектным участком) в 10,5 раз меньше, чем на существующем участке.

**Сравнительный анализ изъятия из эксплуатации острodefектных рельсов за период эксплуатации на рассматриваемых участках.** Одним из основных критериев назначения капитального ремонта железнодорожного пути I класса категории «О» (особогрузонапряженный — свыше 80 млн т км брутто на км в год) является одиночный выход 4 шт/км и более дефектных (далее — ДР) и острodefектных рельсов (далее — ОДР) в среднем на участке ремонта за срок службы<sup>5</sup>.

В данном разделе проведен краткий анализ выхода острodefектных рельсов на существующем участке и участке-аналоге за период с 2017 г. по 2023 г. включительно в четном направлении. Сведения о выходе ОДР получены на основании отчетных данных центра диагностики и мониторинга инфраструктуры.

Всего за период эксплуатации на существующем участке Станция А — Станция В было изъято 764 ОДР по 25 кодам дефектов согласно принятой классификации<sup>6</sup>, из которых 54,5% — это рельсы, изъятые по коду дефекта 53.1 «Трещины в шейке от болтовых отверстий в рельсе из-за повышенного динамического воздействия в стыках». В то же время при схожей наработке тоннажа на участке-аналоге было изъято всего 4 ОДР.

На рис. 5 представлены данные по выходу ОДР на участке Станция А — Станция В за период эксплуатации с 2017 по 2023 гг. включительно с детализацией в зависимости от параметров плана линии в количественном и процентном соотношении.

Выход ОДР за период эксплуатации в четном направлении на существующем участке Станция А — Станция В почти в 200 раз превышает выход ОДР на участке-аналоге Станция Х — Станция Y при практически одинаковых условиях эксплуатации, технических характеристиках участков и конструкции верхнего строения пути.

Из всех изъятых на существующем участке ОДР 78% располагались в кривых радиусом 650 м и менее, из которых 49,8% — в кривых радиусом 350 м и менее. При этом 65,3% ОДР выявлено и изъято по внутренней нити кривой, что говорит о возможном несоответствии возвышения наружного рельса фактически реализуемым скоростям движения поездов на данном участке. Данное несоответствие может быть связано с большим количеством ограничений скорости, не предусмотренных нормативным графиком движения поездов, а именно ограничений скорости 15 и 25 км/ч.

<sup>5</sup> Правила назначения ремонтов железнодорожного пути [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2021 г. № 2888/р (в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 27 декабря 2024 г. № 3347/р). Доступ из АСПИЖТ.

<sup>6</sup> Инструкция «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и острodefектных рельсов» [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 23 октября 2014 г. № 2499р (в редакции распоряжения ОАО «РЖД» от 13 ноября 2024 г. № 2804/р). Доступ из АСПИЖТ.

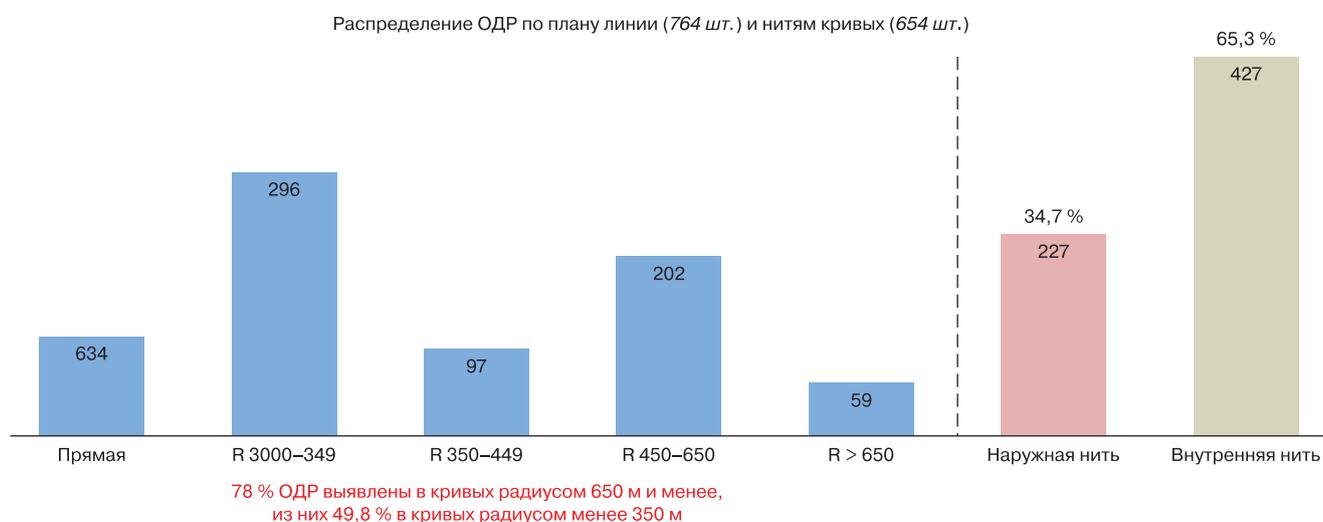


Рис. 5. Распределение выхода острodefектных рельсов в зависимости от плана линии на участках Станция А — Станция В за период с 2017 по 2023 гг. включительно\*

\* Источник: рисунок разработан авторами на основании данных ЕК АСУИ

Fig. 5. Distribution of critical faulty rails depending on the layout of line at Railway station A — Railway station B sections for the period from 2017 to 2023 inclusive\*

\* Source: developed by the authors based on data from the Unified corporate automated infrastructure management system of JSC Russian Railways (UC AIMS)

**Сравнительный анализ выдачи ограничений скорости 15 и 25 км/ч за период эксплуатации.** Одним из основных факторов, негативно влияющих на перевозочный процесс и пропускную способность участка, является выдача ограничений скорости сверх лимита, заложенного в нормативный график движения поездов.

Наиболее негативное влияние оказывают ограничения скорости 15 и 25 км/ч, выдача которых связана с дефектностью основных элементов верхнего строения железнодорожного пути, земляного полотна, искусственных сооружений, а также с наличием отступлений от норм содержания геометрических параметров рельсовой колеи, требующих ограничивать скорость движения поездов с целью обеспечения безопасности.

Сравнительные данные о количестве и продолжительности действия ограничений скорости 15 и 25 км/ч на участках Станция А — Станция В и Станция Х — Станция У в четном направлении за период с 2017 по 2023 гг. приведены в табл. 3.

Суммарная продолжительность действия ограничений скорости 15 и 25 км/ч по годам за период эксплуатации с 2017 г. по 2023 г. включительно на участках Станция А — Станция В и Станция Х — Станция У в четном направлении представлена на рис. 6.

**Обсуждение и заключение.** Предложенная методика дополнительной оценки целесообразности изменения положения трассы в плане на железнодорожных участках со сложными условиями эксплуатации основана на анализе фактических объемов работ по ремонту и текущему содержанию пути, затрат времени

на их выполнение, лимитирующих ограничений скорости и других параметров, влияющих на эксплуатационную работу сравниваемых участков.

Полученные результаты анализа показали, что на участке Станция А — Станция В со сложным планом железнодорожной линии (общая доля кривых участков — 78 %, из которых 81 % составляют кривые радиусом менее 650 м, а из них, в свою очередь 37 % составляют кривые радиусом 350 м и менее) по сравнению с участком Станция Х — Станция У (общая доля кривых участков — 41 %, из которых только 6 % — кривые радиусом менее 650 м, а кривые радиусом 350 м и менее отсутствуют):

- суммарные затраты времени для выполнения работ по ремонту и текущему содержанию железнодорожного пути, требующих предоставления перерывов в графике движения поездов («окон»), выше в 10,7 раза (2636 часов против 245 часов);
- выход ОДР выше в 191 раз (764 шт против 4 шт);
- общая продолжительность действия ограничений скорости 15 км/ч выше более, чем в 140 раз (613,8 часов против 4,3 часов);
- общая продолжительность действия ограничений скорости 25 км/ч выше более, чем в 40 раз (689,2 часов против 4,3 часов).

Следующим этапом использования полученных результатов является сравнение фактических экономических затрат на участке железной дороги, рассматриваемом для корректировки проектного плана, с аналогом проектного участка, максимально

Таблица 3

Ограничения скорости 15 и 25 км/ч на участках Станция А — Станция В и Станция Х — Станция У в четном направлении за период с 2017 по 2023 гг.\*

Table 3

Speed limits of 15 and 25 km/h on Railway station A — Railway station B and Railway station X — Railway station Y sections in up traffic route for the period from 2017 to 2023\*

Ограничения скорости 15 км/ч (четное направление), шт/мин										
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого шт.	Итого мин.	Итого час.
Станция А — Станция С	34/2543	32/3048	64/5117	75/2618	45/3959	58/5036	5/381	313	22 702	378,4
Станция С — Станция В	23/1499	24/1701	46/3018	32/1486	19/1140	43/4448	12/829	199	14 121	235,4
Станция А — Станция В	57/4042	56/4749	110/8135	107/4104	64/5099	101/9484	17/1210	512	36 823	613,8
Станция Х — Станция У	3/94	0	0	0	0	1/165	0	4	259	4,3
Ограничения скорости 25 км/ч (четное направление), шт/мин										
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Итого шт.	Итого мин.	Итого час.
Станция А — Станция С	41/3203	40/2899	36/2745	30/1229	31/2521	45/5698	47/4118	270	22 413	373,6
Станция С — Станция В	23/1902	23/1840	34/2332	29/906	31/2178	25/2427	74/7348	239	18 993	315,6
Станция А — Станция В	64/5105	63/4739	70/5077	59/2135	62/4699	70/8125	121/11 466	509	41 406	689,2
Станция Х — Станция У	9/567	1/38	2/60	1/52	1/171	0	4/80	18	968	16,1

\* Источник: таблица разработана авторами на основании данных подсистемы «Отчетность» автоматизированной системы выдачи и отмены предупреждений (АСУВОП-3) о выдаче ограничений скорости 15 км/ч и 25 км/ч на рассматриваемых участках.

\* Source: developed by the authors based on data analysis from the Reporting subsystem of the automated system for issuing and canceling warnings (ASUVOP-3) on issuing speed limits of 15 km/h and 25 km/h in the considered sections

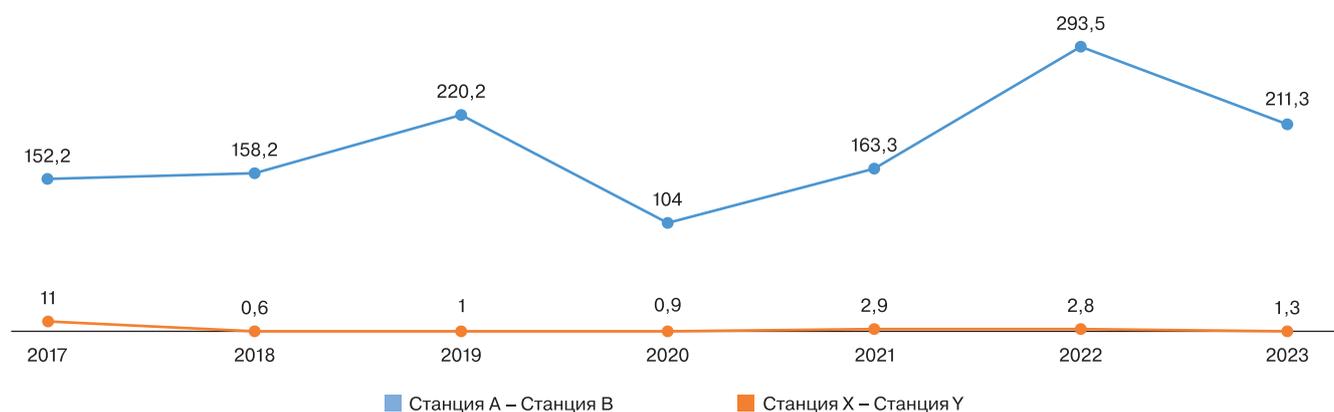


Рис. 6. Суммарная продолжительность ограничений скорости 15 и 25 км/ч на участках Станция А — Станция В и Станция Х — Станция У за период с 2017 г. по 2023 г. включительно\*

\* Источник: рисунок разработан авторами на основании анализа данных подсистемы «Отчетность» АСУВОП-3

Fig. 6. Cumulative duration of 15 and 25 km/h speed limits on Railway station A — Railway station B and Railway station X — Railway station Y sections for the period from 2017 to 2023 inclusive\*

\* Source: developed by the authors based on data analysis from the Reporting subsystem of the automated system for issuing and canceling warnings (ASUVOP-3)

соответствующего техническим параметрам проекта и эксплуатационным параметрам существующего участка. Другими словами, это своего рода моделирование жизненного цикла проектного участка в реальных условиях эксплуатации.

Специалистами АО «ВНИИЖТ», железных дорог Восточного полигона и Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД» ведутся работы по анализу технического состояния железнодорожного пути в кривых малого радиуса, фактическим

эксплуатационным затратам на его содержание и потерям в эксплуатационной работе, а также по технико-экономическому обоснованию целесообразности спрямления участков с наиболее сложным планом железнодорожной линии.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

**Acknowledgments:** the authors express gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article.

**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 имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Хобта А. В. Изыскательские и проектные работы для Транссибирской магистрали (1880–е–1910–е гг.). Тверь: ТФП, 2017. 400 с.  
Hobta A. V. *Survey and design work for the Trans-Siberian Railway (1880–s–1910–s)*. Tver: TFP Publ, 2017. 400 p. (In Russ.).
- Иванова М. А., Маслова Е. Н., Токмаков В. С. Первые изыскания и экспедиционные исследования при проектировании и строительстве Амурской железной дороги в 1893–1911 годы // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 5–2 (80). С. 18–23. EDN: <https://elibrary.ru/takbxt>.
- Ivanova M. A., Maslova E. N., Tokmakov V. S. The first surveys and expedition research during the design and construction of the Amur railway in 1893–1911. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2023;5–2(80):18–23. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/takbxt>.
- Быков Ю. А., Васильев А. Б., Гавриленков А. А., Фадеева В. А. Оптимизация топологии Забайкальской железной дороги // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2017. № 3. С. 55–62. EDN: <https://elibrary.ru/zizpgp>.
- Bykov Yu. A., Vasil'ev A. B., Gavril'nikov A. A., Fadeeva V. A. Optimization of the Trans-Baikal railway topology. *Bulletin of the Joint Scientific Council of JSC "Russian Railways"*. 2017;(3):55–62. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/zizpgp>.
- Едигарян А. Р. Основы методологии формирования генеральной схемы этапной реконструкции геометрии трассы существующего железнодорожного направления / А. Р. Едигарян, С. М. Гончарук, А. И. Нератов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 3(39). С. 294–299. EDN: <https://elibrary.ru/rchogx>.
- Edigaryan A. R., Goncharuk S. M., Neratov A. I. Methodological principles of formation of the general scheme phased modernization of the existing railway track geometry. *Modern Technologies. System analysis. Modeling*. 2013;3(39):294–299. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/rchogx>.
- Едигарян А. Р., Оголец А. А. Варианты ликвидации кривых малого радиуса на перегоне Ерофей Павлович — Большая Омутная Забайкальской железной дороги // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. науч. тр. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2016. Вып. 4. С. 411–415. EDN: <https://elibrary.ru/xeexyu>.

Edigaryan A. R., Ogolets A. A. Options for the elimination horse-shoe curves on the section Erofeev Pavlovich — Bolshaya Omutnaya Zabaikal Railways. In: *Designing the development of the transport network of the Far East: collection of scientific works*. Khabarovsk: DvGUPS Publ; 2016;(4):411–415. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/xeexyu>.

6. Едигарян А. Р., Нератов А. И., Гончарук С. М., Васильев А. Б. Разработка генеральной схемы реконструкции геометрии трассы на примере Шилкинской и Сквородинской дистанций пути Забайкальской железной дороги. // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. науч. тр. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. Вып. 1. С. 21–36. EDN: <https://elibrary.ru/tcwtgv>.

Edigaryan A. R., Neratov A. I., Goncharuk S. M., Vasil'yev A. B. Development of a general scheme for the reconstruction of the route geometry using the example of the Shilkinskaya and Skovorodinskaya distances of the Trans-Baikal railway. In: *Designing the development of the transport network of the Far East: collection of scientific works*. Khabarovsk: DvGUPS Publ; 2013;(1):21–36. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tcwtgv>.

7. Быков Ю. А., Васильев А. Б., Целихов Е. О., Едигарян А. Р. Технико-экономическая эффективность улучшения трассы особо перегруженных магистралей // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. науч. тр. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2019. Вып. 7. С. 34–41. EDN: <https://elibrary.ru/ppfovz>.

Bykov Yu. A., Vasil'ev A. B., Tselikhov E. O., Edigaryan A. R. Feasibility study for improving the route of specially loaded railway lines. In: *Designing the development of the transport network of the Far East: collection of scientific works*. Khabarovsk: DvGUPS Publ; 2019;(7):34–41. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ppfovz>.

8. Ушакова М. В., Линейцев В. Ю. Спрявление трассы железной дороги на перегоне Сохондо–Лесная // Транссиб на острие реформ: сб. науч. тр. Чита: Изд-во ЗаБИЖТ, 2016. Том 1. С. 121–125. EDN: <https://elibrary.ru/wwbftf>.

Ushakova M. V., Lineitsev V. Yu. Straightening of the railway route on the Sokhondo — Lesnaya section. In: *Transsib: at the forefront of reforms: collection of scientific works, 06–07 October, 2016, Chita*. Chita: ZabIZHT Publ; 2016. Vol. 1. P. 121–125. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/wwbftf>.

9. Целихов Е. О., Кожевников В. В. Экономическая эффективность спрямления трассы железнодорожной линии // Сборник научных статей аспирантов РУТ (МИИТ). Том Вып. 4. Под общей редакцией Т. В. Шепитько. Москва, 2021. С. 281–288. EDN: <https://elibrary.ru/naqqqc>.

Tselikhov E. O., Kozhevnikov V. V. Economic efficiency of straightening the railway line route. In: Shepit'ko T. V. (gen. ed.) *Collection of scientific articles by graduate students of RUT (MIIT), Moscow, 2021*. Vol. Issue 4. P. 281–288. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/naqqqc>.

10. Линейцев В. Ю. Спрявление трассы железной дороги, как эффективная мера по увеличению ее пропускной и провозной способности. // Транссиб: на острие реформ: сб. науч. тр., 06–07 октября 2016 года. Чита: Изд-во ЗаБИЖТ, 2016. Том 1. С. 82–86. EDN: <https://elibrary.ru/wwbfrh>.

Lineitsev V. Yu. Straightening of the railway route as an effective measure to increase its throughput and carrying capacity. In: *Transsib: at the forefront of reforms: collection of scientific works, 06–07 October, 2016, Chita*. Chita: ZabIZHT Publ; 2016. Vol. 1. p. 82–86. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/wwbfrh>.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Михаил Иванович МЕХЕДОВ,

канд. техн. наук, первый заместитель генерального директора, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, стр. 1), Author ID: 1019989, <https://orcid.org/0000-0002-8174-214X>

### Владимир Александрович АНТОНЕЦ,

аспирант, начальник Забайкальской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» (672000, г. Чита, Ленинградская, д.34), <https://orcid.org/0009-0000-8288-9322>

**Владимир Александрович УСТИНОВ**, аспирант, технический эксперт НЦ «ЦМПЭ», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, стр. 1), Author ID: 1141173, <https://orcid.org/0009-0008-3897-0113>

**Вячеслав Геннадьевич ФЕДУЛИН**, аспирант, технический эксперт НЦ «ЦМПЭ», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, стр. 1), Author ID: 1141172, <https://orcid.org/0000-0002-2827-1991>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Mikhail I. MEKHEDOV**, Cand. Sci. (Eng.), First Deputy General Director, Railway Research Institute (129626, Moscow, bldg. 1, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 1019989, <https://orcid.org/0000-0002-8174-214X>

**Vladimir A. ANTONETS**, Postgraduate, Head of the TransBaikal Railway — branch of JSC “Russian Railways” (672000, Chita, 34, Leningradskaya St.), <https://orcid.org/0009-0000-8288-9322>

**Vladimir A. USTINOV**, Postgraduate, Technical Expert, Digital Models of Transportation and Energy Saving Technologies Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, bldg. 1, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 1141173, <https://orcid.org/0009-0008-3897-0113>

**Vyacheslav G. FEDULIN**, Postgraduate, Technical Expert, Digital Models of Transportation and Energy Saving Technologies Research Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, bldg. 1, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 1141172, <https://orcid.org/0000-0002-2827-1991>

## ВКЛАД АВТОРОВ

**Михаил Иванович МЕХЕДОВ**. Формирование направления исследовательской деятельности и методологии исследования (10 %).

**Владимир Александрович АНТОНЕЦ**. Сбор, оценка и предоставление исходных данных о технических характеристиках верхнего строения пути, выполненных ремонтах и изъятию

остродефектных рельсов на рассматриваемых участках за истекший период жизненного цикла. Оценка результатов исследования (30 %).

**Владимир Александрович УСТИНОВ**. Формулировка цели, задачи исследования, анализ исходных данных об изъятии остродефектных рельсов и выполненных ремонтах, формирование и описание материалов (50 %).

**Вячеслав Геннадьевич ФЕДУЛИН**. Формирование, обработка и анализ исходных данных о фактически исполненных «окнах» для ремонта и текущего содержания пути на рассматриваемых участках (10 %).

## CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Mikhail I. MEKHEDOV**. Development of the direction of research activities and research methodology (10 %).

**Vladimir A. ANTONETS**. Collection, evaluation and provision of initial data on the technical characteristics of the track superstructure, repairs performed and removal of severely defective rails on the sections under consideration over the past period of the life cycle. Evaluation of research results (30 %).

**Vladimir A. USTINOV**. Formulation of the goal, objectives of the study, analysis of the initial data on the removal of critical faulty rails and repairs performed, formation and description of materials (50 %).

**Vyacheslav G. FEDULIN**. Formation, processing and analysis of the initial data on the actually performed breaks for repairs and current maintenance of the track on the considered sections (10 %).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

Статья поступила в редакцию 15.01.2025, рецензия от первого рецензента получена 31.01.2025, рецензия от второго рецензента получена 11.02.2025, принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 15.01.2025, first review received 31.01.2025, second review received 11.02.2025, accepted for publication 03.03.2025.