

Входит в перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный экспертными советами Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ

ISSN 1813-9108 (Print)

Современные технологии Системный анализ Моделирование

2025

№ 1 (85)

Иркутский государственный
университет путей сообщения

Машиностроение • Транспортные системы • Информационные технологии



2025 № 1(85)

Modern technologies. System analysis. Modeling
Современные технологии. Системный анализ. Моделирование



Подписной индекс
в каталоге «Урал-Пресс» – 64556

Зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-66109 от 20 июня 2016 г.

Современные технологии
Системный анализ
Моделирование

№ 1 (8 5)
2 0 2 5

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор **Ю.А. Трофимов**
Ответственный за выпуск **А.В. Димов**

Современные технологии Системный анализ Моделирование

Издаётся с 2004 года

2025
№ 1 (85)

Выходит 4 раза в год

Приоритетные цели журнала

- передача знаний и опыта, накопленного мировым сообществом и научными школами университета;
- выработка новых знаний в области механики, машиностроения, информатики и транспорта для решения актуальных проблем современной техники;
- ознакомление читателей с передовым мировым опытом внедрения научных разработок по техническим наукам.

Стратегические задачи

- предоставлять ученым возможность публиковать результаты своих исследований;
- привлекать внимание к наиболее актуальным перспективным и интересным направлениям научных исследований по тематике журнала;
- обмен мнениями между исследователями из разных регионов и государств.

Учредитель и издатель

Иркутский государственный университет путей сообщения
(664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)

Главный редактор

Ю.А. Трофимов, канд. техн. наук, доц., Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

Заместители главного редактора

Е.Ю. Дульский, д-р техн. наук, доц., Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

А.В. Димов, канд. техн. наук, Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

Редакционный совет

В.А. Анисимов, д-р техн. наук, доц., Петербургский государственный университет путей сообщения (г. Санкт-Петербург, РФ)

С.А. Бессоненко, д-р техн. наук, проф., Сибирский государственный университет путей сообщения (г. Новосибирск, РФ)

И.В. Бычков, д-р техн. наук, академик РАН, проф., Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения РАН (г. Иркутск, РФ)

В.Е. Гозбенко, д-р техн. наук, проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

А.Л. Казаков, д-р физ.-мат. наук, проф. РАН, Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения РАН (г. Иркутск, РФ)

Ю.М. Краковский, д-р техн. наук, проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

А.В. Крюков, д-р техн. наук, проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

Н.А. Махутов, д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, проф., Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (г. Москва, РФ)

В.В. Москвичев, д-р техн. наук, проф., засл. деятель науки РФ, Красноярский филиал -специальное конструкторско-технологическое бюро "Наука" ФИЦ ИВЦ (г. Красноярск, РФ)

А.В. Мурыгин, д-р техн. наук, проф., Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва (г. Красноярск, РФ)

Н.С. Нестерова, д-р техн. наук, доц., Дальневосточный государственный университет путей сообщения (г. Хабаровск, РФ)

С.И. Носков, д-р техн. наук, проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

С.М. Овчаренко, д-р техн. наук, проф., Омский государственный университет путей сообщения (г. Омск, РФ)

В.А. Подвербный, д-р техн. наук, проф., Иркутский государственный университет путей сообщения (г. Иркутск, РФ)

Р.Энхбат, д-р физ.-мат. наук, проф., Монгольский национальный университет (г. Улан-Батор, Монголия)

Здислав Якиевич, д-р техн. наук, проф., Университет штата Аризона (США)

А.С. Янюшкин, д-р техн. наук, проф., Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (г. Чебоксары, РФ)

Адрес редакции: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15

Телефон: +7(3952) 63-83-74

Сайт: <http://stsam.irkups.ru> (<http://ojs.irkups.ru/index.php/stsam>)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-66109 от 20 июня 2016 г.

Подписной индекс в каталоге «Урал-Пресс» – 64556.

Включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ); Ulrich's Periodicals Directory; ВИНТИ РАН.

Входит в перечень ведущих научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, утвержденный экспертными советами Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования РФ по группам научных специальностей: машиностроение; транспортные системы.

Modern technologies System analysis Modeling

Founded in 2004

ISSN 1813-9108 (Print)

2025
No. 1 (85)

Published quarterly

Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye

Aims and Scope

- transfer of knowledge and experience gained by the world community and schools of thought of the university;
- development of new knowledge in the field of mechanics; mechanical engineering; computer science; transport to solve topical problems of modern technology;
- acquaint the readers with the world's best practices in the implementation of scientific developments in technical sciences.

Strategic objectives

- provide scientists with an opportunity to publish the results of their researches;
- attract attention to the most relevant and promising areas of research on the subject of the journal;
- exchange of opinions between researchers from different regions and states.

Founder and publisher

Irkutsk State Transport University
(15, Str. Chernyshevskogo, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

Editor-in-Chief

Yu.A. Trofimov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Prof, Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

Deputy Editor-in-Chief

E.Yu. Dul'skii, D.Sc. in Engineering, Associate Prof, Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

A.V. Dimov, Ph.D. in Engineering Science, Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

Editorial council

V.A. Anisimov, D.Sc. in Engineering, Associate Prof, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (Saint Petersburg, Russian Federation)

S.A. Bessonenko, D.Sc. in Engineering, Associate Prof, Siberian Transport University (Novosibirsk, Russian Federation)

I.V. Bychkov, D.Sc. in Engineering, Academician of RAS, Prof., Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of RAS (Irkutsk, Russian Federation)

V.E. Gozbenko, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

A.L. Kazakov, D.Sc. in Physics and Mathematics, Prof. RAS, Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of RAS (Irkutsk, Russian Federation)

Yu.M. Krakovskyi, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

A.V. Kryukov, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

N.A. Makhutov, D.Sc. in Engineering, Prof., corresponding member of the RAS, Prof., Mechanical Engineering Research Institute of the RAS (Moscow, Russian Federation)

V.V. Moskvichyov, D.Sc. in Engineering, Prof., Krasnoyarsk Branch Office of the Institute of Computational Technologies of the Siberian Branch of the RAS (Krasnoyarsk, Russian Federation)

A.V. Murygin, D.Sc. in Engineering, Prof., Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies (Krasnoyarsk, Russian Federation)

N.S. Nesterova, D.Sc. in Engineering, Associate Prof, Far Eastern State Transport University (Khabarovsk, Russian Federation)

S.I. Noskov, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

S.M. Ovcharenko, D.Sc. in Engineering, Prof., Omsk State Transport University (Omsk, Russian Federation)

V.A. Podverbny, D.Sc. in Engineering, Prof., Irkutsk State Transport University (Irkutsk, Russian Federation)

R. Enkhbat, D.Sc. in Physics and Mathematics, Prof., Mathematics of National University of Mongolia (Ulaanbaatar, Mongolia)

Zdislav Yakievich, D.Sc. in Engineering, Prof., Arizona State University (USA)

A.S. Yanyushkin, D.Sc. in Engineering, Prof., Ulyanov Chuvash State University (Cheboksary, Russian Federation)

Адрес редакции: 15, Str. Chernyshevskogo, Irkutsk, 664074, Russia Federation

Tel.: +7(3952) 63-83-74

Web-Site: <http://stsam.irkups.ru> (<http://ojs.irkups.ru/index.php/stsam>)

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-66109 от June 20, 2016

The subscription index in the Russian catalogue «Ural-Press» is 64556. Has been included in the Russian Science Citation Index (RSCI); Ulrich's Periodicals Directory.

The journal is included in the list of leading scholarly journals

and editions in which the main results of dissertations for the scientific degree of a doctor and candidate of sciences, approved by the expert councils of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for groups of scientific specialties:

- Mechanical engineering;
- Transport systems.

СОДЕРЖАНИЕ

Транспортные системы

Аксенова А.А., Гришкова Д.Ю. Целесообразность транспортировки контейнеров в полувагонах	10
Ковенькин Д.А., Туманов Д.О., Каимов Е.В. Оценка возможности применения теплоизоляционных материалов, производимых с использованием золошлаковых отходов, для основной площадки земляного полотна	20
Трескин С.В., Дульский Е.Ю., Кручек В.А., Иванов П.Ю. Краткий обзор применения гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта и анализ их достоинств и недостатков	34
Власова Н.В., Царегородцева Е.Ю. Анализ состояния транспортно-логистического бизнеса холдинга «РЖД» с учетом контролируемых факторов влияния внутренней среды	46
Большаков Р.С., Давыдова Н.В. Перспективы развития информационных технологий в сфере взаимодействия железнодорожного транспорта в международном сообщении	58
Оленцевич В.А., Елизарьева А.А. Вопросы формирования порядка и периодичности Предоставления технологических створов, определения ограничивающих сегментов, разработки оптимальных схем многосугочочных закрытий перегонов	68
Макаров В.В., Иванов В.Н., Худоногов А.М. Анализ надежности и экономичности асинхронных вспомогательных машин электровозов	80
Григорьева Н.Н. Эффективность организации производства за счет пересмотра норм времени	90
Мельниченко О.В., Портной А.Ю., Линьков А.О., Коновалов А.В., Кахаев С.А. Модальный анализ и валидация модели остова тягового электродвигателя НБ-514Б электровоза 2(3)ЭС5К	101

Информационные технологии

Краковский Ю.М., Киргизбаев В.П. Системный подход к моделированию работ по устранению инцидентов информационной безопасности применительно к корпоративной информационной системе	116
Белоголов Ю.И. Моделирование тонкостенных металлических уплотнений пониженной жесткости	127
Кашковский В.В., Устинов В.В. Программный комплекс для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации	142

CONTENTS

Transport Systems

Aksenova A.A., Grishkova D.Yu. Expediency of container transportation in gondola wagons	10
Koven'kin D.A., Tumanov D.O., Kaimov E.V. Assessment of the possibility of using thermal insulation materials produced using ash and slag waste for the main roadbed platform	20
Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Kruchek V.A., Ivanov P.Yu. Brief survey of the use of vibration dampers in spring suspension structures of railway rolling stock and an analysis of their advantages and disadvantages	34
Vlasova N.V., Tsaregorodtseva E.Yu. Analysis of the state of the transport and logistics business of the «Russian Railways» holding company, taking into account the controlled factors of the influence by the internal environment	46
Bol'shakov R.S., Davydova N.V. Prospects for the development of information technologies in the field of interaction of railway transport in international traffic	58
Olentsevich V.A., Elizar'eva A.A. Issues related to the formation of the order and frequency of provision of technological gates, the definition of limiting segments, the development of optimal schemes for multi-day lane closures	68
Makarov V.V., Ivanov V.N., Khudonogov A.M. Analysis of reliability and efficiency of asynchronous auxiliary machines of electric locomotives	80
Grigor'eva N.N. Efficiency of production organization by revision of time standard	90
Mel'nicenko O.V., Portnoi A.Yu., Lin'kov A.O., Konovalov A.V., Kakhaev S.A. Modal analysis and validation of the traction motor frame model NB-514B of the 2(3)ES5K electric locomotive	101

Information Technology

Krakovskii Yu.M., Kirgizbaev V.P. A systems approach to modeling incident response work in information security for a corporate information system	116
Belogolov Yu. I. Modeling of thin-walled metal seals with reduced rigidity	127
Kashkovskii V.V., Ustinov V.V. Software package for assessing the quality of piloting based on data from onboard flight data recording devices	142

Требования к статьям, принимаемым к публикации

Рукописи статей представляются в электронном и распечатанном виде.

Рекомендуемый объем статей 9-12 стр.

1. К статье прилагается:

- **акт экспертизы;**
- **заявка на опубликование(от каждого автора).**

2. Статья включает в себя:

- **индекс УДК;**
- **сведения об авторах:** фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения (кафедры), контактный телефон и E-mail;
- **аннотация (реферат) к статье должна быть (на русском и английском языках):** информативной (не содержать общих слов);
оригинальной;
содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
компактной (укладываться в объем от 180 до 250 слов).
- **ключевые слова** (5-10 ключевых слов на русском и английском языках);
- **библиографический список** (необходимо упоминание не менее 18 источников, в том числе 25% на зарубежные источники). Библиографический список к статье оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Текст статьи предоставляется в виде файла с расширением *.doc – документа, построенного средствами Microsoft Word, и распечаткой на стандартных листах формата А4 (210x297 мм) в две колонки, заверенной подписью авторов.

Статья должна быть **структурирована** (введение, 2 и более пункта разделов, заключение).

3. При наборе статьи в Microsoft Word с учетом формата издания рекомендуются следующие установки:

- параметры страницы и абзаца: отступы сверху и снизу – 2,5 см; слева и справа – 1,75 см; табуляция – 1 см; ориентация – книжная;
- шрифт – Times New Roman, размер – 11, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- текст статьи разбивается в две колонки с помощью команды "Форматирование –> Колонки" со следующими параметрами: ширина колонки: 8,5 см, промежуток: 0,5 см.

При вставке формул использовать только Microsoft Equation 3 с параметрами:

- элементы формулы для греческих букв и символов шрифт Symbol, для остальных элементов – шрифт Times NewRoman (использование букв русского алфавита в формуле нежелательно);
- размер символов: обычный – 10 пт, крупный индекс – 7 пт, мелкий индекс – 5 пт, крупный символ – 18 пт, мелкий символ – 11 пт. Все экспликации элементов формул в тексте также необходимо выполнять в виде формул.

Рисунки, вставленные в текст статьи, должны быть выполнены с разрешением 300 dpi, Grayscale – для полутона, максимальный размер рисунка с надписью: ширина 150 мм, высота 245 мм, представлены в виде файла с расширением *.jpg, *.tif и распечаткой на стандартных листах формата А4, должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров.

В журнал **не принимаются** статьи с таблицами, развернутыми по вертикали (альбомная ориентация), а также имеющими аббревиатуры в названии и аннотации. Если по тексту статьи не делаются ссылки на номера формул, то формулы не нумеруются.

Статьи, представляемые в журнал, проходят обязательное рецензирование.

Самоцитирование журнала в статьях **запрещено**.

Пример оформления статьи представлен на сайте журнала: <http://stsam.irkups.ru> (<http://ojs.irkups.ru/index.php/stsam>)
Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Редакция оставляет за собой право отклонить статью, не отвечающую указанным требованиям или не прошедшей обязательное рецензирование.

По вопросам публикации статей обращаться: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

Иркутский государственный университет путей сообщения. Аудитория Г-304. Каимов Евгений Витальевич.
Телефон: 8(3952) 63-83-57. Факс: 8(3952) 38-76-72. E-mail: stsam@irkups.ru

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

TRANSPORT SYSTEMS

Целесообразность транспортировки контейнеров в полувагонах

А.А. Аксенова, Д.Ю. Гришкова✉

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская Федерация

✉raigas@inbox.ru

Резюме

В статье проанализирована актуальность и значимость процесса оптимизации эксплуатации железнодорожного подвижного состава при организации транспортировки контейнеров. Нехватка специализированного подвижного состава для этих целей в связи с увеличением объемов перевозок импортных грузов, а также ростом числа контейнерных поездов в сообщении с Дальним Востоком способствует оптимизации использования подвижного состава путем применения технологии транспортировки контейнеров в полувагонах. Данное исследование базируется на анализе текущих объемов перевозок и оценивает целесообразность внедрения указанной технологии. Основной аргумент в ее пользу заключается в значительной диспропорции между количеством доступного специализированного подвижного состава для контейнерных перевозок и потребностями рынка. Транспортировка контейнеров в полувагонах представляется эффективным решением проблемы вывоза импортных контейнеров, в том числе вопросов минимизации порожнего пробега составов и оптимизации процессов вывоза контейнерных грузов. В рамках исследования проблематики обеспечения безопасности транспортировки грузов, а также сохранности самих грузов и подвижного состава проведен анализ современных инновационных разработок, касающихся методов размещения и систем крепления контейнеров в полувагонах, которые находятся на стадии активного внедрения. Однако применение существующей технологии предполагает необходимость реализации комплекса организационных и реконструкционных мероприятий. Инфраструктурные и технические ресурсы контейнерных терминалов в настоящее время не обеспечивают достаточную перерабатывающую способность для обработки текущих объемов перегрузки. При изучении целесообразности транспортировки контейнеров с помощью полувагонов будет использоваться методика «Диаграмма баланса сил», созданная Куртом Левином. Данная методика предполагает систематическое выявление и оценку факторов, оказывающих влияние на процесс принятия решений, что позволяет определить потенциальные силы, способствующие внедрению рассматриваемой технологии или препятствующие этому.

Ключевые слова

полувагон, вывоз импортных контейнеров, фитинговая платформа, контейнерный терминал, подвижной состав, рациональное использование, сокращение порожнего пробега

Для цитирования

Аксенова А.А. Целесообразность транспортировки контейнеров в полувагонах / А.А. Аксенова, Д.Ю. Гришкова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 10–19. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).10-19.

Информация о статье

по поступила в редакцию: 27.11.2024 г.; поступила после рецензирования: 17.01.2025 г.; принята к публикации: 20.01.2025 г.

Expediency of container transportation in gondola wagons

А.А. Аксенова✉, Д.Ю. Гришкова

Siberian Transport University, Novosibirsk, the Russian Federation

✉raigas@inbox.ru

Abstract

The article analyzes relevance and importance of optimization process of rolling stock operation in the organization of container transportation technology. Lack of specialized rolling stock for container transport due to increased trans-shipment of imported goods, as well as increasing number of container trains in the East, are encouraging a reorganization of the use of rolling stock, using container transportation technology in gondola wagons. This study is based on the analysis of current transport volumes and assesses the feasibility of implementing the technology. The main argument for its use is that there is a significant imbalance between the number of specialized vehicles available for container transportation and the needs of the market. The application of container gondola wagon technology is presented as an effective solution to the problem of the exportation of imported containers, including issues of minimization of empty runs and optimization of the export processes for container shipments. Within the scope of research on the problems of ensuring the safety of transportation of goods, as well as the storage of the goods themselves and rolling stock, an analysis has been performed of modern innovative developments, which are in the active implementation stage, on the placement and securing of containers in gondola wagons. However, the application of the prevailing technology implies a complex set of organizational and conceptual activities. The infrastructure and technical resources of container

terminals currently do not provide sufficient processing capacity to handle current overloaded volumes. The study on the effectiveness of container transportation technology in gondola wagons will include an analysis using the «Force Balance Diagram» developed by Kurt Lewin. This methodology involves the systematic identification and evaluation of factors influencing the decision-making, which allows to identify potential forces that promote or hinder the implementation of the technology in question.

Keywords

gondola wagon, import container export, fitting platform, container terminal, rolling stock, rational use, reduction of empty mileage

For citation

Aksenova A.A., Grishkova D.Yu. Tselesoobraznost' transportirovki kontejnerov v poluvagonakh [Expediency of container transportation in gondola wagons]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. No. 1(85). Pp. 10–19. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).10-19.

Article Info

Received: November 27, 2024; Revised: January 17, 2025; Accepted: January 20, 2025.

Введение

Контейнерные перевозки представляют собой ключевой аспект международной торговли и логистики, обусловленный их высокой эффективностью, адаптивностью и экономической выгодой. Основные факторы, способствующие расширению их применения:

- унификация размеров контейнеров обеспечивает упрощение процессов их транспортировки и перегрузки между различными транспортными средствами, такими как морские суда, железнодорожные составы и автомобильные транспортные средства;
- контейнеры предоставляют защиту товарных запасов от воздействий внешней среды, включая влагу, загрязнения и механические повреждения;
- процесс контейнеризации способствует уменьшению временных и финансовых затрат на операции погрузки и разгрузки;
- рост объемов международной торговли и возрастающий спрос на импортно-экспортные операции стимулируют увеличение масштабов контейнерных перевозок;
- улучшение портовой и транспортной инфраструктуры, включая создание новых контейнерных терминалов и логистических центров, способствует повышению доступности и эффективности контейнерных перевозок;
- контейнерные перевозки, особенно морские, являются более экологически чистыми по сравнению с другими способами транспортировки грузов, так как суда разрабатывают с учетом соблюдения экологических норм и требований, они функционируют с использованием минимального количества топлива;
- применение современных технологий отслеживания и управления грузами повышает

уровень прозрачности и удобства контейнерных перевозок для клиентов [1].

В контексте анализа прогресса и перспектив развития данного сектора необходимо отметить наличие значительного ограничения, препятствующего дальнейшему развитию. Основное затруднение связано с дефицитом подвижного состава, необходимого для оптимизации и обеспечения непрерывности процесса транспортировки контейнеров. Недостаточное количество специализированных железнодорожных вагонов-платформ и сопутствующего оборудования, предназначенного для осуществления контейнерных перевозок, включая погрузочно-разгрузочную технику, такую как краны, погрузчики и грузозахватные устройства, выступает в качестве критического фактора, замедляющего динамику развития железнодорожной сети. Это обстоятельство может стать причиной задержек в логистических цепочках, повышения операционных расходов и, как следствие, снижения общей эффективности логистических систем [2, 3].

Последние годы актуальной проблемой Восточного полигона железной дороги является нехватка платформ для вывоза импортных контейнеров с Дальнего Востока, которая связана с дисбалансом импорта и экспорта, когда на Дальний Восток не поступает достаточное количество платформ с экспортным грузом, а отправка порожних платформ на восток запрещена. Ограничение связано с дефицитом пропускной способности Дальневосточной магистрали. Если запустить составы с порожними платформами на Дальний Восток, это перетянет на себя часть провозной способности инфраструктуры и заберет объемы у грузоотправителей угля [4]. Эксперты связывают сложившую-

ся ситуацию дисбаланса импорта и экспорта с увеличением потока грузов из Китая. На фоне отсутствия коммуникации с Европой Китай, по сути, остается единственным крупным торговым партнером России, а его локационная близость с Дальним Востоком определяет здесь повышенную предпринимательскую активность. Заместитель руководителя Федеральной таможенной службы Владимир Ивин заявил, что Китай является главным торговым партнером России, по данным на октябрь 2024 г. его доля во внешней торговле страны составляет 34 %, на втором месте – Индия (9 %), следом идут Турция (8 %), Белоруссия (8 %) и Казахстан (6 %) [5]. Бизнес, который ранее специализировался на европейских грузах, сейчас переключился на китайские, т.е. количество контейнеров, перемещающихся из Китая в Россию, выросло, а экспорт, наоборот, упал [6, 7].

Контейнеры на Дальний Восток доставляют на фитинговых платформах с экспортными контейнерами. Подсып порожних платформ ограничен. Несмотря на это в 2022 г. для вывоза контейнеров был принят ряд экстренных мер. В частности, на Дальний Восток были назначены три дополнительных контейнерных поезда в сутки, однако этот опыт был лишь кратковременной мерой, так как подача порожних фитинговых платформ из европейской части страны под погрузку контейнеров в портах Дальнего Востока может привести к неэффективному использованию пропускной способности Восточного полигона, в первую очередь это скажется на угольном экспорте. По мнению вице-премьера Виталия Савельева, курирующе-

го транспорт, цена назначения трех контейнерных поездов может составлять 3 млн т угля в год [8]. На основании сказанного более эффективной мерой следует считать перевозку импортных контейнеров с Дальнего Востока в полувагонах. В связи с этим целью данной работы является оценка актуальности и значимости процесса оптимизации эксплуатации железнодорожного подвижного состава при организации транспортировки контейнеров путем их перевозки в полувагонах.

Технология осуществления транспортировки контейнеров в полувагонах

Перевозка контейнеров в полувагонах разрешена Соглашением о международном железнодорожном грузовом сообщении [9]. Однако до 2014 г. она была возможна только для импортных и транзитных перевозок зарубежных грузоотправителей – при отправке контейнера в полувагоне с территории другой страны. В ОАО «РЖД» данный вид перевозки не рассматривается в качестве основного, но он может служить альтернативой при нехватке платформ или при наличии ограничения пропускной способности инфраструктуры [10].

На самом деле данная технология сводится к организации «двух маленьких кругов» между Владивостоком и Москвой вместо «одного большого». Прибывающие на Дальний Восток под выгрузку полувагоны с углем или другим экспортным грузом выгружаются разгружаются, затем на них размещаются груженые контейнеры и доставляются к исходным пунктам назначения, расположенным на клю-



Рис. 1. Логистическая схема перевозки с обратной загрузкой порожнего полувагона контейнером

Fig. 1. Reverse loading logistics scheme of an empty gondola wagon with a container

чевых транспортных узлах Сибири, которые представляют собой основные центры потребления осуществления контейнерных перевозок. Там контейнеры перегружаются на железнодорожные платформы, которые прибыли со стороны Москвы, и отправляются до конечного пункта, а полувагоны перенаправляются в места погрузки [11]. Таким образом, вместо «одного большого круга» появилось два условно «коротких». На рис. 1 приведена логистическая схема перевозки с обратной загрузкой порожнего полувагона контейнером [12].

Перевозка в полувагонах – менее технологичный способ – с 2014 г. на сети ОАО «РЖД» была запрещена, но летом – осенью 2022 г., после увеличения объема импорта контейнерных грузов и проблем с вывозом, этот вариант снова стали применять. Сейчас доля суточной погрузки импортных контейнеров в полувагоны достигает 50 %, это в 1,5 раза больше показателей предыдущих лет [13].

На рис. 2 представлена сравнительная диаграмма количества вывезенных контейнеров в полувагонах за 2022–2024 гг. (данные за 2024 г. представлены с января по сентябрь). Данная диаграмма построена для наглядности, чтобы показать значимость и интенсивность применения предложенной технологии транспортировки контейнеров.

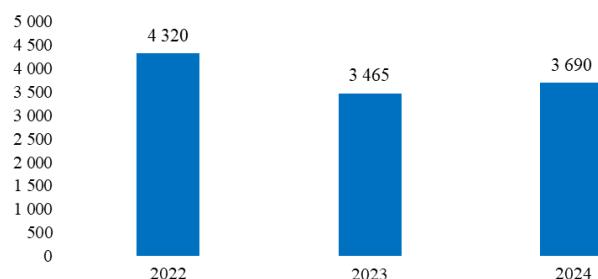


Рис. 2. Среднесуточный вывоз контейнеров в полувагонах, TEU (TEU – двадцатифутовый эквивалент, условная единица измерения вместимости грузовых транспортных средств)

Fig. 2. Average daily container exports in gondola wagons, TEU (TEU 20-foot equivalent, notional unit of measurement of capacity of cargo vehicles)

Размещение контейнеров в полувагонах

Размещение и крепление контейнеров в кузовах полувагонов имеют определенные ограничения, которые сдерживают широкое применение рассматриваемого подхода к погрузке. Процессы погрузки, размещения и крепления 40-

футового крупнотоннажного контейнера в полува- гоне по-прежнему характеризуются меньшей технологичностью по сравнению с операциями, проводимыми с использованием фитинговых платформ. Статистические данные свидетельствуют, что указанные процедуры требуют в среднем в 2–3 раза больше времени. В контексте этих обстоятельств возникает необходимость пересмотра и актуализации технических нормативов, регламентирующих загрузку контейнеров в полувагоны. Предполагается, что внедрение обновленных стандартов может способствовать повышению эффективности процесса погрузки, сокращая его продолжительность на 30 % [14]. В связи с этим существует потенциал для их дальнейшего усовершенствования с учетом актуальных требований к организации транспортных потоков и принципов развития технологий в области грузоперевозок. В связи с этим существует потенциал для их дальнейшего усовершенствования с учетом актуальных требований к организации транспортных потоков и принципов развития технологий в области грузоперевозок.

Погрузку контейнера в полувагон при соблюдении определенной технологии можно ускорить. Так, с 2022 г. время погрузки было сокращено в 3 раза и сейчас составляет 20 мин. Уже сегодня имеется резерв – это время можно сократить в 2–4 раза. На сегодняшний день ООО «АктивИнвест» при участии специалистов ОАО «РЖД» в области разработки инновационных технических решений и при использовании подвижного состава в перевозках грузов создали съемное многооборотное средство крепления (СМСК) для транспортировки 40-футовых контейнеров в полувагонах. Более того, при внедрении в эксплуатацию данного оборудования расходы на погрузку, выгрузку и закрепление контейнера сопоставимы с показателями работы с фитинговыми платформами. В общей сложности время погрузки состава из 71 полувагона, оснащенного СМСК, составляет чуть более двух часов [15].

Конструкция СМСК предназначена для автоматизированного закрепления контейнеров в полувагонах, что способствует повышению эксплуатационных показателей и эффективности использования полувагонов, при этом она не оказывает влияния на процесс разгрузки сыпучих и навалочных грузов. Применение полува- гонов, оборудованных системой СМСК, в перевозках контейнеров дает дополнительные

возможности для оптимизации логистических операций по транспортировке импортных грузов из районов Дальнего Востока в другие регионы страны, особенно в условиях ограниченности транспортных ресурсов.

СМСК состоит из четырех конструкций, устанавливающихся в полуwagon (также может использоваться при плановых видах ремонта), направляет и фиксирует контейнер при погрузке, не требует специального ухода или расходных материалов, не изменяет характеристики полувагона при перевозке сыпучих грузов и не требует дополнительного осмотра после разгрузки [16].

Данное инновационное изобретение направлено на расширение арсенала технических средств, относящихся к средствам для установки 40-футовых контейнеров в полувагонах, обеспечивающих повышенную эффективность грузоперевозок на железнодорожном транспорте за счет обеспечения простой, быстрой, безопасной и надежной установки посредством использования предварительно изготовленных четырех одинаковых ложементов (рис. 3), каждый из которых содержит нижнее основание прямоугольной формы, выполненное из стального листа, и верхнее основание с предварительно жестко закрепленными на нем опорной площадкой прямоугольной формы и двумя одинаковыми направляющими опорами с размещенной между ними стойкой, причем две одинаковые направляющие опоры и стойка выполнены из стального листа, плоские боковые поверхности которых направлены вертикально вверх.

Преимущества инновационной методологии, реализуемой в контексте данного исследования, могут быть обобщены следующим образом:

- разработанный метод установки 40-футовых контейнеров обладает универсальностью применения, что позволяет его использовать в полувагонах различных конструктивных типов;
- методологический подход гарантирует

надежность и стабильность фиксации контейнера в транспортном средстве, что способствует повышению безопасности грузовых перевозок;

- технические средства, задействованные в процессе установки контейнера, отличаются технологичностью и экономичностью производства, что делает их доступными для широкого применения;

- монтаж технических средств в полувагоне отличается оперативностью выполнения и не требует привлечения высокотехнологичного оборудования или специалистов высокой квалификации, что снижает затраты времени и ресурсов;

- технические средства, применяемые для установки контейнера, обладают модульностью и возможностью многократного использования, что повышает их экономическую эффективность;

- применение данных технических средств не влечет за собой изменения конструктивных параметров полувагонов, что сохраняет их прочностные характеристики на исходном уровне;

- процедуры погрузки и разгрузки контейнеров могут быть автоматизированы, исключая необходимость участия человека, что способствует повышению безопасности труда и снижению риска травматизма [17, 18].

В совокупности представленные характеристики изобретения обеспечивают эффективную установку 40-футовых контейнеров в полувагонах, что способствует оптимизации процессов грузоперевозок на железнодорожном транспорте и соответствует современным требованиям [19].

Количественные показатели объема перевозок Восточного полигона

В 2023 г., по информации ОАО «РЖД», количество вагонов на сети составляло 1 320 тыс. ед.,

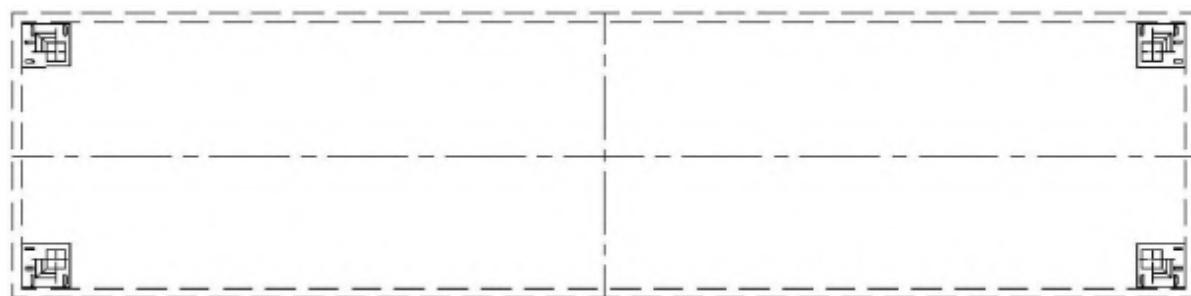


Рис. 3. Схема монтажа ложементов в полуwagonе
Fig. 3. Diagram of installation of the plates in a gondola wagon

из них 47 % – полувагоны (622 тыс. ед.) и 28 % – платформы (369 тыс. ед.) [20].

Рассмотрим количество вывезенного подвижного состава двух типов с Дальневосточной железной дороги (ДВЖД) в направлении Западно-Сибирской железной дороги (ЗСЖД) за 2021–2024 гг. (табл. 1).

Исходя из значений табл. 1, мы можем увидеть, что по выбранному маршруту за год порожний пробег варьируется от 200 до 250 тыс. полувагонов, а это миллионы неосуществленных объемов перевозки и огромная потеря потенциальной прибыли для участников перевозочного процесса.

В качестве примера рассмотрим транспортировку грузового контейнера со ст. Находка-Восточная ДВЖД до ст. Иня-Восточная ЗСЖД. В процессе анализа маршрута была определена стоимость транспортировки одного груженого контейнера с зерном. Данная стоимость была рассчитана с использованием онлайн-калькулятора, доступного на сайте «РЖД. Грузовые перевозки», и составила 223 148,4 р. [21]. Отмечается, что в стандарт-

ный полувагон помещается один 40-футовый контейнер. В табл. 2 представлены данные, отражающие нереализованные объемы грузоперевозок и связанные с этим потери потенциальной прибыли.

Основными станциями отправления, вывозящими такие типы вагонов, являются припортовые станции – Владивосток (эксп.), Находка-Вост. (эксп.), Ванино (эксп.), т.е. основные станции, выполняющие экспорт угля, а значит станции высвобождения полувагонов от груза. Кроме того, на эти станции, помимо экспортного угля, также поступает и большое количество экспортных контейнеров. Число контейнеров, поступающих на станции Дальнего Востока, показано в табл. 3.

По данным табл. 3 видно, что на станции ДВЖД поступает большое количество контейнеров под выгрузку. В последующем эти контейнеры подлежат транспортировке в груженом или порожнем состоянии. Сравнивая сведения из двух таблиц, можно сделать вывод, что имеющегося на данном направлении количества платформ недостаточно для того, чтобы спра-

Таблица 1. Количество отправленных вагонов со станций Дальнего Востока
Table 1. Number of wagons sent from stations in the Far East

Дорога назначения / отправления Destination / Departure Road		Западно-Сибирская железная дорога West-Siberian railway		
Дальневосточная железная дорога Far East railway	2021 г.	2022 г.	2023 г.	01.01.2024 – 30.06.2024
Количество вагонов, ед. Number of wagons, units				
Полувагоны Gondola wagons	256 237	243 070	206 746	98 203
Платформы Platforms	346	1 986	415	268

Таблица 2. Сравнительная таблица потерь от порожнего пробега полувагонов
Table 2. Comparative table of losses from empty running of gondola wagons

Перевозка одного вагона Transportation of one wagon		Перевозка 200 тыс. полувагонов Transportation of 200 thousand wagons	
Рубли Roubles	Тонны Tons	Рубли Roubles	Тонны Tons
223 148,4	22	44 629 680 тыс.	44 000 000

Таблица 3. Количество поступающих контейнеров на станции Дальнего Востока
Table 3. Number of incoming containers at the Far East station

Дорога назначения / отправления Destination / Departure Road		Дальневосточная железная дорога Far East railway		
Западно-Сибирская железная дорога West-Siberian railway	2021 г.	2022 г.	2023 г.	
Количество контейнеров (ДФЭ) Number of containers				
	13 376	10 239	9 940	

виться с вывозом контейнеров, находящихся на станциях участка. Вследствие чего портовые терминалы на Дальнем Востоке заполнены контейнерами, сроки доставки грузов увеличиваются практически в 2 раза, что приводит к срыву контрактов, штрафам и финансовым потерям.

Можно сказать, что предложенная технология вывоза контейнеров в полуwagonах позволяет не только сократить порожние рейсы полуwagonов, но и способствует вывозу импортных контейнеров с Восточного полигона. Помимо этого, транспортировка контейнерных грузов с использованием полуwagonов демонстрирует ценовую сопоставимость с логистическими операциями на фитинговых платформах, а в некоторых случаях стоимость может быть ниже, особенно в контексте 40-футовых контейнеров. Наблюдается тенденция к значимому сокращению ценового разрыва между данными видами транспортировки, однако этот фактор не является достаточным основанием для кардинального перераспределения объемов грузоперевозок с использованием полуwagonов [22].

Ограничения внедрения представленной технологии

Несмотря на представленные положительные аспекты, для беспрерывного и эффективного осуществления данной технологии необходимо справиться с имеющимися сложностями. Одним из главных ограничений является нехватка и неготовность терминалов для осуществления такой схемы перевозки. Станции ЗСЖД, на которых осуществляется перенос контейнеров из вагонов на платформы, физически не готовы к таким объемам – не хватает

технического оборудования и элементарных навыков подобной работы. По словам начальника ЗСЖД Александра Грицай, контейнерные терминалы технологически не предусматривали такого объема перегруза, на них нет необходимой емкости площадок под хранение контейнеров до момента перегруза, нет нужного количества приемо-отправочных путей, чтобы принимать грузы к выгрузке и погрузке для прямого варианта перегруза. Для осуществления такой технологии требуется много различных маневровых операций, что повлечет дополнительные расходы [23, 24].

Диаграмма баланса сил Курта Левина

Для оценки эффективности применения технологии транспортировки контейнеров с использованием полуwagonов будет применена методика анализа «Диаграмма баланса сил», разработанная Куртом Левином (рис. 4). Этот инструмент позволяет выявить и сопоставить факторы, способствующие и препятствующие внедрению данной технологии, что способствует обоснованному принятию решения о ее целесообразности.

Аналитический инструмент, известный как анализ поля сил, представляет собой методологию, применяемую для выявления факторов, способствующих или препятствующих изменениям в организационных процессах, и их количественной оценки. Этот инструмент позволяет определить интенсивность и направление действующих сил, а также оценить потенциальные возможности для усиления прогрессивных изменений [25].



Рис. 4. Диаграмма баланса сил Курта Левина

Fig. 4. Kurt Levin's Force Balance Chart

В контексте теории поля сил Курта Левина любая организационная ситуация интерпретируется как состояние динамического равновесия, в котором силы, способствующие изменениям, уравновешиваются силами, препятствующими им. Это равновесие приводит к стагнации, поскольку отсутствие преобладания одних сил над другими не способствует движению организации вперед. Для визуализации и анализа взаимодействия этих сил применяется диаграмма поля сил, которая служит инструментом для идентификации ключевых факторов, влияющих на организационное развитие, и разработки стратегий управления изменениями.

Представленный метод анализа занимает ведущие позиции в сфере управления проектами изменений и широко используется в различных областях деятельности. Его популярность обусловлена интуитивной понятностью и относительной простотой внедрения, что делает его подходящим инструментом для инициации процессов управления изменениями. Применение данного метода способствует активному вовлечению участников в процесс трансформации, обеспечивая при этом получение ощутимых результатов их деятельности.

На основе анализа представленной диаграммы, созданной на базе ключевых пунктов, изложенных ранее, можно сделать вывод, что главными детерминантами процессов являются факторы, имеющие экономическое и организационное обоснование. В контрасте с этим факторами, ограничивающими развитие, выступают традиционные структуры и процессы, кото-

рые требуют переосмыслиния и последующей модернизации в контексте текущих изменений экономической сферы и изменений в транспортной инфраструктуре.

Заключение

Таким образом, в ходе выполненных исследований получены следующие результаты.

1. В рамках анализа транспортных потоков с Дальневосточного полигона было установлено, что объемы отправления грузов в полувагонах значительно превышают объемы перевозки фитинговых платформ в несколько сотен раз.

2. Исследования, проведенные с учетом совокупных объемов отправлений различных видов подвижного состава, свидетельствуют о том, что транспортировка импортных контейнеров в полувагонах с Дальнего Востока является более эффективным вариантом.

3. В настоящее время разрабатываются мероприятия, направленные на оптимизацию процессов размещения и крепления контейнеров в полувагонах, что предполагает сокращение времени, затрачиваемого на операции погрузки и разгрузки, а также минимизацию рисков, связанных с безопасностью движения, целостностью грузов и состоянием подвижного состава.

4. На сегодняшний день сохраняется проблема дефицита и ограниченной пропускной и перерабатывающей способностей контейнерных терминалов, что требует дальнейшего внимания и разработки соответствующих решений.

Список литературы

1. Боженко С.А., Новожилова У.А. Анализ и перспективы развития контейнерных перевозок в РФ в современных условиях // Вестник науки. 2023. Т. 3. № 7 (64). С. 8–13.
2. Федорова Н.Б., Подвербных А.А. Проблемы и перспективы контейнерных перевозок // Управление эксплуатационной работой на транспорте : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2022. С. 145–148.
3. Zhipeng Qi. Research on Service Quality of Network Freight Transportation Platforms // Journal of Intelligence and Knowledge Engineering. 2023. Vol. 1. Iss. 3. P. 63–68. DOI 10.62517/jike.202304309.
4. От РЖД идет мощный сигнал операторам – полувагоны придется предоставлять под перевозку контейнеров! // Vgudok : сайт. URL : <https://vgudok.com/eksperty/denis-semyonkin-ot-rzhd-idiot-moshchnyy-signal-operatoram-poluvagony-pridyotsya> (Дата обращения 12.11.2024).
5. В ФТС назвали Китай главным торговым партнером России // Рамблер : сайт. URL : https://finance.rambler.ru/economics/53671233/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (Дата обращения 12.11.2024).
6. Логистический коллапс. Контейнеры уперлись в пропускную способность железной дороги // KONKURENT.RU : сайт. URL : <https://konkurent.ru/article/69969> (Дата обращения 25.10.2024).
7. Demurrage and detention: from operational challenges towards solutions / K. Storms, Ch. Sys, Th. Vanelslander et al. // Journal of Shipping and Trade. 2023. DOI 10.1186/s41072-023-00132-1.
8. От полной беззаходности // Коммерсантъ : сайт. URL : <https://www.kommersant.ru/doc/7159638> (Дата обращения 25.10.2024).
9. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) : с изм. и доп. на 01.07.2024. Доступ из справ.-прав. системы КонсультантПлюс в локал. сети.

10. Контейнеры расставят по полуwagonам. ОАО РЖД хочет внедрить технологию на Дальнем Востоке // Коммерсантъ : сайт. URL : <https://www.kommersant.ru/doc/5524114> (Дата обращения 02.10.2024).
11. Опыт по организации отправки контейнеров в полуwagonах из портов Дальнего Востока уникален // РЖД Партнер.ру : сайт. URL : <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/interview/opyt-po-organizatsii-otpravki-konteynerov-v-poluvagonakh-iz-portov-dalnego-vostoka-unikalen/> (Дата обращения 03.11.2024).
12. Гладунов В.А., Бондаренко Е.М. Анализ целесообразности загрузки порожних полуwagonов контейнерами // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке : тр. Всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск, 2022. Т. 1. С. 115–117.
13. Абакумова И.С., Акельев А.С. Сокращение порожних пробегов путем применения технологии перевозки контейнеров в полуwagonах // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. : тр. Всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск, 2024. Т. 1. С. 202–206.
14. В России поставили новый рекорд погрузки контейнеров в полуагоны // Overclockers : сайт. URL : <https://overclockers.ru/blog/GOTREK/show/179944/V-Rossii-postavili-novyj-rekord-pogruzki-kontejnerov-v-poluvagony> (Дата обращения 25.10.2024).
15. Время погрузки и расходы можно сократить // Гудок : сайт. URL : <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1680498> (Дата обращения 05.11.2024).
16. Инновационная система крепления контейнеров в универсальных полуагонах // АктивИнвест : сайт. URL : https://activinvest.pro/#section_8015da80 (Дата обращения 02.10.2024).
17. Пат. 2811184 Рос. Федерация. Способ установки 40-футового контейнера в полуагоне / В.А. Иншаков, А.В. Банщиков. № 2023129270 ; заявл. 13.11.2023 ; опубл. 11.01.2024, Бюл. № 2. 14 с.
18. Попова Е.А. Новые способы перевозки крупнотоннажных контейнеров // Транспорт : наука, образование, производство : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2023. С. 150–154.
19. Пат. 2788217 Рос. Федерация. Устройство для перевозки контейнеров в полуагонах и способ монтажа в полуагоне и подготовки к эксплуатации устройства для перевозки контейнеров / В.А. Иншаков, А.В. Банщиков. № 2022122506 ; заявл. 19.08.2022 ; опубл. 17.01.2023, Бюл. № 2. 16 с.
20. Вагоны выехали в свет // Коммерсантъ : сайт. URL : <https://www.kommersant.ru/doc/6478440> (Дата обращения 05.10.2024).
21. Расчет стоимости и экологичности грузовых перевозок // РЖД. Грузовые перевозки : сайт. URL : <https://cargolk.rzd.ru/services/calculator> (Дата обращения 12.11.2024).
22. Евсеев Д.Г., Селезнев Р.С. Универсализация подвижного состава на примере перевозки контейнеров в полуагонах // Наука и техника транспорта. 2023. № 2. С. 70–75.
23. На ЗСЖД признают сложности в организации перегруза контейнеров из полуагонов // Рамблер : сайт. URL : <https://finance.rambler.ru/economics/53421289-na-zszhd-priznayut-slozhnosti-v-organizatsii-peregruzka-konteynerov-iz-poluvagonov/> (Дата обращения 05.11.2024).
24. Strategies for Reducing Demurrage at the Douala Container Terminals (RTC Terminal) during Importation / M.V. Atud, O.R. Njuma, T.A. Chena et al // Asian Journal of Economics, Business and Accounting. 2023. Vol. 23. Iss. 23. P. 36–53. DOI 10.9734/AJEBBA/2023/v23i231169.
25. Анализ силового поля по Куруту Левину // b17.ru : сайт. URL : <https://www.b17.ru/article/520215/> (Дата обращения 05.11.2024).

References

1. Bozhenko S.A., Novozhilova U.A. Analiz i perspektivy razvitiya konteinernykh perevozok v RF v sovremennykh usloviyakh [Analysis and prospects for the development of container transportation in the Russian Federation in modern conditions]. *Vestnik nauki* [Bulletin of Science], 2023, Vol. 3, no 7 (64), pp. 8–13.
2. Fedorova N.B., Podverbnykh A.A. Problemy i perspektivy konteinernykh perevozok [Problems and prospects of container transportation]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Upravlenie ekspluatatsionnoi rabotoi na transporte»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Management of operational work in transport»]. Saint Petersburg, 2022, pp. 145–148.
3. Zhipeng Qi. Research on Service Quality of Network Freight Transportation Platforms // Journal of Intelligence and Knowledge Engineering, 2023, Vol. 1, iss. 3, pp. 63–68. DOI: <https://doi.org/10.62517/jike.202304309>.
4. Ot RZhD idet moshchnyi signal operatoram – poluvagony pridetsya predostavlyat' pod perevozku konteinerov! (Elektronnyi resurs) [Russian Railways is sending a strong signal to operators – gondola wagons will have to be provided for the transportation of containers! (Electronic resource)]. Available at: <https://vgudok.com/eksperty/denis-semyonkin-ot-rzhd-idiot-moshchnyy-signal-operatoram-poluvagony-pridyotsya> (Accessed November 12, 2024).
5. V FTS nazvali Kitai glavnym torgovym partnerom Rossii (Elektronnyi resurs) [The Federal Customs Service named China Russia's main trading partner (Electronic resource)]. Available at: https://finance.rambler.ru/economics/53671233/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (Accessed November 12, 2024).
6. Logisticheskii kollaps. Konteinery uperlis' v propusknyu sposobnost' zheleznoi dorogi (Elektronnyi resurs) [Logistics collapse. Containers are running up against the capacity of the railway (Electronic resource)]. Available at: <https://konkurent.ru/article/69969> (Accessed October 25, 2024).
7. Storms K., Sys Ch., Vanelslander Th., Van Deuren R. Demurrage and detention: from operational challenges towards solutions // Journal of Shipping and Trade, 2023. DOI: 10.1186/s41072-023-00132-1.
8. Ot polnoi bezzakhodnosti (Elektronnyi resurs) [From complete non-callback (Electronic resource)]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/7159638> (Accessed October 25, 2024).

9. Soglashenie o mezhdunarodnom zheleznodorozhnom gruzovom soobshchenii (SMGS) (s izm. i dop. na 01.07.2024) [Agreement on International Freight Transport by Rail (AIFR) (as amended and supplemented on July 1, 2024)].
10. Konteinery rasstavyat po poluvagonam. OAO RZhD khochet vnedrit' tekhnologiyu na Dal'nem Vostoke (Elektronnyi resurs) [Containers will be placed in gondola wagons. Russian Railways wants to introduce technology in the Far East (Electronic resource)]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/5524114> (Accessed October 2, 2024).
11. Opty po organizatsii otpravki konteinerov v poluvagonakh iz portov Dal'nego Vostoka unikal (Elektronnyi resurs) [The experience of organizing the shipment of containers in gondola wagons from the ports of the Far East is unique (Electronic resource)]. Available at: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/interview/opyt-po-organizatsii-otpravki-konteinerov-v-poluvagonakh-iz-portov-dalnego-vostoka-unikal/> (Accessed November 3, 2024).
12. Gladunov V.A., Bondarenko E.M. Analiz tselesoobraznosti zagruzki porozhnikh poluvagonov konteinerami [Analysis of the Feasibility of Loading Empty Gondola Wagons with Containers]. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudничество стран АТР в XXI веке* [Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century], 2022, Vol. 1, pp. 115–117.
13. Abakumova I.S., Akel'ev A.S. Sokrashchenie porozhnikh probegov putem primeneniya tekhnologii perevozki konteinerov v poluvagonakh [Reduction of empty runs by using the technology of transporting containers in gondola wagons]. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudничество стран АТР в XXI веке* [Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century], 2024, Vol. 1, pp. 202–206.
14. V Rossii postavili novyi rekord pogruzki konteinerov v poluvagony (Elektronnyi resurs) [Russia sets a new record for loading containers into gondola wagons (Electronic resource)]. Available at: <https://overclockers.ru/blog/GOTREK/show/179944/> V-Rossii-postavili-novyj-rekord-pogruzki-konteinerov-v-poluvagony (Accessed October 25, 2024).
15. Vremya pogruzki i raskhody mozno sokratit' (Elektronnyi resurs) [Loading time and costs can be reduced (Electronic resource)]. Available at: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1680498> (Accessed November 5, 2024).
16. Innovatsionnaya sistema krepleniya konteinerov v universal'nykh poluvagonakh (Elektronnyi resurs) [Innovative container securing system in universal gondola wagons (Electronic resource)]. Available at: https://activinvest.pro/#section_8015da80 (Accessed October 2, 2024).
17. Inshakov V.A., Banshchikov A.V. Patent RU 2811184 C1, 11.01.2024.
18. Popova E.A. Novye sposoby perevozki krupnotonnazhnykh konteinerov [New methods of transporting large-capacity containers]. *Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Transport: science, education, production»]. Voronezh, 2023, pp. 150–154.
19. Inshakov V.A., Banshchikov A.V. Patent RU 2788217 C1, 17.01.2023.
20. Vagony vyekhali v svet (Elektronnyi resurs) [The wagons have been released (Electronic resource)]. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/6478440> (Accessed October 5, 2024).
21. Raschet stoitosti i ekologichnosti gruzovykh perevozok (Elektronnyi resurs) [Calculating the cost and environmental friendliness of freight transportation (Electronic resource)]. Available at: <https://cargolk.rzd.ru/services/calculator> (Accessed November 12, 2024).
22. Evseev D.G., Seleznev R.S. Universalizatsiya podvizhnogo sostava na primere perevozki konteinerov v poluvagonakh [Universalization of rolling stock using the example of transporting containers in gondola wagons]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and technology of transport], 2023, no 2, pp. 70–75.
23. Na ZSZhD priznayut slozhnosti v organizatsii peregruzki konteinerov iz poluvagonov (Elektronnyi resurs) [The West Siberian Railway acknowledges the difficulties in organizing the transshipment of containers from gondola wagons (Electronic resource)]. Available at: <https://finance.rambler.ru/economics/53421289-na-zszh-d-priznayut-slozhnosti-v-organizatsii-peregruzki-konteinerov-iz-poluvagonov/> (Accessed November 5, 2024).
24. Atud M.V., Njuma O.R., Takwa A.Ch., Tenu R.M. Strategies for Reducing Demurrage at the Douala Container Terminals (RTC Terminal) during Importation // Asian Journal of Economics, Business and Accounting, 2023, Vol. 23, iss. 23, pp. 36–53. DOI: 10.9734/AJEBA/2023/v23i231169.
25. Analiz silovogo polya po Kurtu Levinu (Elektronnyi resurs) [Analysis of the force field according to Kurt Lewin (Electronic resource)]. Available at: <https://www.b17.ru/article/520215/> (Accessed November 5, 2024).

Информация об авторах

Аксенова Алина Аркадьевна, аспирант кафедры логистики, коммерческой работы и подвижного состава, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск; alina15062001@mail.ru.

Гришикова Диана Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики, коммерческой работы и подвижного состава, Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск; e-mail: raigas@inbox.ru.

Information about the authors

Alina A. Aksanova, Ph.D. Student of the Department of Logistics, Commercial Work and Rolling Stock, Siberian Transport University, Novosibirsk; e-mail: alina15062001@mail.ru.

Diana Yu. Grishkova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Logistics, Commercial Work and Rolling Stock, Siberian Transport University, Novosibirsk; e-mail: raigas@inbox.ru.

Оценка возможности применения теплоизоляционных материалов, производимых с использованием золошлаковых отходов, для основной площадки земляного полотна

Д.А. Ковенькин[✉], Д.О. Туманов, Е.В. Каймов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

[✉]kovenkin_da@irgups.ru

Резюме

В статье вкратце рассказано о планомерной модернизации Южного дублера Транссибирской железнодорожной магистрали, который позволяет быстрее доставлять грузы к Восточному полигону ОАО «РЖД» из добывающих и промышленных центров Южной Сибири. Затронута проблема поиска решений по стабилизации основной площадки земляного полотна, возникшая при строительстве вторых путей на участках Южного хода. Дело в том, что один из существующих способов борьбы с пучением замерзающих грунтов и осадкой оттаивающих не всегда дает нужный эффект. Речь идет о применении пенополистирольных плит. В работе обозначены дефекты таких плит, проявляющиеся во время укладки. Для борьбы с пучением грунтов рассматривается новый материал на основе золошлаковых отходов. Он разработан и предложен учеными Забайкальского института железнодорожного транспорта. Определяется возможность его использования для основной площадки земляного полотна. Расчеты проводились с помощью программного комплекса Frost 3D Universal. Для расчета были взяты показатели реального объекта, расположенного на перегоне Запань – Тагул Красноярской железной дороги. При проведении исследования выяснилось, что применять композиционные материалы на особенно груженапряженных железнодорожных линиях, а также на линиях I–III категорий на основной площадке земляного полотна возможно, однако это потребует увеличения толщины слоя теплоизоляционных материалов, что, в свою очередь, может привести к удорожанию проекта. Это не относится к линиям IV категории, на которых использование композиционных материалов в целом достаточно целесообразно.

Ключевые слова

площадка земляного полотна, величина морозного пучения, глубина промерзания, композиционные материалы, особогрузо-напряженные линии, пенополистирольные плиты, золошлаковые отходы

Для цитирования

Ковенькин Д.А. Оценка возможности применения теплоизоляционных материалов, производимых с использованием золошлаковых отходов, для основной площадки земляного полотна / Д.А. Ковенькин, Д.О. Туманов, Е.В. Каймов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 20–33. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).20-33.

Информация о статье

поступила в редакцию: 04.03.2025 г.; поступила после рецензирования: 11.03.2025 г.; принята к публикации: 12.03.2025 г.

Assessment of the possibility of using thermal insulation materials produced using ash and slag waste for the main roadbed platform

Д.А. Ковенькин[✉], Д.О. Туманов, Е.В. Каймов

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

[✉]kovenkin_da@irgups.ru

Abstract

The article briefly describes the planned modernization of the Southern Transsib stand-in, which allows faster delivery of goods to the Eastern Russian Railways Polygon from the mining and industrial centers of Southern Siberia. One of the problems in the construction of the second tracks on Southern Passage sections was raised, expressed in the search for solutions to stabilize the main roadbed platform. The fact is that one of the existing methods to combat the heaving of freezing and settlement of thawing soils does not always give the desired effect. We are talking about expanded polystyrene slabs. The defects of expanded polystyrene slabs during their laying are shown. A new material based on ash and slag waste for combating soil heaving is being considered. The material was developed and proposed by scientists from the Trans-Baikal Institute of Railway Transport. The possibility of using thermal insulation materials based on ash and slag waste for the main platform of the roadbed is being determined. The calculations were carried out using the Frost 3D Universal software package. The calculation is based on a real object on the Zapan – Tagul section of the Krasnoyarsk Railway. The conducted studies have shown that it is possible to use composite materials on especially heavily stressed lines, as well as lines of categories I–III on the main platform of the roadbed. However, this will require an increase in the thickness of the thermal insulation materials, which in turn may lead to an increase in the cost of the project. Nevertheless, on category IV lines, the use of composite materials is generally quite reasonable.

Keywords

the platform of the roadbed, the magnitude of frost heaving, the depth of freezing, composite materials, especially heavily stressed lines, expanded polystyrene boards, ash and slag waste

For citation

Koven'kin D.A., Tumanov D.O., Kaimov E.V. Otsenka vozmozhnosti primeneniya teploizolyatsionnykh materialov, proizvodimykh s ispol'zovaniem zoloshlakovykh otkhodov, dlya osnovnoi ploshchadki zemlyanogo polotna [Assessment of the possibility of using thermal insulation materials produced using ash and slag waste for the main roadbed platform]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 20–33. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).20-33.

Article Info

Received: March 4, 2025; Revised: March 11, 2025; Accepted: March 12, 2025.

Введение

Трасса из Кузбасса через горы Кузнецкого Алатау, Хакасско-Минусинскую котловину, Восточные Саяны и Канско-Рыбинскую лесостепь с выходом на Тайшет изначально строилась в 1960-е гг. в однопутном исполнении. Поэтому в связи с ростом грузопотока в сторону Восточного полигона ОАО «РЖД» уже более десяти лет проводит планомерную модернизацию Южного дублера Транссибирской магистрали. Южный ход позволяет быстрее доставлять грузы к Восточному полигону из добывающих и промышленных центров Южной Сибири. Активно строятся вторые пути на перегонах (рис. 1), расширяются станции, через горные хребты Саян пробивают вторые параллельные тоннели, а через реки возводят новые мосты (рис. 2).

Полностью открыть двухпутное движение поездов на всем перегоне Запань – Тагул Красноярская железная дорога планирует в конце 2025 г.

Новые объекты позволяют увеличить пропускную способность этого лимитирующего участка Южного хода Транссиба почти на 30 %, а интервал попутного следования поездов сократится с 20 до 8 мин.

Цель модернизации линии Междуреченск – Тайшет – увеличение пропускной и пропускной способностей в направлении пограничных переходов в КНР и портов Дальнего Востока. Планово завершается расширение от Абакана до Саянской, одновременно ведется строительство новых путей на участках от Саянской до Тайшета. Здесь из 16 перегонов 13 пока остаются однопутными.

Перевозки к портам Тихого океана России и наземным переходам в Китай неуклонно растут. Поэтому встал вопрос о строительстве дополнительных путей на второй северной железнодорожной переправе через Енисей и в Красноярске [1].



Рис. 1. Строительство вторых путей на участке пути Запань – Тагул
Fig. 1. Construction of second tracks on the Zapan' – Ta'gul section of the route



Рис. 2. Строительство второго моста через р. Бирюса на перегоне Запань – Тагул
Fig. 2. Construction of the second bridge across the Biryusa River on the Zapan' – Tagul section

Приведем некоторые технико-экономические показатели второго пути на участках Южного хода:

- категория железнодорожной линии – особогрузонапряженная;
- расчетный максимальный вес грузового поезда при стандартном подвижном составе – 6 300 т;
- расчетный максимальный вес для маршрутов, состоящих из инновационных вагонов с повышенной осевой нагрузкой – 7 100 т;
- скорость движения грузовых поездов – не более 90 км/ч;
- скорость движения пассажирских поездов – не более 140 км/ч.

Для достижения таких технико-экономических показателей необходимо особое внимание уделить «лечению больных мест» земляного полотна. Наиболее часто возникающей проблемой при строительстве вторых путей на участке Междуреченск – Абакан – Тайшет является деформация земляного полотна вследствие морозного пучения. Ликвидация пучин на железнодорожном пути проблема достаточно актуальная в связи с тем, что они являются одной из самых распространенных деформаций пути в зимнее время, а при оттаивании грунта в начале лета в местах пучин происходят такие деформации, как осадки и опасные резкие про-

садки пути [2–9]. Одним из способов ликвидации пучин является защита пучинистого (влажного) грунта от сезонного промерзания. В настоящие времена для этого используют синтетический теплоизолатор (пенополистирол), обладающий низкой теплопроводностью, гидрофобными свойствами и небольшой массой [10].

Пенополистирольные плиты целесообразно применять в случаях, когда другие противопучинные мероприятия оказываются технически неосуществимыми или экономически нецелесообразными, в том числе:

- на коротких по протяжению участках с залеганием пучинистых или многолетнемерзлых просадочных при оттаивании грунтов;
- при большой глубине промерзания грунтов в случае невозможности отвода воды из траншеи вырезки, предназначенной для заполнения дренирующим материалом;
- в местах залегания на незначительной глубине подземного льда.

Несмотря на массовость применения пенополистирольных плит у них существует ряд недостатков. Основными являются: низкая прочность, низкая устойчивость к влаге, подверженность термоокислительным процессам, повышение вибрационных свойств. На рис. 3 показано растрескивание плит во время их укладки на основную площадку земляного полотна.

В целях устранения недостатков теплоизоляционного слоя, выполненного из пенополистирольных плит, а также повышения эффективности защиты земляного полотна от воздействия отрицательных температур было предложено использовать вновь разработанный материал на основе золошлаковых отходов [11–14].

Теплоизоляция, изготовленная с использованием золошлаковых отходов – это экспериментальный материал, который получен в результате смешивания при определенных условиях специальной запатентованной полимерной добавки с отходами угольного горения (золошлаковыми отходами).

Данный материал разработан учеными Забайкальского института железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения под руководством Н.А. Коноваловой. На рис. 4 представлены образцы таких материалов.

Цель статьи – оценка возможности применения теплоизоляционных материалов на ос-

нове золошлаковых отходов для основной площадки земляного полотна с учетом категории железной дороги.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- рассмотреть реальный участок земляного полотна на перегоне Запань – Тагул для получения достоверных расчетов;

- определить температуру грунтов в теле земляного полотна под существующей и предложенными теплоизоляциями;

- произвести расчет глубины промерзания грунтов под теплоизоляциями;

- рассчитать высоту морозного пучения грунтов для каждого варианта теплоизоляции.

Объект исследования – земляное полотно железных дорог, подверженное деформациям морозного пучения.

Предмет исследования – новый теплоизоляционный материал для ликвидации морозного пучения грунтов земляного полотна железных дорог.



Рис. 4. Образцы полученных композиционных материалов
Fig. 4. Samples of the obtained composite materials

Научная новизна: впервые определялась возможность использования нового теплоизоляционного материала для ликвидации пучин.

Экспликация инженерно-геологических элементов приведена в табл. 2.

Исходные данные

Исходные данные по грунтам земляного полотна, а также балластной призмы представлены в табл. 1.

Геометрия кластеров расчетной модели принята по данным инженерно-геологических изысканий. Исследуемый поперечный профиль земляного полотна адаптировался к модели путем сглаживания и примитивизации отдельных элементов, что позволило избежать возникновения нереалистичных точек пластических деформаций.

Проектный поперечный профиль земляного полотна приведен на рис. 5.

Путь на участке проектирования бесстыковой, балласт щебеночный толщиной под шпалой не менее 40 см. Суммарная толщина балласта не менее 55 см. Толщина подбалластного защитного слоя принята 1,24 м.

На основании технического отчета об инженерно-геологических изысканиях по степени морозной пучинистости [15] в пределах глубин сезонного промерзания (4,60 м) залегают грунты, принятые по наихудшему результа-

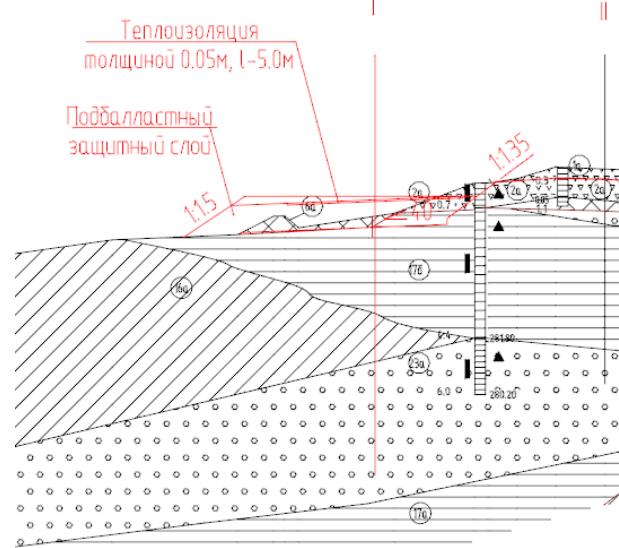


Рис. 5. Проектный поперечный профиль
Fig. 5. Design transverse profile

Рассмотрено моделирование теплового режима железнодорожного земляного полотна с теплоизоляцией под балластной призмой. Толщина теплоизоляции – 0,05 м. Ширина плины – 5 м, что соответствует второму климати-

Таблица 1. Физические и теплофизические свойства грунтов
Table 1. Physical and thermophysical properties of soils

Наименование инженерно-геологического элемента Name of the Engineering and geological element	Теплопроводность, Вт/(м · К) Thermal conductivity, W/(m · K)		Объемная теплоемкость, МДж/(м ³ · К) Volumetric heat capacity, MJ/(m ³ · K)		Суммарная влажность, д.е. Total humidity, d.e.	Плотность в сухом состоянии, кг/м ³ Dry density, kg/m ³	Температура начала замерзания, °C Freezing point, °C
	талого thawed	мерзлого frozen	талого thawed	мерзлого frozen			
16а Суглинок Loam	1,57	1,80	3,17	2,41	0,13	1 830,00	-0,31
23а Галечниковый грунт Pebble soil	2,00	2,20	2,39	2,08	0,10	1 800,00	-0,32
17а Глина твердая Clay solid	2,00	2,20	2,39	2,08	0,15	1 800,00	-0,32
17б Глина полутвердая Semi-hard clay	1,57	1,80	3,17	2,41	0,19	1 710,00	-0,31
Насыпь Песок Sand embankment	1,45	1,51	2,35	2,18	0,05	1 900,00	0,00
Щебень Crushed stone	2,00	2,35	1,84	1,675	0,10	1 800,00	0,00

Таблица 2. Экспликация грунтов
Table 2. Explication of soils

Номер инженерно-геологического элемента Number Engineering and geological element	Наименование грунта Name of the soil	Степень морозной пучинистости ε_{fn} Degree of frost heaviness ε_{fn}
Озерно-аллювиальные отложения Lacustrine-alluvial deposits		
16a	Суглинок галечниковый, твердый, с примесью органического вещества Pebble loam, hard, with an admixture of organic matter	Непучинистые ($\varepsilon_{fn} = 0,3\text{--}0,95\%$) Non-heaving ($\varepsilon_{fn} = 0,3\text{--}0,95\%$)
17a	Глина твердая Hard clay	Непучинистые ($\varepsilon_{fn} = 0,3\text{--}0,95\%$) Non-heaving ($\varepsilon_{fn} = 0,3\text{--}0,95\%$)
17б	Глина с галькой полутвердая Clay with pebbles semi-hard	Слабопучинистые ($\varepsilon_{fn} = 1,5\text{--}3,0\%$) Slightly heaving ($\varepsilon_{fn} = 1,5\text{--}3,0\%$)
23a	Галечниковый грунт с суглинистым заполнителем, малой степени водонасыщения Pebble soil with loamy filler, low degree water saturation	Непучинистые ($\varepsilon_{fn} = 0,3\text{--}0,95\%$) Non-heaving ($\varepsilon_{fn} = 0,3\text{--}0,95\%$)

Таблица 3. Допустимые характеристики теплоизоляции
Table 3. Acceptable thermal insulation characteristics

Показатель Indicator	Величина Size meaning
Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	≥ 35
Механические свойства: Mechanical properties	
Прочность на сжатие при 10%-ной линейной деформации, МПа Compressive strength at 10% linear deformation, MPa	≥ 0,5
Предел прочности при изгибе, МПа Bending strength, MPa	≥ 0,7
Деформативность под многократно приложенной динамической нагрузкой, % Deformability under repeatedly applied dynamic load, %	≤ 5
Водопоглощение по объему за 24 ч, % Water absorption by volume in 24 h, %	≤ 0,5
Коэффициент теплопроводности во влажном состоянии, Ккал/(м · ч · °C) Thermal conductivity coefficient in wet state, Kcal/(m · h · °C)	≤ 0,04

ческому району ($2\,000 \leq \Omega \leq 2\,500^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$). Толщина защитного слоя на покрытии – 10 см.

Применяемые плиты теплоизоляции должны обладать характеристиками, представленными в табл. 3.

Исходные данные по средней месячной и годовой температурам воздуха приняты по метеостанции «Тайшет» [16] (табл. 4). Температурный тренд глобального потепления для данной местности – $0,06^{\circ}\text{C}$ градуса в год. Средне-

зимняя теплопроводность снегового покрова равна $0,28 \text{ Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$.

На основной площадке земляного полотна высота снега принята равной 0. Это связано с постоянной очисткой железнодорожного пути от снега по условиям эксплуатации.

В табл. 5 приведены теплофизические свойства материалов. Обращаем ваше внимание на то, что показатель теплопроводности для композиционного материала выше нормы.

Таблица 4. Климатические условия
Table 4. Climatic conditions

Характеристика Characteristic	Месяц Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха, °C Temperature air, °C	-18,90	-16,20	-8,20	1,20	8,90	16,00	18,40	15,30	8,30	0,80	-9,70	-17,40
Коэффициент конвективного теплообмена, Bt/(m ² ·K) Coefficient convective heat exchange, W/(m ² K)	15,80	14,96	14,96	16,22	16,22	14,96	13,70	13,70	14,12	15,80	15,80	16,22
Скорость ветра, м/с Wind speed, m/s	2,30	2,10	2,10	2,40	2,40	2,10	1,80	1,80	1,90	2,30	2,30	2,40
Высота снежного покрова на откосах, м Snow height cover on slopes, m	0,47	0,49	0,51	0,47	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,25	0,38
Теплопроводность снега, Bt/(m · K) Thermal conductivity snow, W/(m · K)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28

Таблица 5. Физические характеристики строительных материалов
Table 5. Physical characteristics of building materials

Параметр материала Material parameter	Наименование материала Name of the material	
	Пенополистерол Expanded polystyrene	Композиционный материал Composite material
Начальная температура, °C Initial temperature, °C	1	1
Объемная теплоемкость, МДж / (м ³ ·°C) Volumetric heat capacity, MJ / (m ³ · °C)	0,0621	0,0796
Теплопроводность, Вт / (м·°C) Thermal conductivity, W/(m·°C)	0,031	0,17 > 0,04
Суммарная весовая влажность, д.е. Total moisture content by weight, d.u.	0	0
Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	45	78,2
Температура фазового перехода, °C Phase transition temperature, °C	0	0
Коэффициент фильтрации, м/сут Filtration coefficient, m/day	8,64*10 ⁻⁸	8,64*10 ⁻⁸

Методика расчета

Теплотехнические сравнительные расчеты проводились с применением программного комплекса Frost 3D Universal, разработанного ООО «Симмэйкерс».

Frost 3D – программный комплекс для моделирования процессов тепломассопереноса в многолетнемерзлых грунтах (ММГ) с учетом влияния внешних тепловых воздействий. Frost

3D позволяет получать научно-обоснованные прогнозы тепловых режимов ММГ в условиях теплового влияния трубопроводов, добывающих скважин, зданий, гидротехнических и других сооружений с учетом термостабилизации грунта.

Оценка среднемесячной температуры поверхности насыпи производилась согласно п. 5.2.13 [17]. Расчет температуры на поверхно-

сти насыпи T_n с учетом солнечной радиации вычислялся следующим образом:

$$T_n = T_s + \frac{R - Q}{\alpha},$$

где T_s – среднемесячная температура атмосферного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (см. табл. 4); α – коэффициент теплообмена поверхности с атмосферой, $\text{Вт} / \text{м}^2$, равный

$$\alpha(v) = \begin{cases} (2,4v + 2,3), & \text{при } v < 4,6 \text{ м/с} \\ 3,7(v - 1), & \text{при } v > 4,6 \text{ м/с} \end{cases}$$

где v – скорость ветра, м/с ; R – радиационный баланс поверхности насыпи для песчаных и щебеночных, $\text{Вт} / \text{м}^2$, который определяется по формуле –

$$R = 0,61 \cdot \Phi - 20;$$

Q – потери тепла дневной поверхности за счет испарения и нагрева подстилающих пород и фазовых переходов в них, $\text{Вт} / \text{м}^2$, определяемые как

$$Q = 0,49 \cdot \Phi - 60,$$

где Φ – суммарная солнечная радиация, $\text{Вт} / \text{м}^2$.

Учет воздействия солнечной радиации особенно актуален при расчете дорожных насыпей в случаях, когда происходит постоянная очистка дорожного полотна от снегового покрова или длительное затенение одного из откосов насыпи.

Данные по суммарной солнечной радиации определяются по рис. 6 в зависимости от широты.

Для естественной поверхности грунта воздействие солнечной радиации можно учесть по [18] (п. 7 приложения А) следующим образом:

$$t_{\text{пр}} = t + \Delta t_r - \Delta t_e,$$

где $t_{\text{пр}}$ – расчетное значение среднемесячной температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$; t – среднемесячная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; Δt_r и Δt_e – поправки к среднемесячным температурам воздуха за счет солнечной радиации и испарения соответственно, $^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta t_r = r / \alpha; \Delta t_e = \Delta t_r k; \alpha = 10 \sqrt{v},$$

где r – среднемесячная сумма радиационного баланса для рассматриваемого элемента поверхности, $^{\circ}\text{C}$; α – коэффициент теплообмена на поверхности грунта, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; k – коэффициент, учитывающий характер поверхности, принимаемый в первом приближении, равный 0,8 для естественной поверхности и 0,3 – для оголенной.

Согласно [18] при отсутствии достаточных данных допускается учитывать суммарную поправку путем прибавления к среднемесячным значениям температуры воздуха с апреля по сентябрь температурной добавки $\Delta t = 3 ^{\circ}\text{C}$.

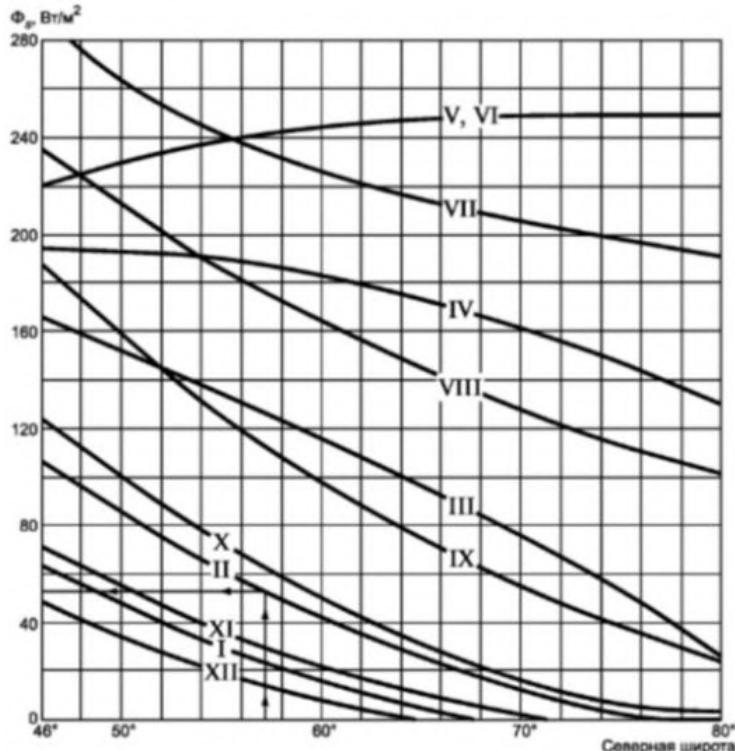


Рис. 6. Зависимость суммарной солнечной радиации от широты

Fig. 6. Dependence of total solar radiation on latitude

Таблица 6. Значение суммарной солнечной радиации
Table 6. The value of total solar radiation

Параметр Parameter	Месяц Month											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Суммарная солнечная радиация Φ , Вт/м ² Total solar radiation Φ , W/m ²	30	60	135	190	240	240	240	185	125	75	35	20

Учет дополнительного теплопритока на естественную поверхность грунта за счет воздействия солнечной радиации производился в соответствии с рис. 6, для 55° северной широты. Результаты расчета представлены в табл. 6.

Результаты расчета

Расчет температуры грунтов в теле земляного полотна проводился с прогнозом эффективности действия предложенных противопучинных мероприятий сроком на пять лет. Трехмерная модель насыпи показана на рис. 7. Конечно-элементная модель представлена на рис. 8. Расчетная сетка модели состоит из 9 259 элементов и 19 008 узлов.

Результаты теплотехнических расчетов, проведенных с применением программного комплекса Frost 3D, представлены в виде изоповерхностей температурного распределения по всему поперечному сечению земляного полотна. На рис. 9 и 10 показано такое распределение. Отображается цветовое распределение температур, где красный – самая высокая температура, а синий – самая низкая.

Теплотехнические сравнительные расчеты с применением программного комплекса Frost 3D Universal позволили определить температуру грунта под теплоизоляцией. На рис. 11 показано изменение температуры грунта под теплоизоляторами в течение всего пятиго года эксплуатации.

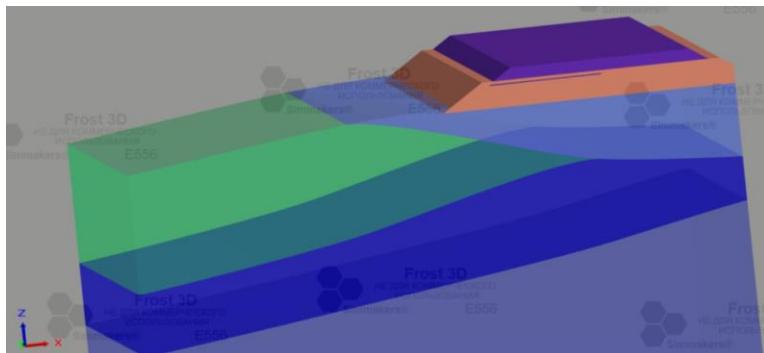


Рис. 7. Трехмерная геометрия земляного полотна
Fig. 7. Three-dimensional geometry of the roadbed

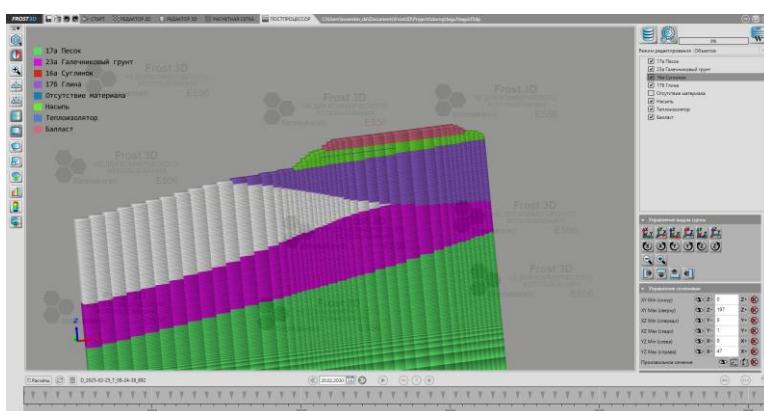


Рис. 8. Расчетная сетка модели
Fig. 8. The calculated grid of the model

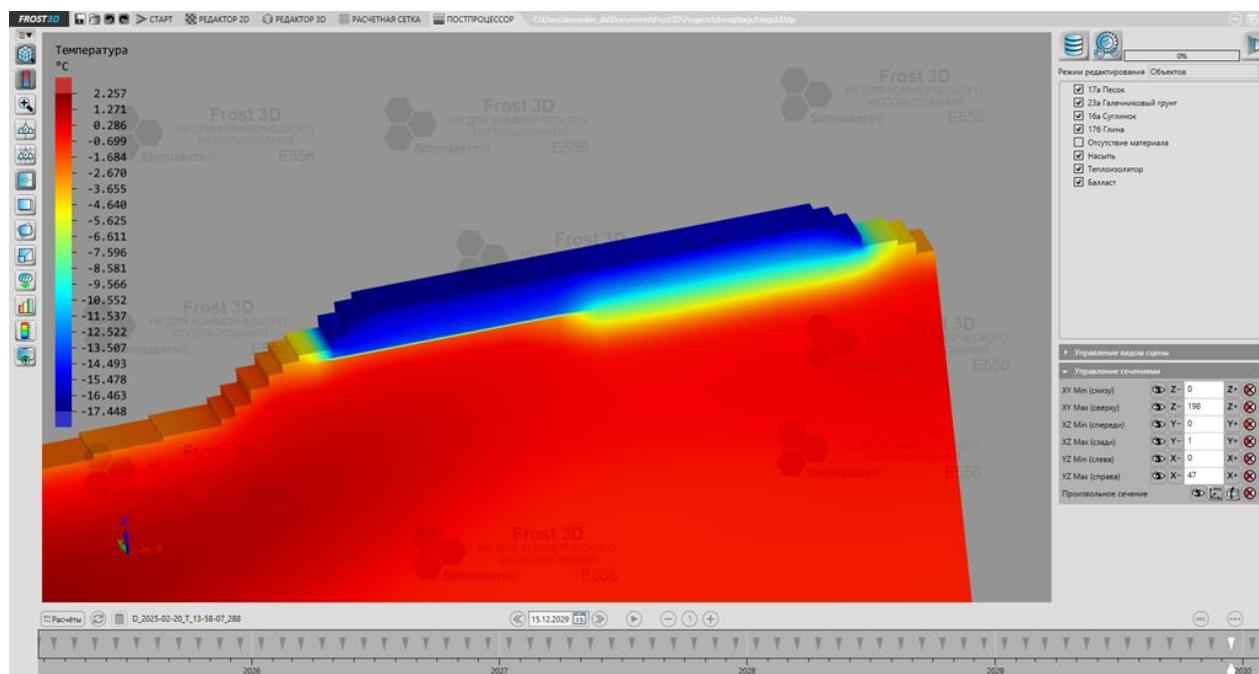


Рис. 9. Трехмерная визуализация температуры в сечении XZ расчетной области
Fig. 9. Three-dimensional visualization of temperature in the XZ section of the computational domain

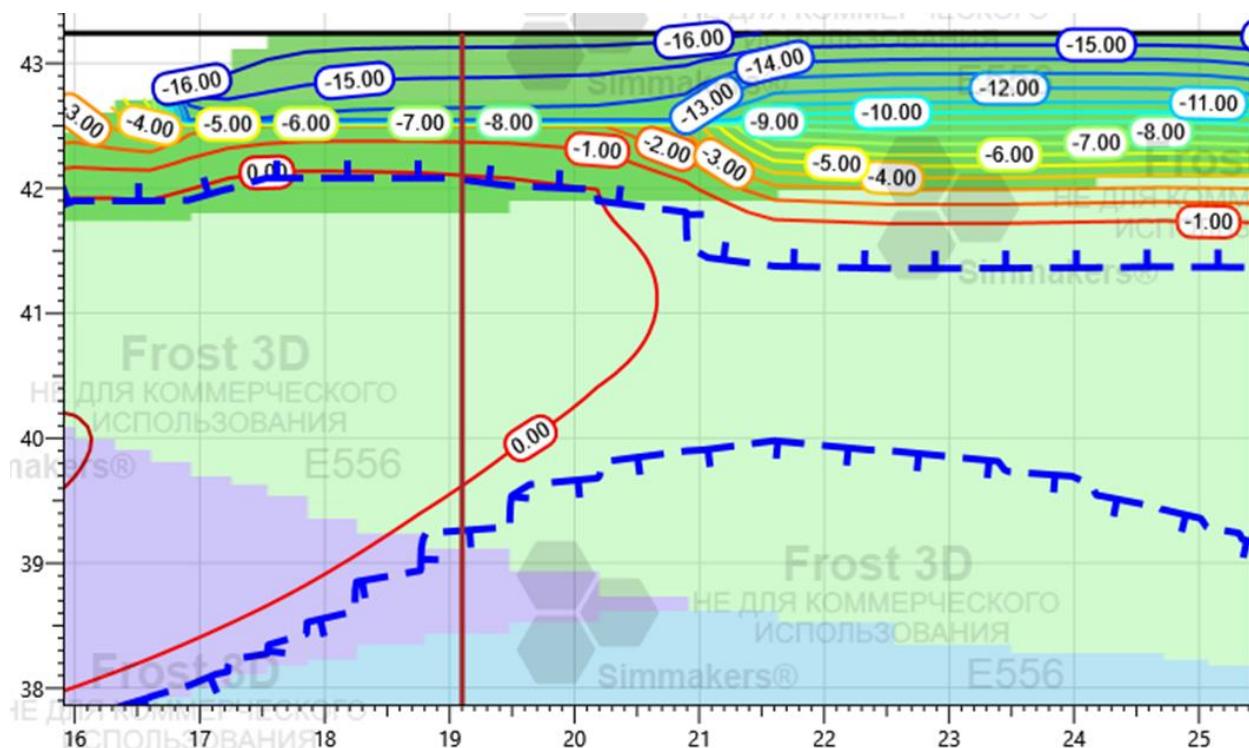


Рис. 10. Распределение температуры на 15.12.2029
Fig. 10. Temperature distribution as of December 15, 2029

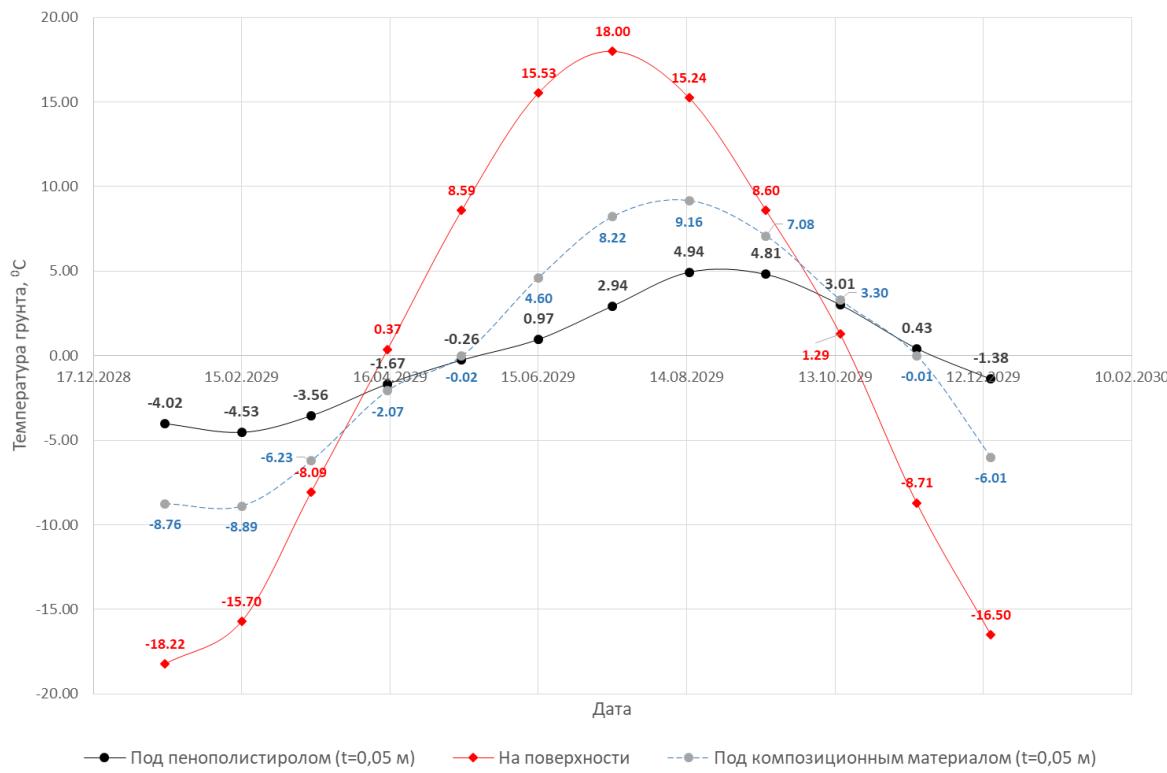


Рис. 11. Изменение температуры грунта под теплоизоляторами в течении пятого года эксплуатации
Fig. 11 Changes in ground temperature under thermal insulators during the fifth year of operation

Температура грунта под теплоизоляторами достигает своего минимума в феврале. Под пенополистиролом ее значение составляет $-4,53^{\circ}\text{C}$, в то же время под композиционным материалом она равна $-8,89^{\circ}\text{C}$.

Следовательно, по теплотехническим свойствам композиционный материал на основе отходов производства немногим хуже существующих пенополистирольных материалов. Однако для оценки возможности его применения в качестве теплоизоляционного на основной площадке земляного полотна был проведен расчет высоты морозного пучения.

Под морозным (криогенным) пучением понимается внутриобъемное деформирование промерзающих влажных почв и грунтов, при водящее к увеличению их объема вследствие кристаллизации в них воды и разуплотнения минеральной составляющей при образовании ледяных включений в виде прослойков, линз и поликристаллов.

На железных дорогах основным нормируемым параметром, характеризующим морозное пучение, является высота морозного пучения, которая определяется простейшей зависимостью:

$$h_{\text{пуч}} = \sum_{i=1}^n (H_i \cdot \varepsilon_{fni}),$$

где $h_{\text{пуч}}$ – высота пучения; ε_{fni} – коэффициент пучения в i -ом слое; H_i – глубина промерзания грунта i -го слоя.

В соответствии с нормативными документами [19, 20], регламентирующими допустимые деформации морозного пучения на железных дорогах, предельная высота равномерного морозного пучения грунтов земляного полотна не должна превышать нормативных значений $[h_{\text{пуч}}]$, определяемых категорией дороги. Рассматриваемый участок пути Запань – Тагул относится к особогрузонапряженной железнодорожной линии. В связи с этим допустимая высота равномерного морозного пучения, согласно [20], составляет 15 мм.

На основании данных инженерно-геологических изысканий получены величины коэффициента морозного пучения для грунтов, из которых сложено земляное полотно на рассматриваемом участке:

- 0,1 % – для песка;
- 2 % – для глины.

Глубина промерзания зависит от климатических условий, а также физических свойств грунтов, слагающих промерзшую толщу. Для определения глубины промерзания земляного полотна решают нестационарную теплофизическую задачу, в которой по изменению температуры воздуха на поверхности устанавливают проникновение изотермы с нулевой температурой в грунтовую толщу в течение периода с отрицательными температурами.

Глубина промерзания грунта определялась также с помощью программного комплекса Frost 3D Universal. На рис. 10 она показана синим цветом и основной штрихпунктирной кривой с бергштрихами, которые направлены в сторону мерзлых грунтов. Расчеты высоты морозного пучения проведены для периода с наибольшей глубиной сезонного промерзания. Такому периоду соответствует февраль. Результаты сведены в табл. 7.

Полученные данные позволили сделать следующие выводы:

1. Применение пенополистирольных плит толщиной 0,05 м в данных условиях возможно, так как максимальная величина морозного пучения не превышает допустимой величины для особогрузонапряженных линий – 13,49 мм < 15 мм.

2. Применение композиций ионных материалов толщиной 0,05 м в данных условиях невозможно в связи с тем, что максимальная величина морозного пучения превысила допустимую в 2,2 раза.

3. Однако применение композиционных материалов такой же толщины возможно для железнодорожных линий IV категории при допустимой величине пучения до 35 мм.

4. Можно говорить о том, что применять композиционные материалы на особогрузонапряженных линиях, а также линиях I–III категорий возможно, но это потребует увеличения толщины теплоизоляционных материалов. Аналогичные расчеты показали, что для рассмотренных условий эксплуатации потребуется толщина плит, равная 0,2 м. В этом случае максимальная величина морозного пучения будет меньше допустимой величины для особогрузонапряженных линий.

Заключение

Исходя из изложенного, основная цель данной работы, заключающаяся в определении возможности применения теплоизоляционных композиционных материалов на особогрузонапряженных линиях с помощью проведения тепловых прогнозных расчетов, достигнута.

Расчеты показали, что по теплотехническим свойствам композиционный материал на основе отходов производства немногим хуже существующих пенополистирольных материалов. Тем не менее применять композиционные материалы на особогрузонапряженных линиях, а также на линиях I–III категорий на основной площадке земляного полотна возможно, но это потребует увеличения толщины теплоизоляционных материалов, что, в свою очередь, может привести к удорожанию проекта.

На линиях IV категории применение композиционных материалов в целом достаточно целесообразно.

Определены сферы применения композиционных материалов на основе золошлаковых отходов для основной площадки земляного полотна. Данные материалы можно применять на

Таблица 7. Расчет величины пучения
Table 7. Calculation of the heave value

Параметры Parameters	Для пенополистирола ($t = 0,05$ м) For expanded polystyrene ($t = 0,05$ m)	Для композиционного материала ($t = 0,05$ м) For composite material ($t = 0,05$ m)
Глубина промерзания, м Freezing depth, m	2,26	3,24
Толщина балласта, м Ballast thickness, m	0,55	0,55
Толщина песка под плитой, м Thickness of sand under the slab, m	1,09	1,09
Толщина промерзшего слоя глины, м Thickness of frozen clay layer, m	0,62	1,60
Величина морозного пучения, мм Frost heave value, mm	13,49	33,09

железнодорожных линиях IV категории. На линиях с более высокой категорией использование таких материалов должно сопровождаться экономическим обоснованием.

Список литературы

1. На Южном ходе Транссиба завершается строительство моста через Бирюсу // ДЕЛА.ru : сайт. URL : <https://dela.ru/news/288637/> (дата обращения 21.02.2025).
2. Кондратьев В.Г. Активные способы укрепления основания земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита : Забтранс, 2001. 100 с.
3. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита : Полиграф-Ресурс, 2011. 176 с.
4. Ковенькин Д.А., Валиев Н.А. Защита от деградации многолетнемерзлых грунтов на снегозаносимых участках // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 11. С. 23–26.
5. Принятие решений при выборе конструкций и параметров сезонных охлаждающих устройств / В.А. Подвербный, А.А. Перельгина, Л.Ю. Гагарин и др. // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2019. С. 147–160.
6. Кирпичников К.А., Дашинимаев З.Б., Баклаженко А.Г. Способ стабилизации земляного полотна в районах распространения вечной мерзлоты с применением инновационных материалов // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2018. Т. 1. С. 92–96.
7. Валиев Н.А., Кондратьев В.Г. Эксперименты по стабилизации земляного полотна на центральном участке Байкало-Амурской магистрали с помощью солнцеосадкозащитных навесов // Инженерная геология. 2015. № 4. С. 56–63.
8. Валиев Н.А., Кондратьев В.Г. Результаты опытно-экспериментальных работ по охлаждению многолетнемерзлых грунтов в основании железнодорожного пути на центральном участке БАМ // Материалы Пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова. М, 2016. Т. 1. С. 168–175.
9. Валиев Н.А. Термокомплекс, защита от деградации оснований земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы десятой Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 538–541.
10. Использование синтетических теплоизоляторов для сохранения мерзлотных условий в основании железнодорожной насыпи / Е.С. Ашпиз, Л.Н. Хрусталев, Л.В. Емельянова и др. // Криосфера земли. 2008. Т. 12. № 2. С. 84–89.
11. Повышение реакционной способности золошлаковых отходов с целью их утилизации в дорожном строительстве / Д.В. Бесполитов, П.П. Панков, Н.А. Коновалова и др. // Молодая наука Сибири. 2023. № 1 (19). С. 242–247. URL: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/1105/840> (дата обращения 24.02.2025).
12. Оценка пригодности золошлаковых отходов Забайкальского края для производства дорожно-строительных материалов / П.П. Панков, Н.Д. Шаванов, Д.В. Бесполитов и др. // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 5. С. 15–21.
13. Коновалова Н.А. Научное и практическое обоснование получения экологически безопасных строительных материалов на основе крупнотоннажных отходов производства : дис. ... д-ра. техн. наук. Иркутск, 2022. 373 с.
14. Панков П.П. Разработка экологически безопасных дорожно-строительных материалов на основе крупнотоннажных отходов производства : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2021. 166 с.
15. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Введ. 2021-01-01. М. : Стандартинформ, 2020. 41 с.
16. СП 131.13330.2020 Строительная климатология (ред. 30.06.2023): утв. приказом Минстроя РФ № 859/пр от 24.12.2020. Введ. : 2021-06-25. М. : Минстрой России, 2020. 146 с.
17. СП 498.1325800.2020 Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Требования к инженерной подготовке территории : утв. приказом Минстроя РФ № 910/пр от 30.12.2020. Введ. 2021-07-01. М. : Минстрой России, 2021. 42 с.
18. СП 447.1325800.2019 Железные дороги в районах вечной мерзлоты. Основные положения проектирования : утв. приказом Минстроя РФ № 82/пр от 04.02.2019 (ред. 09.02.2023). Введ. 2019-08-05. М. : Минстрой России, 2019. 58 с.
19. СП 32-104-98 Проектирование земляного полотна железных дорог колен 1520 мм : одобрен Письмом Минземстроя РФ № 13-498 от 08.09.1998 г. Введ. : 1999-01-01. М. : Госстрой России, 1999. 160 с.
20. СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь : утв. приказом Минтранса РФ № 209 от 06.07.2015. Введ. 2015-07-01. М. : Минтранс России, 2015. 71 с.

References

1. Na Yuzhnom hode Transsiba zavershaetsya stroitel'stvo mosta cherez Biryusu (Elektronnyi resurs) [Construction of a bridge across the Biryusa River is being completed on the Southern course of the Transsib (Electronic resource)]. Available at: <https://dela.ru/news/288637/> (Accessed February 21, 2025).
2. Kondrat'ev V.G. Aktivnye sposoby ukrepleniya osnovaniya zemlyanogo polotna na vechnomerzlykh gruntakh [Active methods of strengthening the foundation of the roadbed on permafrost soils]. Chita: Zabtrans Publ., 2001. 100 p.
3. Kondrat'ev V.G. Stabilizatsiya zemlyanogo polotna na vechnomerzlykh gruntakh [Stabilization of the roadbed on permafrost soils]. Chita: Poligraf-Resurs Publ., 2011. 176 p.
4. Koven'kin D.A., Valiev N.A. Zashchita ot degradatsii mnogoletnemerzlykh gruntov na snegozanosimykh uchastkakh [Protection from degradation of permafrost soils on snow-bearing areas]. Put' i puteshestvo khozyaistvo [Track and track facilities], 2021, no 11, pp. 23–26.
5. Podverbnyi V.A., Perelegina A.A., Gagarin L.Yu., Ural'skii D.A. Prinyatie reshenii pri vybore konstruktii i parametrov sezonnnykh okhlazhdayushchikh ustroistv [Decision-making when choosing designs and parameters of seasonal cooling devices]. Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo» [Materials of the III All-

Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production». Chita, 2019, pp. 147–160.

6. Kirpichnikov K.A., Dashinimaev Z.B., Baklazhenko A.G. Sposob stabilizatsii zemlyanogo polotna v raionakh rasprostraneniya vechnoi merzloty s primeneniem innovatsionnykh materialov [A method for stabilizing the roadbed in permafrost distribution areas using innovative materials]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo» (v 2 t)* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production» (in 2 vol.)]. Chita, 2018. Vol. 1, pp. 92–96.

7. Valiev N.A., Kondrat'ev V.G. Eksperimenty po stabilizatsii zemlyanogo polotna na tsentral'nom uchastke Baikal-Amurskoi magistrali s pomoshch'yu solntseosadkozashchitnykh navesov [Experiments on the stabilization of the roadbed on the central section of the Baikal-Amur highway with the help of sunshade canopies]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], 2015, no. 4, pp. 56–63.

8. Valiev N.A., Kondrat'ev V.G. Rezul'taty optytno-eksperimental'nykh rabot po okhlazhdeniyu mnogoletnemerzlykh gruntov v osnovanii zheleznodorozhnoy puti na tsentral'nom uchastke BAM [Results of experimental work on the cooling of permafrost soils at the base of the railway track on the central section of the Baikal-Amur magistral]. *Materialy Pyatoi konferentsii geokriologov Rossii* [Materials of the Fifth Conference of geocryologists of Russia]. Moscow, 2016, Vol. 1, pp. 168–175.

9. Valiev N.A. Termokompleks, zashchita ot degradatsii osnovani zemlyanogo polotna na mnogoletnemerzlykh gruntakh [Thermocomplex, protection from degradation of the foundations of the roadbed on permafrost soils]. *Materialy Desyatoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirs'kogo regiona»* [Proceedings of the Tenth International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2019, Vol. 1, pp. 538–541.

10. Ashpiz E.S., Khrustalev L.N., Emel'yanova L.V., Vedernikova M.A. Ispol'zovanie sinteticheskikh teploizolatorov dlya sokhraneniya merzlotnykh uslovii v osnovanii zheleznodorozhnoi nasypy [Using of synthetical thermal insulators for conservation of frozen soil conditions in the base of railway embankment]. *Kriosfera Zemli* [Cryosphere of the Earth], 2008, Vol. 12, no 2, pp. 84–89.

11. Bespolitov D.V., Pankov P.P., Konovalova N.A., Goroyan T.A. Povyshenie reaktsionnoi sposobnosti zoloshlakovykh otkhodov s tsel'yu ikh utilizatsii v dorozhnom stroitel'stve [Increasing the reactivity of ash and slag waste for the purpose of their utilization in road construction]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2023, no 1 (19), pp. 242–247.

12. Pankov P.P., Shavanov N.D., Bespolitov D.V., Konovalova N.A. Otsenka prigodnosti zoloshlakovykh otkhodov Zabaikal'skogo kraya dlya proizvodstva dorozhno-stroitel'nykh materialov [Assessment of the suitability of ash and slag waste of the Trans-Baikal Territory for the production of road-building materials]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2023, Vol. 27, no 5, pp. 15–21.

13. Konovalova N.A. Nauchnoe i prakticheskoe obosnovanie polucheniya ekologicheski bezopasnykh stroitel'nykh materialov na osnove krupnotonnazhnykh otkhodov proizvodstva [Scientific and practical justification of obtaining environmentally friendly building materials based on large-tonnage production waste]. Doctor's thesis. Irkutsk, 2022. 373 p.

14. Pankov P.P. Razrabotka ekologicheski bezopasnykh dorozhno-stroitel'nykh materialov na osnove krupnotonnazhnykh otkhodov proizvodstva [Development of environmentally safe road-building materials based on large-tonnage production waste]. Ph.D.'s thesis. Irkutsk, 2021. 166 p.

15. GOST 25100-2020 Grunty. Klassifikatsiya [State Standard 25100-2020 Soils. Classification]. Moscow: Standartinform Publ., 2020. 41 p.

16. SP 131.13330.2020 Stroitel'naya klimatologiya (red. 30.06.2023) [Set of Rules no 131.13330.2020 Building climatology (ed. June 30, 2023)]. Moscow: Minstroi Publ., 2020. 146 p.

17. SP 498.1325800.2020 Osnovaniya i fundamenti zdani i sooruzhenii na mnogoletnemerzlykh gruntakh. Trebovaniya k inzhenernoi podgotovke territorii [Set of rules 498.1325800.2020 Soil bases and foundations of buildings and structures on permafrost soils. Requirements for land development of the area]. Moscow: Minstroi Rossii Publ., 2020. 42 p.

18. SP 447.1325800.2019 Zheleznye dorogi v rayonakh vechnoi merzloty. Osnovnye polozheniya proektirovaniya (red. 09.02.2023) [Set of rules 447.1325800.2019 Railways in the permafrost areas. General positions of projecting (ed. February 9, 2023)]. Moscow: Minstroi Rossii Publ., 2019. 58 p.

19. SP 32-104-98 Proektirovaniye zemlyanogo polotna zheleznykh dorog kolei 1520 mm [Set of rules no 32-104-98 Design of earthwork for rail ways with 1520 mm track]. Moscow: Gosstroy Rossii Publ., 1999. 160 p.

20. SP 238.1326000.2015 Zheleznodorozhnyi put' [Set of rules 238.1326000.2015 The railway track]. Moscow: Mintrans Rossii Publ., 2015. 71 p.

Информация об авторах

Ковенькин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: kovenkin_da@irgups.ru.

Туманов Дмитрий Олегович, аспирант кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: tumanov.dmitry2014@yandex.ru.

Каймов Евгений Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства железных дорог, мостов и тоннелей, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: eugen-kaimov@yandex.ru.

Information about the authors

Dmitrii A. Koven'kin, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: kovenkin_da@irgups.ru.

Dmitrii O. Tumanov, Ph.D. Student of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: tumanov.dmitry2014@yandex.ru.

Evgenii V. Kaimov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Department of Building of Railways, Bridges and Tunnels, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: eugen-kaimov@yandex.ru.

Краткий обзор применения гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта и анализ их достоинств и недостатков

С.В. Трескин¹✉, Е.Ю. Дульский¹, В.А. Кручек², П.Ю. Иванов¹

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉sergei.tresckin@yandex.ru

Резюме

В статье проведен обзор конструкций гасителей колебаний, используемых в рессорном подвешивании подвижного состава, приведены положительные результаты применения указанных устройств, а также произведен их анализ на предмет недостатков и достоинств. Было выполнено теоретическое описание единой механической системы, включающей подвижной состав и железнодорожный путь. Рассмотрены колебательные движения, возникающие при движении подвижного состава, а также причины, вызывающие их. Проведено компьютерное моделирование колебательных движений двухмассовой системы в среде Mathcad в двух расчетных случаях. В первом расчете выполняется с двухмассовой системой, включающей упругие и диссипативные элементы, во втором система включает только упругие элементы. С помощью данных вычислений можно наглядно показать поведение подвижного состава с исправными и неисправными или отсутствующими гасителями колебаний. В работе проанализированы полученные графики вертикальных перемещений элементов, входящих в состав двухмассовой системы (тележка и кузов). Выполнен обзор существующих типов гасителей колебаний, обозначены их преимущества и недостатки. Описана классификация гидравлических гасителей колебаний на основе их расположения в рессорном подвешивании подвижного состава, указаны конструктивные исполнения гидрогасителей. Отмечено, однако, что наибольшее распространение получили гасители телескопической конструкции. Возможной альтернативой гидравлических гасителей колебаний являются пневматические гасители, но они обладают существенными недостатками, ограничивающими их применение. Обозначены некоторые направления совершенствования гидрогасителей. Повышение работоспособности различных конструкций гасителей колебаний может стать одним из факторов, обеспечивающих увеличение осевой нагрузки и рост скорости движения подвижного состава, а в некоторых случаях позволит снизить негативное влияние на окружающую среду.

Ключевые слова

подвижной состав, гасители колебаний, рессорное подвешивание состава, колебательное движение, двухмассовая система, гидравлические гасители, пневматические гасители

Для цитирования

Краткий обзор применения гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта и анализ их достоинств и недостатков / С.В. Трескин, Е.Ю. Дульский, В.А. Кручек, П.Ю. Иванов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 34–45. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).34-45.

Информация о статье

поступила в редакцию: 21.02.2025 г.; поступила после рецензирования: 20.03.2025 г.; принята к публикации: 21.03.2025 г.

Brief survey of the use of vibration dampers in spring suspension structures of railway rolling stock and an analysis of their advantages and disadvantages

С.В. Трескин¹✉, Е.Ю. Дульский¹, В.А. Кручек², П.Ю. Иванов¹

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

²Petersburg State Transport University named Emperor Alexander I, Saint Petersburg, the Russian Federation

✉sergei.tresckin@yandex.ru

Abstract

The article provides a survey of the designs of vibration dampers used in spring suspension of rolling stock, provides positive results of using these devices, and analyzes them for disadvantages and advantages. A theoretical description of a single mechanical system, including rolling stock and railway track, was carried out. The oscillatory movements that occur during the movement of rolling stock, as well as the reasons causing them, are described. A computer simulation of the oscillatory motions of a

two-mass system in the Mathcad environment has been performed in two computational cases. In the first case, the calculation was performed with a two-mass system including elastic and dissipative elements, in the second case, the system included only elastic elements. By carrying out this calculation, it is possible to show clearly the behavior of rolling stock with serviceable and faulty or missing vibration dampers. The analysis of the obtained graphs of vertical movements of the elements included in the two-mass system (trolley and body) is carried out. A survey of the existing types of vibration dampers has been performed. Their advantages and disadvantages are given. The classification of hydraulic vibration dampers based on their location in the spring suspension of rolling stock is described. The designs of hydraulic dampers are pointed out. It is indicated, however, that telescopic dampers are the most widespread. A possible alternative to hydraulic vibration dampers is pneumatic dampers, but they have significant disadvantages that limit their possible use. Some areas of improvement of hydraulic dampers are outlined. Improving the operability of various vibration damper designs can be one of the factors that increase the axial load and speed of rolling stock, and in some cases will reduce the impact on the environment.

Keywords

rolling stock, vibration dampers, spring suspension of the train, oscillating motion, two-mass system, hydraulic dampers, pneumatic dampers

For citation

Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Kruchek V.A., Ivanov P.Yu. Kratkiy obzor primeneniya gasitelei kolebaniy v konstruktsiyakh ressornogo podveshivaniya podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta i analiz ikh dostoinstv i nedostatkov [Brief survey of the use of vibration dampers in spring suspension structures of railway rolling stock and an analysis of their advantages and disadvantages]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 34–45. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).34-45.

Article Info

Received: February 21, 2025; Revised: March 20, 2025; Accepted: March 21, 2025.

Введение

Подвижной состав и железнодорожный путь считаются единой механической колебательной системой. Это обусловлено тем, что данная система может находиться в двух состояниях – покое и динамике. В первом случае на конструкцию подвижного состава, его отдельные узлы и детали оказывают влияние лишь статические нагрузки: вес кузова и его отдельных элементов (тары), вес груза или пассажиров и т.д. Если рассматриваемая система находится во втором состоянии, то кроме указанных статических нагрузок на единицу подвижного состава оказывают влияние динамические нагрузки, причиной возникновения которых является взаимодействие пути и движущегося по нему подвижного состава [1].

Результатом этого взаимодействия являются колебательные движения единицы подвижного состава, которые усложняют работу как в целом всей конструкции подвижного состава, так и его отдельных узлов и элементов. Также происходит снижение уровня безопасности движения, ускоряется износ ответственных узлов и деталей и увеличивается его объем, что приводит к росту трудозатрат на проведение различных видов ремонта [2].

Цель данной статьи – изучение вопроса применения различных типов гасителей колебаний в рессорном подвешивании подвижного

состава, их анализ на предмет достоинств и недостатков.

Рессорное подвешивание подвижного состава, его составные элементы и их назначение

Для снижения влияния колебательных движений и динамических нагрузок применяется рессорное подвешивание. Кузов и рама практически любого типа железнодорожного транспорта связаны с ходовой частью с помощью рессорного подвешивания, состоящего из системы упругих и диссипативных элементов (гасителей колебаний).

Упругие элементы предназначены для уменьшения влияния динамических усилий, а гасители колебаний снижают величину колебательных движений, возникающих в подвижном составе.

Один из источников колебательных движений – различные неровности пути. Рессорное подвешивание в данном случае позволяет смягчить влияние неровностей пути на конструкцию подвижного состава, причем гасители колебаний играют важную роль в данном процессе. Неисправности или отсутствие по каким-либо причинам гасителей негативно сказываются на работе рессорного подвешивания, а также на плавности хода подвижного состава, что может привести к повреждениям отдельных

элементов и узлов конструкции. Данное явление возможно продемонстрировать через решение систем дифференциальных уравнений, описывающих вертикальные перемещения, возникающие в ходе движения единицы подвижного состава.

На сегодняшний день известно несколько подходов к моделированию динамики подвижного состава, которые делятся на две большие группы. Первая характеризуется структурой моделей, которые, в свою очередь, подразделяются на сопряженные и упрощенные. Вторая группа описывается структурой моделей транспортного средства и пути и имеет в своем составе различные подгруппы. В данных подгруппах подвижной состав может быть описан как система, состоящая из твердых тел и учитывающая только вертикальные и горизонтальные колебания, в другом случае в систему может быть включен гибкий кузов, а также могут учитываться характеристики элементов рессорного подвешивания. Для демонстрации зависимости вертикальных колебаний элементов подвижного состава от наличия исправных гасителей колебаний прове-

дено математическое моделирование с использованием упрощенной модели вертикальных колебаний подвижного состава с двухступенчатым рессорным подвешиванием. На рис. 1 показаны два варианта расчетной схемы, представленной двухмассовой системой.

Рассматриваемые схемы опишем следующими системами дифференциальных уравнений:

– для схемы (рис. 1, а):

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + b_1 \dot{z}_1 + b_2 (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + \\ + c_1 \cdot z_1 + c_2 \cdot (z_1 - z_2) = b_1 \cdot \dot{\eta} + c_1 \cdot \dot{\eta}; \\ m_2 \ddot{z}_2 + b_1 (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_2 \cdot (z_2 - z_1) = 0. \end{cases}$$

– для схемы (рис. 1, б):

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + c_1 \cdot z_1 + c_2 \cdot (z_1 - z_2) = c_1 \cdot \eta; \\ m_2 \ddot{z}_2 + c_2 \cdot (z_2 - z_1) = 0, \end{cases}$$

где m_1 – масса обрессоренной части тележки, т; m_2 – масса части кузова подвижного состава, опирающегося на тележку, т; c_1 , c_2 – значение жесткости в первой и второй ступенях рессорного подвешивания соответственно, кН/м; b_1 , b_2 – значение коэффициента вязкого трения в первой и второй ступенях рессорного подвеши-

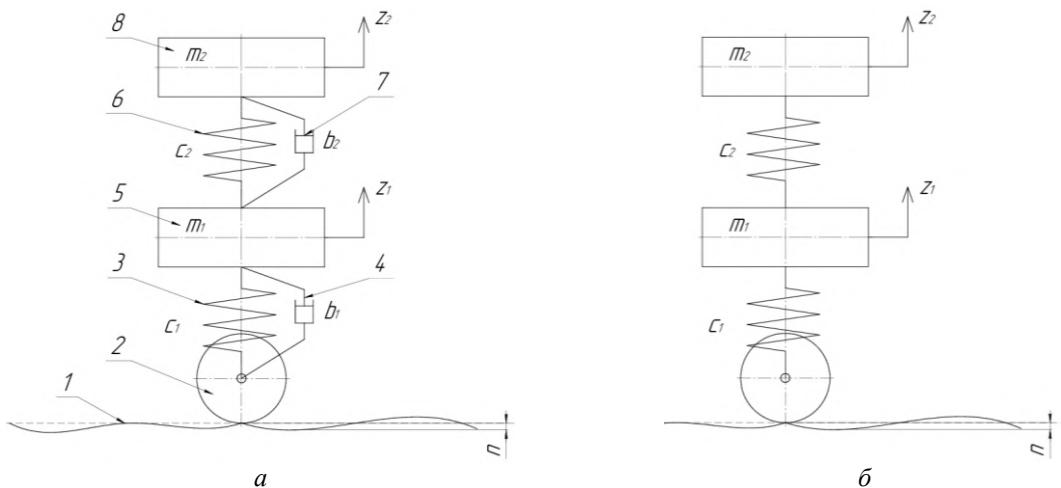


Рис. 1. Расчетные схемы двухмассовой системы:

а – двухмассовая система с упругими и диссипативными элементами (1 – уровень головок рельс; 2 – колесная пара; 3 – упругий элемент первой ступени рессорного подвешивания; 4 – диссипативный элемент первой ступени рессорного подвешивания; 5 – обрессоренная масса тележки; 6 – упругий элемент второй ступени подвешивания; 7 – диссипативный элемент второй ступени подвешивания; 8 – масса кузова подвижного состава, приходящаяся на одну тележку);
 б – двухмассовая система с упругими элементами и отсутствующими или неработоспособными диссипативными элементами

Fig. 1. Calculation schemes of a two-mass system:

а – a two-mass system with elastic and dissipative elements (1 – rail head level; 2 – wheelset; 3 – elastic element of the first stage of spring suspension; 4 – dissipative element of the first stage of spring suspension; 5 – sprung mass of the bogie; 6 – elastic element of the second stage of suspension; 7 – dissipative element of the second stage of suspension; 8 – mass of the rolling stock body per bogie);
 б – a two-mass system with elastic elements and missing or inoperative dissipative elements

вания соответственно, кН · с/м; η – случайные неровности пути; z_i , \dot{z}_i , \ddot{z}_i – вертикальное перемещение объектов и их производные.

Зададим начальные параметры, которые отображены в табл.

Затем была определена частота возмущений ω от неровностей на поверхности рельса по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi}{L} \cdot V,$$

Значения параметров, необходимых для моделирования движения двухмассовой системы

Values of parameters required to simulate the motion of a two-mass system

Наименование параметра Parameter name	Величина Value
Масса обдрессированной части тележки m_1 , т Mass of the sprung part of the bogie m_1 , t	9
Масса части кузова подвижного состава, опирающегося на тележку m_2 , т Mass of the part of the rolling stock body resting on the bogie m_2 , t	26
Жесткость в первой ступени рессорного подвешивания c_1 , кН/м Rigidity in the first stage of spring suspension c_1 , kN/m	7 000
Жесткость во второй ступени рессорного подвешивания c_2 , кН/м Rigidity in the second stage of spring suspension c_2 , kN/m	3 000
Коэффициент вязкого трения в первой ступени b_1 , кН · с/м Coefficient of viscous friction in the first stage b_1 , kN · s/m	60
Коэффициент вязкого трения во второй ступени b_2 , кН · с/м Coefficient of viscous friction in the second stage b_2 , kN · s/m	125
Скорость движения системы, м/с Speed of movement of the system, m/s	20
Длина неровности, м Length of irregularity, m	25
Амплитуда неровностей на поверхности рельса, м Amplitude of irregularities on the surface of the rails, m	0,005

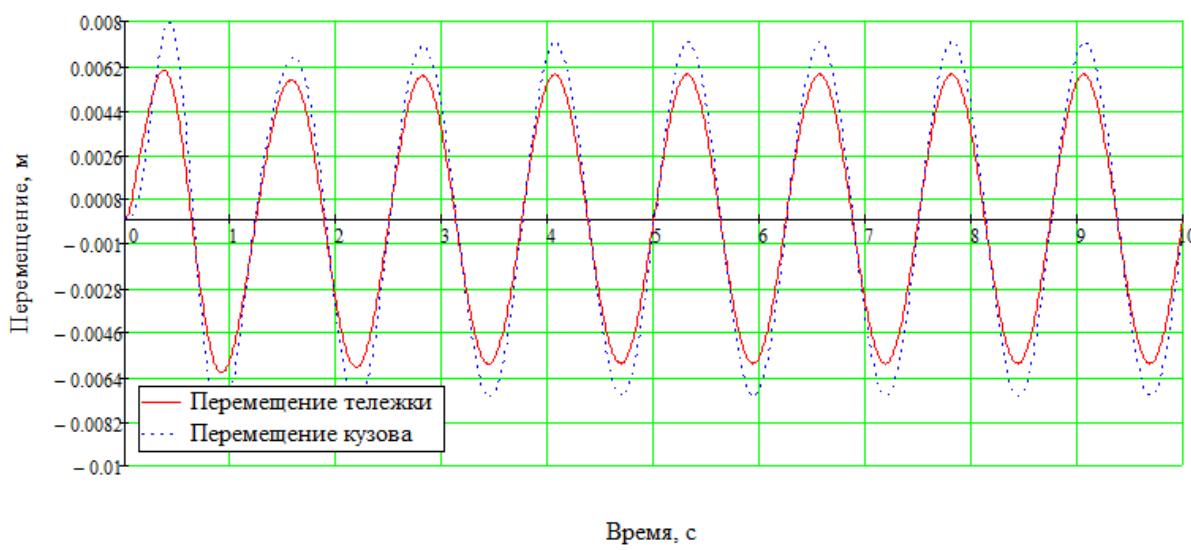


Рис. 2. График вертикальных перемещений тележки и кузова в случае наличия полностью исправных диссипативных элементов

Fig. 2. Graph of vertical displacements of the bogie and body in the case of the presence of fully functional dissipative elements

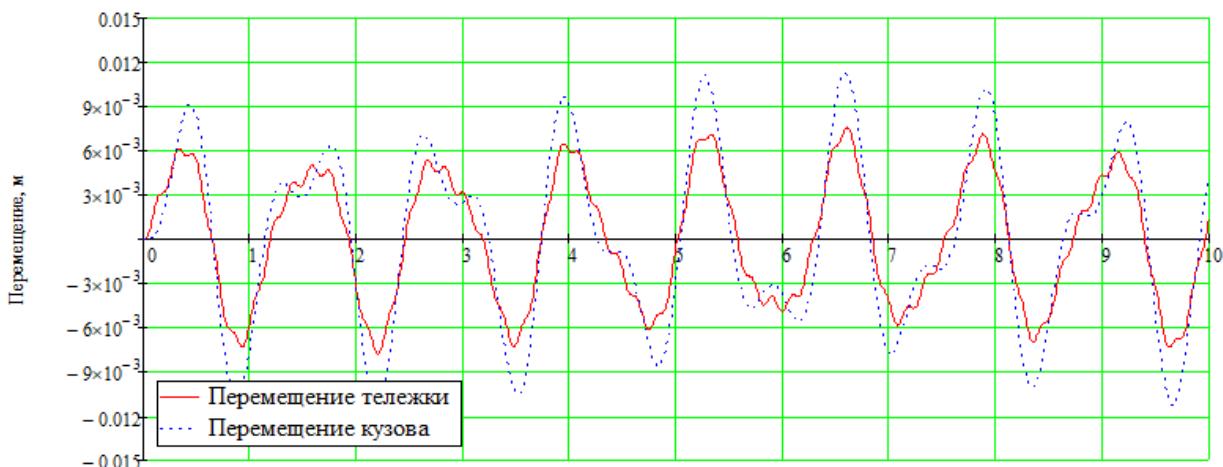


Рис. 3. График вертикальных перемещений тележки и кузова в случае отсутствия исправных диссипативных элементов

Fig. 3. Graph of vertical displacements of the bogie and body in the absence of serviceable dissipative elements

Анализируя графики, можно сделать вывод, что наличие исправных диссипативных элементов (гасителей) в рессорном подвешивании позволяет обеспечить более плавный ход подвижного состава при прохождении неровностей пути, а также снижает максимальную амплитуду колебаний, например в рассматриваемом случае кузов при отсутствии или неисправности демпферов совершает колебания с большей амплитудой (свыше 50 % по сравнению с системой, работающей штатно).

При прохождении колесной парой какой-либо неровности пути возникают динамические нагрузки, в некоторых случаях данные усилия умеют ударный характер. Также в ходе данного процесса могут возникнуть ускорения величиной до 25g [3]. Перечисленные явления способны привести к повреждениям различных элементов ходовой части подвижного состава.

Путь, находящийся в эксплуатации, зачастую имеет целые совокупности повторяющихся неровностей, движение по которым вызывает колебательные движения [4]. К неровностям пути относят различные вертикальные и горизонтальные отклонения (рихтовка), разность уровней рельсов по их головкам (перекосы), а также крестовины, стыки и пучины [5]. Другим источником колебаний подвижного состава являются повреждения и дефекты на поверхностях катания колеса, а также неуравновешенность колесной пары и эксцентричность посадки колеса. Рессорное подвешивание позволяет

обеспечить плавность хода путем минимизации амплитуды и частоты колебательного движения и снижения воздействия динамических нагрузок и величины ускорения.

Анализ различных типов гасителей колебаний

В конструкциях рессорного подвешивания функции упругих элементов могут выполнять цилиндрические пружины, листовые рессоры, торсионы, пневматические рессоры, а также резинометаллические элементы. Однако наибольшее распространение получили пружины. По сравнению с листовыми рессорами, цилиндрические пружины обладают рядом преимуществ, например, при одинаковых упругих характеристиках меньшей массой и габаритами будет обладать цилиндрическая пружина. Также пружины являются более ремонтопригодными и дешевыми в производстве [6]. Однако применение лишь цилиндрических пружин сжатия не является достаточным, так как в ходе движения единицы подвижного состава возникают различные колебательные движения, которые указанные элементы не могут устранить. Для устранения данного недостатка пружин применяются гасители колебаний [7]. По виду диссипативных (рассевающих) сил существующие гасители колебаний делятся на следующие группы: фрикционные, гидравлические и комбинированные. Принципиальное отличие между указанными группами гасителей колебаний заключается в способе преобразования механической энергии

колебаний в тепловую энергию. У фрикционных гасителей происходит преобразование с помощью сухого трения, у гидравлических гасителей с помощью вязкого трения.

Первыми нашли применение фрикционные гасители колебаний в конструкциях рессорного подвешивания. Сначала получили распространение листовые рессоры, которые обладают признаками как упругих элементов, так и фрикционных гасителей колебаний. Гашение колебаний в листовых рессорах осуществляется благодаря силе сухого трения между листами при их перемещении.

Листовые рессоры широко применялись в рессорном подвешивании подвижного состава в первой половине XX в. Наиболее часто они использовались в буксовом подвешивании различных типов двухосных грузовых вагонов и локомотивов, а также в центральной ступени подвешивания пассажирских вагонов. Данный тип рессор можно разделить на замкнутые и незамкнутые. Листовые рессоры до сих пор используются в рессорном подвешивании некоторых типов локомотивов и рефрижераторных вагонов, например, в буксовом подвешивании электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ80 и ВЛ85 (рис. 4), а также в некоторых магистральных и маневровых тепловозах используются незамкнутые листовые рессоры, а в центральной (люлечной) ступени подвешивания тележек КВ3-И2 (рис. 5) и ЦМВ-ДЕССАУ рефрижераторных вагонов – эллиптические замкнутые рессоры Галахова.

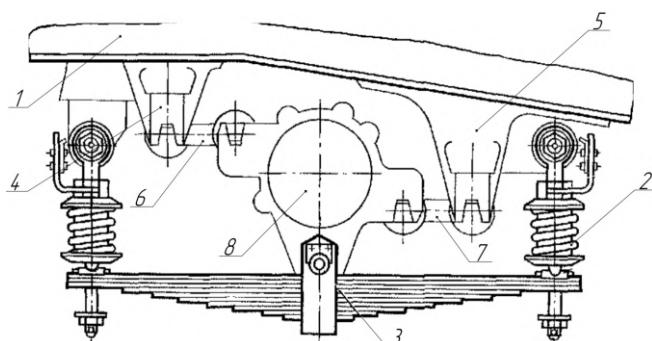


Рис. 4. Схема буксового подвешивания электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ80 и ВЛ85:

1 – рама тележки; 2 – цилиндрическая пружина; 3 – листовая рессора; 4, 5 – кронштейны; 6, 7 – поводки; 8 – корпус буксы

Fig. 4. Axle box suspension diagram for electric locomotives VL10, VL11, VL15, VL80 and VL85:

1 – bogie frame; 2 – cylindrical spring; 3 – leaf spring; 4, 5 – brackets; 6, 7 – leashes; 8 – axle box housing

В современных и вновь разрабатываемых типах подвижного состава не применяются листовые рессоры. Это обусловлено существенным недостатком таких рессор, который заключается в высоком коэффициенте трения, блокирующем работу рессоры при воздействии колебательных усилий с малой амплитудой и высокой частотой. Этот недостаток ведет к увеличению динамических нагрузок как на путь, так и на конструкцию единицы подвижного состава. Усовершенствование устройства пути на основе рельсошпальных решеток с рельсами тяжелых типов и железобетонных шпал и повышение массы локомотивов увеличивает негативное влияние этого недостатка листовых рессор.

Также стоит упомянуть, что небольшое распространение в конструкциях различных видов подвижного состава получили торсионные и кольцевые рессоры [6].

Широко используемые на сегодняшний день фрикционные гасители колебаний можно разделить на две группы: гасители с постоянной и переменной силой трения. К первому типу относятся, например, фрикционные гасители колебаний первой ступени подвешивания магистральных тепловозов 2ТЭ116. Схема данного гасителя представлена на рис. 6. Ко второму типу относятся клиновые гасители колебаний двухосных тележек грузовых вагонов (рис. 7) и гасители колебаний трехосных грузовых тележек и фрикционные гасители колебаний буксовой ступени тележек пассажирских вагонов.

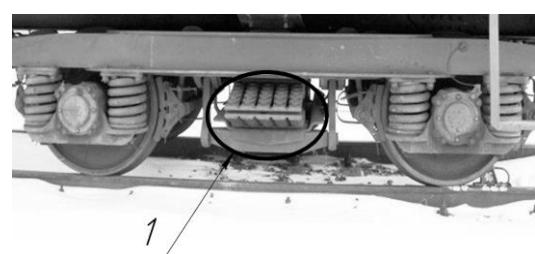


Рис. 5. Тележка рефрижераторных вагонов KVZ-I2:

1 – эллиптические рессоры люлечной ступени подвешивания

Fig. 5. Refrigerator wagon bogie KVZ-I2:

1 – elliptical springs of the cradle suspension stage

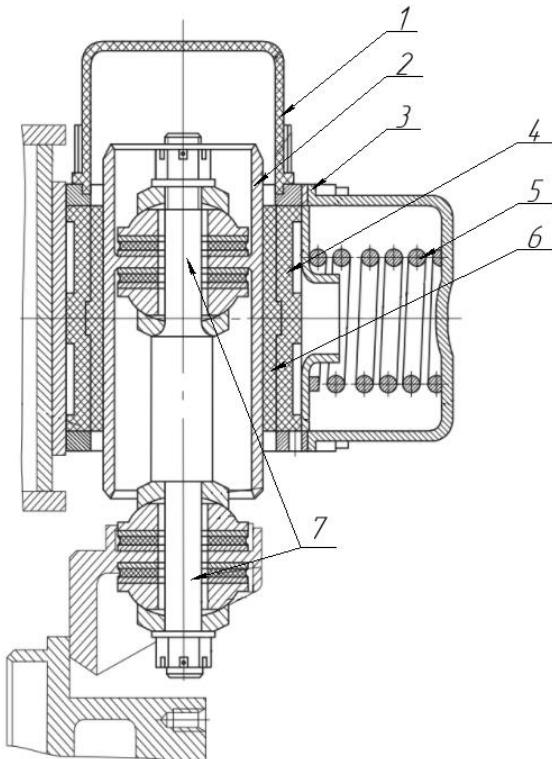


Рис. 6. Фрикционный гаситель колебаний магистрального тепловоза 2ТЭ116:

1 – кожух; 2 – поршень; 3 – крышка;

4, 6 – износостойкие накладки; 5 – прижимная пружина; 7 – места креплений

Fig. 6. Frictional vibration damper of the mainline diesel locomotive 2TE116:

1 – casing; 2 – piston; 3 – cover;

4, 6 – wear-resistant linings; 5 – pressure spring;

7 – fastening points

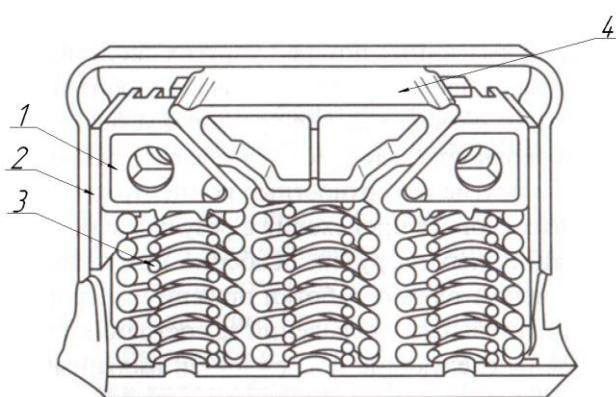


Рис. 7. Устройство фрикционного гасителя колебаний грузовой тележки 18-100 и ее модификаций:

1 – фрикционный клин; 2 – фрикционная планка;

3 – пружины рессорного комплекта;

4 – надрессорная балка

Fig. 7. The device of the friction damper of vibrations of the 18-100 cargo bogie and its modifications:

1 – friction wedge; 2 – friction bar;

3 – springs of the spring set; 4 – bolster

Главными их достоинствами являются простота конструкции и надежность. Однако данные устройства не лишены недостатков. К ним относятся: высокая скорость изнашиваемости трущихся элементов, отсутствие зависимости силы трения от частоты колебаний, высокая жесткость рессорного подвешивания при воздействии колебаний с небольшой амплитудой.

К фрикционным гасителям также относятся дисковые гасители электро- и дизель-поездов, и рефрижераторных вагонов Брянского машиностроительного завода [8].

Другим типом гасителей колебаний, широко применяемым в рессорном подвешивании подвижного состава, являются гидравлические гасители колебаний (гидрогасители, гидродемпферы). Они не обладают недостатками, присущими фрикционным гасителям. Принцип гашения колебаний у этих устройств основан на преобразовании механической энергии в тепловую за счет вязкого трения в рабочей жидкости при ее перетекании через калиброванные отверстия или зазоры в клапанных блоках. Основным назначением гидравлических гасителей колебаний является создание сил сопротивления при относительных перемещениях кузова и рамы тележки, а также рамы тележки и буксы.

Гидравлические гасители колебаний обладают определенными преимуществами в сравнении с иными видами гасителей:

– сила сопротивления данного типа гасителя обладает зависимостью от амплитуды и частоты колебаний;

– долговечность деталей в процессе эксплуатации в сравнении с фрикционными гасителями колебаний;

– простота обслуживания.

Однако данные гасители колебаний не лишены определенных недостатков, которые заключаются в следующем:

– возможность утечек рабочей жидкости при повреждении упругих уплотнений;

– зависимость вязкостных характеристик рабочей жидкости от температуры окружающей среды;

– жесткая передача ударных импульсов.

Известны три конструктивных исполнения гидравлических гасителей колебаний: телескопический, рычажный и крыльчатый [8].

Наибольшее распространение получил телескопический гидрогаситель, так как он

обладает существенными преимуществами: простота в обслуживании и монтаже в рессорное подвешивание подвижного состава, а также небольшая трудоемкость изготовления. Схема указанного типа гидрогасителя представлена на рис. 8.

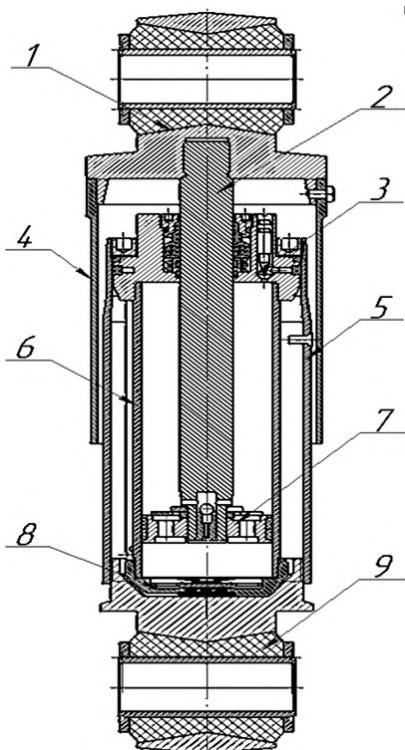


Рис. 8. Схема телескопического гидравлического гасителя колебаний:

1, 9 – крепежные проушины; 2 – шток;
3 – направляющая; 4 – кожух; 5 – корпус;
6 – цилиндр; 7 – поршень; 8 – днище

Fig. 8. Telescopic hydraulic damper diagram:
1, 9 – mounting lugs; 2 – rod; 3 – guide; 4 – casing;
5 – body; 6 – cylinder; 7 – piston; 8 – bottom

Существует классификация гидравлических гасителей колебаний в зависимости от места их установки в рессорном подвешивании подвижного состава:

1. ЦВ – гидрогасители, предназначенные для вертикальной установки с отклонением от указанного положения не более чем на 45° .

2. ЦГ – гидрогасители, предназначенные для горизонтальной установки с отклонением от указанного положения не более чем на 45° .

3. Ц – гидрогасители без ограничений к углу установки, предназначенные для гашения как вертикальных, так и горизонтальных колебаний кузова и тележек подвижного состава.

4. ДВЛ – гидрогасители, располагающиеся продольно вдоль рам тележек, предназначенные для гашения влияния колебаний виляния тележки при движении подвижного состава.

5. БВ – гидрогасители буксовых узлов с отклонением угла установки от вертикального расположения не более 30° , предназначенные для гашения влияния колебательных движений галлонирования, подпрыгивания и боковой качки тележек подвижного состава [9].

В целом гидравлические гасители данного типа нашли широкое применение в рессорном подвешивании локомотивов, пассажирских вагонов, вагонов метрополитена и трамваях. Постепенно эти устройства находят свое применение и в рессорном подвешивании грузовых вагонов. В качестве примера можно привести некоторые типы фитинговых платформ, например модели 13-6704 [10].

Существующие телескопические гидравлические гасители колебаний, как было сказано ранее, не лишены недостатков. Имеется необходимость совершенствования их конструкции.

Так, в [11] предлагается разработать и внедрить в конструкцию рессорного подвешивания подвижного состава управляемые гидравлические гасители колебаний ротационного типа.

В качестве рабочих жидкостей в гидравлических гасителях колебаний используются различные минеральные масла, например масло приборное МВП или АМГ-10. Существует определенная зависимость вязкости данных масел от температуры окружающей среды, что негативным образом оказывается на работоспособности гидродемпферов: из-за высокого показателя вязкости жидкость не успевает перетечь через дроссельные и клапанные отверстия, что может привести к блокировке работы гасителя и в целом всего рессорного подвешивания [12–15]. С целью минимизации зависимости демпфирующих свойств гасителя от изменчивости вязкостных свойств рабочей жидкостилагаются конструкции гидрогасителей с термоаккумулятором [16, 17] или замена жидкости на основе минеральных масел на ферромагнитные (электропроводящие) жидкости [18]. Ведутся работы по обеспечению надежной работы гидрогасителей при воздействии высоко- и низкочастотных колебаний [19].

Большое влияние на работоспособность гидравлических гасителей колебаний в зимний период года может оказать подкожуховое льдо-



Рис. 9. Схема некоторых направлений совершенствования гидравлических гасителей колебаний телескопической конструкции

Fig. 9. Scheme of some directions of improvement for hydraulic vibration dampers of telescopic design

образование. В [20] приводится описание методов борьбы с указанным явлением и предложен улучшенный щуп для выявления подкожухового льдообразования при техническом обслуживании подвижного состава [21].

Существуют пневматические гасители колебаний, однако их применение в конструкции рессорного подвешивания подвижного состава повлечет за собой внедрение в конструкцию дополнительного пневматического оборудования – компрессоры, трубопроводы, устройства пневмоавтоматики. Также значительное влияние на работоспособность пневматических гасителей могут оказывать неблагоприятные условия окружающей среды многих железных дорог ОАО «РЖД».

Обзор конструкций рессорного подвешивания подвижного состава как отечественного, так и зарубежного производства, позволяет сделать вывод, что основными его элементами являются цилиндрические пружины сжатия (Flexicoil), применяемые в качестве упругих элементов, и гидрогасители (гидродемпферы) телескопического типа, используемые в качестве диссипативных элементов [22].

В [23] производится сравнение рессорного подвешивания пассажирского электровоза ЭП2К, состоящего из перечисленных элементов, и рессорного подвешивания электровозов устаревших типов (ВЛ10 и др.). Было определено, что рессорное подвешивание ЭП2К обеспечивает уменьшение вертикальных ускорений кузова на 57 %, тележек на 37–40 %, необесцоренных элементов на 6–7 %.

Необходимо совершенствовать технические характеристики и конструкции гидравлических гасителей колебаний, так как данные устройства весьма подвержены различным неисправностям, таким как утечка рабочей жидкости, различные механические повреждения узлов крепления и клапанно-дроссельных элементов конструкции [24]. Поэтому нужно выделить некоторые направления улучшения гидравлических гасителей колебаний, так как работы по ним позволяют повысить эффективность и надежность функционирования гидрогасителей, что, в свою очередь, приведет к повышению динамических и прочностных качеств подвижного состава [25]. Особенно важно сосредоточить внимание на повышении стойкости к ударным и вибрационным нагрузкам. Так, в [26] отмечается, что гидрогасители буксовой ступени рессорного подвешивания электровозов серии «Ермак» (2ЭС5К и 3ЭС5К) наиболее часто выходят из строя по причине высоких динамических нагрузок, вызываемых высокими частотами и амплитудами колебательных движений. На рис. 9 представлена схема некоторых направлений совершенствования гидрогасителей телескопической конструкции.

Заключение

Таким образом, развитие и совершенствование подвижного состава постоянно требуют улучшения характеристик рессорного подвешивания. Необходимо уделять особое внимание на способность рессорного подвешивания к гашению механических колебаний,

возникающих при движении подвижного состава. Следовательно, повышение надежности и работоспособности различных видов гасителей колебаний – важная задача совершенствования подвижного состава железнодорожного транспорта, так как работы в данном направлении могут стать одним из факторов, обеспечивающих увеличение осевой нагрузки и рост скорости движения подвижного состава, а в некоторых случаях позволят снизить негативное влияние на окружающую среду (по при-

чине сокращения количества случаев утечек минерального масла у гидрогасителей). В процессе анализа научных работ направление по повышению стойкости гидрогасителей к ударным и вибрационным нагрузкам, в том числе и к нагрузкам с низкой и высокой частотой, было определено как наиболее перспективное. Данному направлению уделяется недостаточно внимания, поэтому дальнейшие работы будут посвящены именно ему.

Список литературы

1. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. М. : Транспорт, 1991. 360 с.
2. Гарг В.К., Дуккипати Р.В. Динамика подвижного состава. М. : Транспорт, 1988. 390 с.
3. Вагоны / Л.А. Шадур, И.И. Челноков, Л.Н. Никольский и др. М. : Транспорт, 1980. 439 с.
4. Обоснование выбора расчетных неровностей железнодорожного пути для оценки показателей динамических качеств вагона / А.М. Орлова, А.Н. Комарова, Е.А. Рудакова и др. // Вестн. ин-та проблем естеств. монополий: техника железных дорог. 2019. № 2 (46). С. 36–42.
5. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М. : Транспорт, 1986. 558 с.
6. Шевченко П.В., Горбенко А.П. Вагоны промышленного железнодорожного транспорта. Киев : Вища шк., 1980. 224 с.
7. Гасители колебаний вагонов / И.И. Челноков, Б.И. Вишняков, В.М. Гарбузов и др. М. : Трансжелдориздат, 1963. 176 с.
8. Соколов М.М., Варава В.И., Левит Г.М. Гасители колебаний подвижного состава. М. : Транспорт, 1985. 216 с.
9. ГОСТ 33749-2016. Демпферы гидравлические железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия. Введ. 2017-01-01. М. : Стандартинформ, 2019. 15 с.
10. Анализ применения гидравлических гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта / С.В. Трескин, Е.Ю. Дульский, В.А. Кручек и др. // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2024. Т. 21. № 3. С. 598–608.
11. Минжасаров М.Х. Повышение динамических качеств локомотива совершенствованием буксовой ступени рессорного подвешивания : дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2016. 166 с.
12. Домнышев Д.А. Обеспечение эксплуатационных характеристик гидравлических амортизаторов автомобилей, используемых в сельском хозяйстве при низких температурах : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2021. 119 с.
13. Казорин П.С. Влияние отрицательных температур на работоспособность гидравлических амортизаторов перспективных гусеничных машин, предназначенных для использования в особо тяжелых природно-климатических условиях, в том числе Севера, Сибири и Дальнего Востока // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5-6 (167-168). С. 141–148.
14. Казорин П.С., Шик В.А. Определение вязкости амортизаторных жидкостей // Студенческая наука об актуальных проблемах и перспективах инновационного развития регионального АПК : материалы XXI науч.-практ. конф. обучающихся. Тара, 2022. С. 74–78.
15. Троценко В.В., Казорин П.С. Обеспечение плавности хода гусеничной машины по случайной неровной поверхности в условиях низких температур // Вестн. Омск. гос. аграр. ун-та. 2024. № 1 (53). С. 162–174.
16. Пат. 200121 Рос. Федерация. Устройство обеспечения работоспособности гидравлических амортизаторов военных гусеничных и колесных машин в условиях низких температур / Д.В. Шабалин, П.С. Казорин, Н.Е. Ракимжанов и др. № 2020119248 : заявл. 03.06.2020 ; опубл. 07.10.2020, Бюл. № 28. 6 с.
17. Пат. 142785 Рос. Федерация. Гидравлический амортизатор с теплоаккумулятором / Ю.А. Гуськов, М.Л. Вертей, А.А. Долгушин и др. № 2014106686/11 ; заявл. 21.02.2014 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19. 2 с.
18. Пат. 177722 Рос. Федерация. Гидравлический гаситель колебаний / В.И. Воробьев, С.Н. Злобин, О.В. Измеров и др. № 2017107891 ; заявл. 10.03.2017 ; опубл. 06.03.2018, Бюл. № 7. 6 с.
19. Пат. 221859 Рос. Федерация. Устройство гашения колебаний с переменной характеристикой / П.Ю. Иванов, Е.Ю. Дульский, Е.А. Милованова и др. № 2023119091 ; заявл. 18.07.2023 ; опубл. 28.11.2023, Бюл. № 34. 7 с.
20. Обзор и классификация методов борьбы с подкожуховым льдообразованием в гидравлических гасителях колебаний подвижного состава / С.В. Трескин, Е.Ю. Дульский, В.А. Кручек и др. // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2024. Т. 21. № 4. С. 825–834.
21. Пат. 228190 Рос. Федерация. Щуп для определения подкожухового льдообразования в гидравлических гасителях колебаний / С. В. Трескин. № 2024106657 ; заявл. 11.03.2024 ; опубл. 19.08.2024, Бюл. № 23. 6 с.
22. Галиев И.И., Нехаев В.А., Николаев В.А. Методы и средства виброзащиты железнодорожных экипажей. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2010. 339 с.
23. Смалев А.Н. Улучшение показателей динамических качеств локомотива на основе модернизации рессорного подвешивания и совершенствования методики его расчета : дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2011. 172 с.
24. Буйносов А.П., Карамов Е.А. Результаты испытания гидравлических гасителей локомотивов методом гармонических колебаний // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6. С. 46–49.

25. Буйносов А.П. Анализ неисправностей отечественного пассажирского электровоза ЭП2К // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 8. С. 11–14.

26. Савоськин А.Н., Лавлинская Н.С., Иванов П.Ю. Применение упругозащищенного гидравлического гасителя колебаний в рессорном подвешивании локомотивов // Вестн. Науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 2022. Т. 81. № 2. С. 134–147.

References

1. Vershinskii S.V., Danilov V.N., Khusidov V.D. Dinamika vagona [Carriage dynamics]. Moscow: Transport Publ., 1991. 360 p.
2. Garg V.K., Dukkipati R.V. Dinamika podvizhnogo sostava [Dynamics of railway. Vehicle systems]. Moscow: Transport Publ., 1988. 390 p.
3. Shadur L.A., Chelnokov I.I., Nikol'skii L.N., Nikol'skij E.N., Koturanov V.N., Proskurnev P.G., Kazanskii G.A., Spivakovskii A.L., Devyatkov V.F. Vagony [Wagons]. Moscow: Transport Publ., 1980. 439 p.
4. Orlova A.M., Komarova A.N., Rudakova E.A., Savushkin R.A. Obosnovanie vybora raschetnykh nerovnostei zheleznodorozhного puti dlya otseki pokazatelei dinamicheskikh kachestv vagona [Justification of the choice of calculated railway track irregularities for assessing the dynamic qualities of the carriage]. *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: tekhnika zheleznikh dorog* [Bulletin of the Institute of Problems of Natural Monopolies: Railway Engineering], 2019, no 2, pp. 36–42.
5. Verigo M.F., Kogan A.Ya. Vzaimodeistvie puti i podvizhnogo sostava [Interaction of track and rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1986. 558 p.
6. Shevchenko P.V., Gorbenko A.P. Vagony promyshlennogo zheleznodorozhного transporta [Industrial railway transport wagons]. Kiev: Vishcha shkola Publ., 1980. 224 p.
7. Chelnokov I.I., Vishnyakov B.I., Garbuzov V.M., Estling A.A. Gasiteli kolebanii vagonov [Vibration dampers of wagons]. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1963. 176 p.
8. Sokolov M.M., Varava V.I., Levit G.M. Gasiteli kolebanii podvizhnogo sostava [Vibration dampers for rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1985. 216 p.
9. GOST 33749-2016. Dempfery gidravlicheskie zheleznodorozhного podvizhnogo sostava. Obshchie tekhnicheskie usloviya [State Standard 33749-2016. Hydraulic dampers for railway rolling stock. General specifications]. Moscow: Standartinform Publ., 2019. 15 p.
10. Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Kruchek V.A., Ivanov P.Yu. Analiz primeneniya gidravlicheskih gasitelei kolebanii v konstruktsiyakh resornogo podveshivaniya podvizhnogo sostava zheleznodorozhного transporta [Analysis of the use of hydraulic vibration dampers in spring suspension structures of railway rolling stock]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg Transport University], 2024, Vol. 21, no 3, pp. 598–608.
11. Minzhasarov M.Kh. Povyshenie dinamicheskikh kachestv lokomotiva sovershenstvovaniem buksovoi stupeni resornogo podveshivaniya [Improving the dynamic qualities of the locomotive by improving the axle box stage of the spring suspension]. Ph.D.'s theses. Omsk, 2016. 166 p.
12. Domnyshev D.A. Obespechenie ekspluatatsionnykh kharakteristik gidravlicheskih amortizatorov avtomobilei, ispol'zuemykh v sel'skom khozyaistve pri nizkikh temperaturakh [Ensuring the operational characteristics of hydraulic shock absorbers used in agriculture at low temperatures]. Ph.D.'s theses. Novosibirsk, 2021. 119 p.
13. Kazorin P.S. Vliyanie otritsatel'nykh temperatur na rabotosposobnost' gidravlicheskih amortizatorov perspektivnykh gusenichnykh mashin, prednazznachennykh dlya ispol'zovaniya v osobo tyazhelykh prirodno-klimaticeskikh usloviyakh, v tom chisle Severa, Sibiri i Dal'nego Vostoka [The effect of negative temperatures on the performance of hydraulic shock absorbers of promising tracked vehicles designed for use in particularly harsh natural and climatic conditions, including the North, Siberia and the Far East]. *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16: tekhnicheskie sredstva protivodeistviya terrorizmu* [Issues of defense technology. Episode 16: technical means of countering terrorism], 2022, no 5-6 (167–168), pp. 141–148.
14. Kazorin P.S., Shik V.A. Opredelenie vyazkosti amortizatornykh zhidkosteii [Determination of the viscosity of shock-absorbing fluids]. *Materialy XXI nauchno-prakticheskoi konferentsii obuchayushchikhsya «Studentcheskaya nauka ob aktual'nykh problemakh i perspektivakh innovatsionnogo razvitiya regional'nogo APK»* [Proceedings of the XXI scientific and practical conference of students «Student science on current problems and prospects of innovative development of the regional agro-industrial complex»]. Tara, 2022, pp. 74–78.
15. Trotsenko V.V., Kazorin P.S. Obespechenie plavnosti khoda gusenichnoi mashiny po sluchainoi nerovnoi poverkhnosti v usloviyakh nizkikh temperatur [Ensuring smooth running of the tracked vehicle on random uneven surfaces at low temperatures]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Omsk State Agrarian University], 2024, no 1 (53), pp. 162–174.
16. Shabalov D.V., Kazorin P.S., Rakimzhanov N.E., Ivakhnenko T.A., Poyarkov S.S., Zaikin A.Yu., Kasaev A.V., Durnev D.V., Lavochkin A.N., Podrez V.M., Turchev V.F., Kobzhesarov S.Kh., Zverev E.V., Altukhov Ya.V., Shudykin A.S., Manzin M.Yu., Il'in I.N., Loginov I.E., Podol'nykh M.A. Patent RU 200121 U1, 07.10.2020.
17. Gus'kov Yu.A., Vertei M.L., Dolgushin A.A., Domnyshev D.A. Patent RU 142785 U1, 10.07.2014.
18. Vorob'ev V.I., Zlobin S.N., Izmerov O.V., Dorofeev O.V., Borzenkov M.I. Patent RU 177722 U1, 06.03.2018.
19. Ivanov P.Yu., Dul'skii E.Yu., Milovanova E.A., Ivanov V.N., Agafonov V.M., Aleksandrov A.A., Filippenko N.G., Karpov A.V., Bol'shakov R.S., Livshits A.V., Treskin S.V. Patent RU 221859 U1, 28.11.2023.
20. Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Kruchek V.A., Ivanov P.Yu. Obzor i klassifikatsiya metodov bor'by s podkozhukhovym l'doobrazovaniem v gidravlicheskih gasitelyakh kolebanii podvizhnogo sostava [Review and classification of methods for combating internal ice formation in hydraulic vibration dampers of rolling stock]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg Transport University], 2024, Vol. 21, no 4, pp. 825–834.
21. Treskin S.V. Patent RU 228190 U1, 19.08.2024.
22. Galiev I.I., Nekhaev V.A., Nikolaev V.A. Metody i sredstva vibrozashchity zheleznodorozhnykh ekipazhei [Methods and means of vibration protection of railway carriages]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2010. 339 p.

23. Smalev A.N. Uluchshenie pokazatelei dinamicheskikh kachestv lokomotiva na osnove modernizatsii ressornogo podveshivaniya i sovershenstvovaniya metodiki ego rascheta [Improvement of the dynamic qualities of the locomotive based on the modernization of the spring suspension and improvement of its calculation methods]. Ph.D.'s theses. Omsk, 2011. 172 p.
24. Buinosov A.P., Karamov E.A. Rezul'taty ispytaniya gidravlicheskikh gasitelei lokomotivov metodom garmonicheskikh kolebanii [Results of testing hydraulic dampers of locomotives by harmonic oscillation method]. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region], 2016, no 6, pp. 46–49.
25. Buinosov A.P. Analiz neispravnostei otechestvennogo passazhirskogo elektrovozoa EP2K [Malfunction analysis of the domestic passenger electric locomotive EP2K]. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region], 2021, no 8, pp. 11–14.
26. Savos'kin A.N., Lavlinskaya N.S., Ivanov P.Yu. Primenenie uprugozashchishchennogo gidravlicheskogo gasitelya kolebanii v ressornom podveshivaniyu lokomotivov [The use of an elastic-proof hydraulic vibration damper in spring suspension of locomotives]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnoy transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2022, Vol. 81, no 2, pp. 134–147.

Информация об авторах

Трескин Сергей Викторович, аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sergei.tresckin@yandex.ru.

Дульский Евгений Юрьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: e.dulskiy@mail.ru.

Кручек Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры локомотивов и локомотивного хозяйства, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург; e-mail: victor.kruchek@yandex.ru.

Иванов Павел Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: savl.ivanov@mail.ru.

Information about the authors

Sergei V. Treskin, Ph.D. Student of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sergei.tresckin@yandex.ru.

Evgenii Yu. Dul'skii, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: e.dulskiy@mail.ru.

Victor A. Kruchek, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Locomotives and Locomotive Facilities, Petersburg State Transport University named Emperor Alexander I, Saint Petersburg; e-mail: victor.kruchek@yandex.ru.

Pavel Yu. Ivanov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: savl.ivanov@mail.ru.

Анализ состояния транспортно-логистического бизнеса холдинга «РЖД» с учетом контролируемых факторов влияния внутренней среды

Н.В. Власова✉, Е.Ю. Царегородцева

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉natalya.vlasova.76@list.ru

Резюме

В настоящее время для усиления конкурентных преимуществ ОАО «РЖД» в области транспортно-логистических услуг целесообразна реализация комплекса мер по выстраиванию программ развития, ориентированных на предложение продуктов, максимально соответствующих требованиям клиентов, в том числе планирование перспективного портфеля услуг на основе маркетинговых программ, а также формирование интегрированной ценовой политики с учетом рыночных условий, конкуренции в рамках единой скоординированной стратегии и синхронизированных бизнес-планов дочерних и зависимых обществ транспортно-логистического бизнеса холдинга. При сохранении существующих трендов его развития разрыв между потребностями потребителей и возможностями холдинга «РЖД» по их обеспечению в ближайшее время может привести к тому, что экономика столкнется с серьезными инфраструктурными ограничениями роста. В новых экономических условиях стратегия ОАО «РЖД» включает цели, задачи, мероприятия, направленные на минимизацию рисков, преодоление имеющихся барьеров и ограничений развития транспортно-логистического бизнеса, текущие ресурсы которого анализируются авторами в данной работе с целью выявления его сильных и слабых сторон. Ключевым ограничением в настоящее время является недостаточность инвестиций и денежного потока, генерируемого для развития транспортно-логистического бизнеса холдинга «РЖД», роста доли в конкурентных сегментах рынка. При реализации сквозных транспортно-логистических услуг ценообразование осуществляется на основе выбора наиболее эффективной транспортно-технологической схемы мультимодальной перевозки с учетом целевой маржинальности продукта для этого бизнеса, обеспечения наиболее эффективного финансового результата от совместных транспортно-логистических операций в рамках транспортно-логистической деятельности ОАО «РЖД». В условиях импортозамещения требуется: определение потребности развития объектов терминально-логистической инфраструктуры с учетом устранения их лимитирующих «узких мест»; реализация поэтапного комплекса мероприятий по модернизации существующего терминально-складского комплекса; обоснование технологических мощностей объектов региональной терминально-логистической инфраструктуры и обеспечение их необходимой перерабатывающей способностью.

Ключевые слова

транспортно-логистический бизнес, холдинг «РЖД», доходы, транспортно-логистические услуги, терминально-логистический центр, грузовой тариф, кадровый потенциал, объекты железнодорожной инфраструктуры

Для цитирования

Власова Н.В. Анализ состояния транспортно-логистического бизнеса холдинга «РЖД» с учетом контролируемых факторов влияния внутренней среды / Н.В. Власова, Е.Ю. Царегородцева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 46–57. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).46-57.

Информация о статье

поступила в редакцию: 03.02.2025 г.; поступила после рецензирования: 17.02.2025 г.; принята к публикации: 20.02.2025 г.

Analysis of the state of the transport and logistics business of the «Russian Railways» holding company, taking into account the controlled factors of the influence by the Internal environment

Н.В. Власова✉, Е.Ю. Царегородцева

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉natalya.vlasova.76@list.ru

Abstract

Currently, in order to strengthen the competitive advantages of «Russian Railways» Holding in the field of transport and logistics services, it is advisable to implement a set of measures to build development programs focused on offering products to meet customer requirements as much as possible, including long-term planning of the service portfolio based on marketing programs, as well as integrated pricing policy, formed taking into account market conditions, competition within the framework of a single coordinated strategy and synchronized business plans of subsidiaries and affiliated companies of the transport and logistics business of the «Russian Railways» holding. While maintaining the existing trends in the development of the «Russian Railways» holding, the gap between the needs of consumers and the capabilities of the «Russian Railways» holding to provide them in the near future may lead to

the economy facing serious infrastructural constraints on growth. In the new economic conditions, the «Russian Railways» holding's strategy includes goals, objectives, and measures aimed at minimizing risks, overcoming existing barriers and constraints to the development of the transport and logistics business. The authors analyzed the current resources of the transport and logistics business in order to identify strengths and weaknesses. Currently, the key limitation is the lack of investment resources and cash flow generated for the development of the «Russian Railways» Holding's transport and logistics business and the growth of its share in competitive market segments. When implementing end-to-end transport and logistics services, pricing is based on choosing the most efficient transport and technological schemes for multimodal transportation, taking into account the target marginality of the product for the transport and logistics business, ensuring the most effective financial result from joint transport and logistics operations within the framework of the «Russian Railways» Holding's transport and logistics business. In the context of import substitution, it is advisable to determine the need for the development of terminal and logistics infrastructure facilities in the transport and logistics business, taking into account the elimination of their limiting «bottlenecks»; the implementation of a phased package of measures to modernize the existing terminal and warehouse complex; substantiation of technological capacities of regional terminal and logistics infrastructure facilities and ensuring their necessary processing capacity.

Keywords

transport and logistics business, the «Russian Railways» holding, income, transport and logistics services, terminal and logistics center, freight tariff, human resources, railway infrastructure facilities

For citation

Vlasova N.V., Tsaregorodtseva E.Yu. Analiz sostoyaniya transportno-logisticheskogo biznesa kholdinga «RZhD» s uchetom kontroliruemykh faktorov vliyaniya vnutrennei sredy [Analysis of the state of the transport and logistics business of the «Russian Railways» holding company, taking into account the controlled factors of the influence by the internal environment]. *Sovremennoye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 46–57. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).46-57.

Article Info

Received: February 3, 2025; Revised: February 17, 2025; Accepted: February 20, 2025.

Введение

Текущая и прогнозная экономическая ситуация в стране, характеризующаяся замедлением темпов роста промышленного производства, несет, в частности, риски уменьшения объемов работы для ОАО «РЖД».

Холдинг «РЖД» осуществляет деятельность в условиях недостатка инвестиций. Совет директоров ОАО «РЖД» утвердил инвестиционную программу на 2025 г. в объеме 890,9 млрд р., исходя из сформированных источников финансирования. Это на 40,3 % меньше, чем в 2024 г. Сегодня на рынке наблюдается недостаток складской инфраструктуры, позволяющей обрабатывать широкую номенклатуру грузов, так как в основном пользователи складских пространств организуют площади под свои узкоспециализированные нужды. Кроме того, высокая стоимость строительства железнодорожных подъездных путей обуславливает и дефицит складов, имеющих примыкание к железнодорожной инфраструктуре [1]. При существующем тренде по объемам финансирования отставание в темпах инвестирования и модернизации инфраструктуры приведет к снижению роста перевозок, к негативным последствиям для экономики и грузовладельцев. Протяженность «узких мест» инфраструктуры возрастет в связи с трансфор-

мацией сети международных транспортных коридоров и переориентацией грузопотоков на Восточный полигон, распределением отправок между международным транспортным коридором «Север – Юг» и маршрутами, проходящими через порты Азово-Черноморского бассейна. Также существенно вырастет число ограничений по скоростям движения поездов. Временной период транспортировки грузов будет сокращаться, оборот грузовых вагонов продолжит замедляться, снизится безопасность перевозок, что может привести к снижению конкурентоспособности холдинга «РЖД» и железнодорожного транспорта по сравнению с другими видами транспорта.

Снижение конкурентоспособности железнодорожного транспорта по сравнению с другими видами транспорта, дальнейший уход высокомаржинальных грузов на другие виды транспорта приведет к замедлению темпов роста доходной базы холдинга «РЖД» при сохранении постоянных издержек, что потребует оптимизации (сокращения) сети железных дорог или увеличения государственной поддержки [1, 2].

Цель статьи – выявление сильных и слабых сторон транспортно-логистического бизнеса (ТЛБ) холдинга «РЖД» для обеспечения государственных и социальных задач, обслу-

живания государственного заказа, социальных перевозок и развития новых территорий.

Организационная структура

Внутренний контур ТЛБ холдинга «РЖД» представлен Центральной дирекцией по управлению терминально-складским комплексом (ЦМ), АО «РЖД Логистика», АО «РЖД Бизнес Актив», АО «ФГК», АО «ОТЛК ЕРА», ООО «РЖД Терминал», ООО «ТЛЦ «Белый Раст» [1, 3, 4] (рис. 1).

Предоставление услуги 2PL, являющейся востребованной среди наиболее крупных клиентов холдинга «РЖД», обеспечивается на основе ресурсов АО «ФГК» и ЦМ. АО «ФГК» обслуживает 18 производственных площадок, расположенных в границах шести железных дорог. АО «ФГК» самостоятельно координирует весь перевозочный процесс и совершенствует технологию работы станций: осуществляет грузовые операции и маневровую работу, подготовку вагонов под погрузку, обеспечивает диспетчерское слежение за продвижением вагонов в пути следования, оформляет перевозочные документы, а также оказывает услуги по содержанию инфраструктуры и услуги тяги собственными манев-

ровыми локомотивами. Комплекс услуг включает в себя подачу вагонов на пути и их уборку с путей необщего пользования со станции примыкания, расстановку вагонов на грузовых фронтах, выполнение операций по закреплению подвижного состава тормозными башмаками и изъятию средств закрепления. АО «ФГК» осуществляет погрузку на 67 % всех железнодорожных станций на территории Российской Федерации [1, 5].

АО «ФГК» находится в лидерах среди операторов подвижного состава по количеству вагонов в управлении и в собственности, а также по выручке. Ввиду осуществления функции общесетевого оператора грузового подвижного состава АО «ФГК» находится в конкуренции с внешними (не входящими в ТЛБ) операторами на рынке предоставления подвижного состава.

ЦМ осуществляет свою деятельность на 662 грузовых терминалах и железнодорожных пунктах пропуска, оснащенных открытыми площадками и складскими объектами общей площадью более 7,9 млн м², имеет разнообразные специализированные устройства для выполнения грузовых операций (повышенные пути, автомобильные рапы, вагоноопрокидыватели



Рис. 1. Схема распределения между единицами сегментов транспортно-логистического бизнеса холдинга «РЖД» (схема рынка)

Fig. 1. Scheme of distribution between units of transport and logistical business segments Russian Railways holding (market diagram)

и др.), 1 748 ед. различной погрузочно-разгрузочной техники, из которых 875 ед. являются опасными производственными объектами, а также грузовые автомобили для организации перевозок грузов «от двери до двери» [4, 6].

В сегменте терминално-логистических услуг (ТЛУ), помимо ЦМ, осуществляют работу транспортно-логистический центр (ТЛЦ) ООО «Белый Раст», а также АО «РЖД Бизнес Актив», АО «РЖД Логистика». Деятельность ООО «РЖД Терминал» направлена на создание ТЛЦ «Белый Раст», развитие станции «Белый Раст», представление интересов холдинга «РЖД» в проекте ТЛЦ «Восток – Запад».

В сегменте контейнерных перевозок в периметре ТЛБ осуществляют работу АО «ОТЛК ЕРА», АО «РЖД Логистика», АО «РЖД Бизнес Актив», АО «ФГК» (в части предоставления подвижного состава и контейнеров).

АО «ОТЛК ЕРА» производит перевозки преимущественно на транзитных направлениях, при этом акционерами АО «ОТЛК ЕРА» согласованы перевозки по балансировочным и добавочным маршрутам (в том числе импорт в Россию из Республики Беларусь и экспорт из России в Беларусь). АО «РЖД Бизнес Актив» также осуществляет деятельность на рынке транзитных перевозок. Вместе с тем транзитные перевозки производятся на разных марш-

рутах, предусматривая закрепление по следующим географическим сегментам: АО «ОТЛК ЕРА» – приоритетным является южный маршрут из КНР и обратно, проходящий по территории Казахстана, а также маршрут Узбекистан – Казахстан – Россия – Белоруссия; АО «РЖД Бизнес Актив» – приоритетным является северный маршрут, проходящий через погранпереходы с КНР (Забайкальск – Маньчжурия, Гродеково – Суйфэнхэ, Нижнеленинское – Тунцзян и др.), по территории Монголии (Замын-Ууд – Эрлянь), а также через порты Дальнего Востока [1, 7, 8].

АО «РЖД Логистика» осуществляет контейнерные перевозки в экспортно-импортных направлениях. Учитывая комплексные транспортно-логистические услуги, оказываемые АО «РЖД Логистика» по всем направлениям, роль данной бизнес-единицы определяется как агрегирующая текущие услуги транспортно-логистического бизнес-блока. АО «РЖД Логистика» представлена в 25 регионах России и зарубежных странах. В рамках предоставления комплексных 3PL-услуг по управлению цепями поставок АО «РЖД Логистика» объединяет внутризаводские логистические операции (управление товарными запасами и транспортной инфраструктурой клиента с преимущественным ис-

Материальные	Нематериальные	Человеческие
<p>Финансовые: денежные средства на расчетном счете, дебиторская задолженность. Стабильный ресурс</p> <p>Физические: административные здания и помещения, тяговые ресурсы, подъездные железнодорожные пути, производственные площадки, грузоподъемные механизмы, автотранспортные средства, складские помещения, гаражи, вспомогательное оборудование. Ресурс оценивается, как ценный, формируют основное конкурентное преимущество.</p>	<p>Технологии: различные (иногда уникальные) способы выгрузки широкого спектра видов грузов, выгодное расположение железнодорожных путей, цифровые сервисы. Большой вклад в формирование конкурентного преимущества.</p> <p>Бренды: бренд «РЖД» известен широкому кругу потребителей в России и за ее пределами.</p> <p>Репутация: наличие долгосрочных отношений с клиентами показывает устойчивую репутацию хорошего партнера. Один из ключевых ресурсов.</p> <p>Культура: сложилась более 20 лет назад, необходимо усилить направленность на нужды клиента. Очень сильна бюрократическая составляющая. Ресурс, требующий изменений.</p>	<p>Навыки/знания типа «ноу-хау»: специфические, узкопрофессиональные, редкие знания, большая доля скрытых знаний, наработанные годами уникальные навыки персонала, опыта. Ресурс оценивается, как сильный, вносит большой вклад в конкурентное преимущество.</p> <p>Способности к общению и сотрудничеству: различаются, наблюдается недостаток гибкости. Ресурс, требующий работы над улучшением в части взаимодействия между бизнес-единицами.</p> <p>Мотивация: работники мотивированы на конечный результат, так как оплата труда связана с итогами деятельности за отчетный период, предлагается профессиональный рост, развитие карьеры «вширь». Развитый ресурс.</p>

Рис. 2. Анализ текущих ресурсов транспортно-логистического бизнеса, его сильные и слабые стороны
Fig. 2. Analysis of the current resources of the transport and logistics business, its strengths and weaknesses

пользованием собственного парка маневровых локомотивов – как якорного актива), и перевозки на внешнем для предприятия контуре (как входящие, так и исходящие потоки, во внутрироссийском и экспортно-импортном сообщении) на базе парка вагонов, в том числе находящегося под управлением общества.

Степень конкуренции во внутреннем контуре ТЛБ холдинга «РЖД» можно оценить как среднюю, так как в основном услуги предоставляются на специализированных рынках. Однако в отдельных сегментах рынка (контейнерные перевозки, транзитные перевозки, экспедиторские услуги) наблюдается пересечение функционала между несколькими бизнес-единицами, что может приводить к снижению эффективности предоставления услуг. Отрицательные эффекты внутрихолдинговой конкуренции выражаются, в частности, в занижении и волатильности сквозных ставок предоставляемых ТЛУ. Для нивелирования отрицательных последствий внутренней конкуренции в данных сегментах представляется целесообразной синергия функционала бизнес-единиц. Авторами проведен анализ текущих ресурсов ТЛБ с целью выявления сильных и слабых сторон (рис. 2).

В бизнес-единицах холдинга «РЖД» планируется развитие интегрированных сервисов для согласованного взаимодействия с клиентами и контрагентами. Применение интегрированных решений для управления транспортной и складской логистикой является одним из основных элементов логистического аутсорсинга. К 2030 г. целевой портфель услуг ОАО «РЖД» будет включать комплексные услуги по управлению внутренней и внешней логистикой предприятий (3PL), а также управлению цепочкой поставок в рамках услуг 4PL, услуги для промышленных предприятий с организацией доставки грузов на первой и последней милях, разработку и распространение на предприятия клиентов специального программного обеспечения, в частности системы «РЖД Навигатор» и услуги «Моделирование эксплуатационной работы предприятия промышленного железнодорожного транспорта» [7, 9].

Таким образом, наиболее важными ресурсами ТЛБ холдинга «РЖД» являются:

- развернутые собственные сети железнодорожных подъездных путей;
- прямое примыкание к сетям железнодорожных путей ОАО «РЖД»;

- имеющийся набор технической базы (тепловозы, краны, бульдозеры, автомашины);
- высококвалифицированный персонал;
- опыт;
- знания (в том числе скрытые);
- способность удовлетворить уникальные потребности потребителей;
- способность разрабатывать и внедрять индивидуальные технологии;
- способность выстраивать эффективную логистику.

Слабыми сторонами ТЛБ холдинга «РЖД» являются излишне бюрократическая культура, высокие трансакционные издержки, недостаток гибкости в коммуникации. Потребуется дальнейшее развитие и улучшение материальных ресурсов [8–10].

Финансово-экономические результаты

Основная часть доходов холдинга «РЖД» определяется уровнем тарифов на железнодорожные перевозки. Структура грузового тарифа состоит из нескольких составляющих:

- инфраструктурная составляющая, включающая плату за пользование инфраструктурой и локомотивную составляющую;
- вагонная составляющая, определяющая плату за пользование парком вагонов.

Для тарификации различных видов перевозимых товаров все грузы делятся на три тарифных класса: к первому классу относятся самые дешевые грузы, а к третьему – самые дорогие. К первому тарифному классу относятся сырьевые грузы (строительные материалы, промышленное сырье, лесоматериалы, руда и т.п.), где значительная доля в конечной цене продукта приходится на транспортную составляющую. Ко второму тарифному классу относятся средние по стоимости грузы (зерно, удобрения, нефть и нефтепродукты, потребительские товары) с долей транспортной составляющей в цене 8–15 %. Третий тарифный класс составляют наиболее дорогостоящие грузы (металлы, готовая промышленная продукция, машины и оборудование, химическая продукция) с низкой долей транспортной составляющей (менее 8 %) [8, 11].

Для холдинга «РЖД» наиболее доходными являются перевозки грузов третьего класса. В 2023 г. доходная ставка на перевозку лома черных металлов была на уровне 1 355 коп. за 10 т·км, черных металлов – 949 коп. за 10 т·км. Также высокодоходными являются перевозки

нефти и нефтепродуктов и химикатов. Самая низкая доходность перевозок характерна для железных и марганцевых руд, строительных грузов и каменного угля, где показатель доходности соответственно 392, 361 и 281 коп. за 10 т·км [9, 12, 13].

Вклад основных дочерних и зависимых обществ (ДЗО) ТЛБ ОАО «РЖД» в финансовые результаты ТЛБ холдинга «РЖД» оценочно достигает 50 % от объема выручки.

Наибольший вклад осуществляют АО «ФГК» – общесетевой оператор подвижного состава (рис. 3). Представленные компании генерируют до 70 % от всего объема выручки ДЗО ОАО «РЖД», относящихся к ТЛБ.

Анализ финансовых ресурсов ДЗО (табл.) показывает образование устойчивого тренда на увеличение значения данного показателя. Рост объема оборотного капитала отражает улучшение краткосрочной финансовой устойчивости бизнес-единиц. Увеличение оборотных активов АО «ФГК» и АО «ОТЛК ЕРА» происходит, в первую очередь, за счет роста денежных средств и денежных эквивалентов, при этом уровень дебиторской задолженности снижается. Данные изменения говорят об улучшении показателей ликвидности компаний, входящих в ТЛБ [4, 14–16].

В условиях импортозамещения развитие ТЛБ предусматривает распределение инфраструктурных ресурсов и актуализацию финансово-экономических критериев с учетом целевой интеграции производственных ресурсов, скоординированного взаимодействия при реализации сквозных ТЛУ и финансовой деятельности для обеспечения устойчивости цепей поставок в сети международных транспортных коридоров, создания страховочных запасов в критически важных звеньях железнодорожной сети, проектирования надежных альтернативных транспортно-технологических схем мультимодальных перевозок на основе объектов терминальной инфраструктуры холдинга «РЖД» [17–19].

Развитие управленческих и кадровых ресурсов ТЛБ является системообразующим фактором повышения эффективности сквозных ТЛУ. В холдинге «РЖД» реализуется комплекс мер для обеспечения ТЛБ персоналом с высокими профессиональными компетенциями [4, 19].

В настоящее время на базе Корпоративного университета «РЖД» запущена программа формирования кадрового резерва для участия в реализации проектов ТЛБ. Создаются специальные образовательные программы, включа-

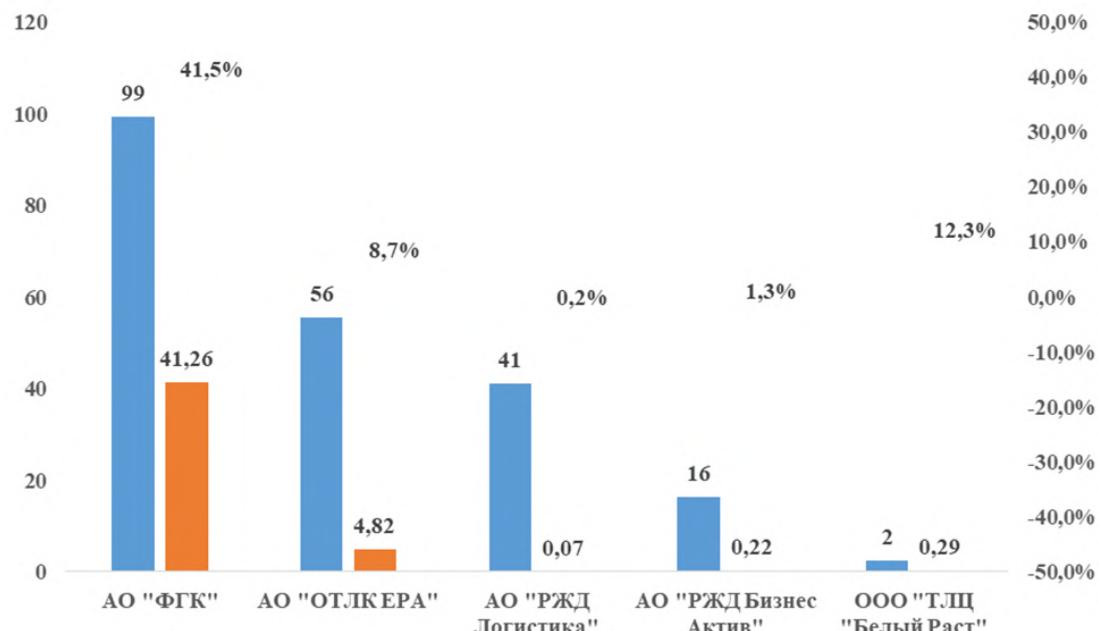


Рис. 3. Объем выручки и чистая прибыль дочерних и зависимых обществ ОАО «РЖД» от транспортно-логистических услуг

Fig. 3. Revenue volume and net profit of subsidiaries and affiliates of JSC «Russian Railways» from transport and logistics services

Динамика оборотного капитала дочерних и зависимых обществ, млн р.

Dynamics of the working capital of subsidiaries and affiliated companies, million rubles

Наименование акционерного общества Name of the joint stock company	2022	2023	2024
Оборотные активы Current assets			
ФГК	13 950	20 953	21 631
ОТЛК ЕРА	7 580	8 602	9 170
РЖД Логистика	4 216	5 105	8 126
РЖД Бизнес-актив	0	1 376	4 009
Итого Total	25 746	36 036	42 936
Краткосрочные обязательства Short term liabilities			
ФГК	24 344	25 363	24 686
ОТЛК ЕРА	3 667	4 768	5 181
РЖД Логистика	1 972	3 419	6 267
РЖД Бизнес Актив	0	4 987	2 132
Итого Total	29 983	38 537	38 266
Оборотный капитал Working capital	-4 237	-2 501	4 670

ющие в себя: формирование прикладных навыков работы в рамках функционала должности; изучение железнодорожной инфраструктуры, применяемых технических решений, конъюнктуры ТЛБ в целевых регионах присутствия.

Система развития персонала способствует ускорению процесса адаптации принимаемых работников с учетом применения практики наставничества, создает основу раскрытия профессионального потенциала. Вместе с тем применение широкого спектра образовательных мероприятий для развития кадровых ресурсов формирует компетенции, обеспечивающие клиентоориентированное управление ТЛБ холдинга «РЖД».

Следует усилить комплексный подход к подготовке кадров и кадрового резерва ТЛБ холдинга «РЖД». Предусмотрено создание и развитие системы непрерывной межуровневой подготовки логистов для ТЛБ холдинга «РЖД»: «среднее профессиональное образование (СПО) – высшее образование (ВО) (бакалавриат, магистратура, аспирантура) – дополнительное профессиональное образование (ДПО)». Обеспечение комплексного подхода к подготовке кадров реализуется совместно с отраслевыми, непрофильными университетскими комплексами и Корпоративным университетом «РЖД» [1, 14].

Целью создания приведенной системы подготовки кадров является образовательная поддержка трансформации холдинга «РЖД» с учетом установленных целей и задач развития ТЛБ. Вместе с тем подготовка логистов должна осуществляться вариативно в системе непрерывной межуровневой образовательной подготовки посредством построения групповых и индивидуальных образовательных траекторий профессионального компетентного роста. Особое внимание уделяется практической подготовке логистов для реализации ТЛУ в странах Южной и Юго-Восточной Азии – партнеров холдинга «РЖД».

Связанность образовательных программ СПО, ВО, ДПО и регламентированные условия «переходов» на более высокие уровни индивидуальных образовательных траекторий носят бесшовный характер. В результате должна быть создана единая образовательная среда с ТЛБ холдинга «РЖД», способствующая встраиванию системы непрерывной межуровневой подготовки логистов в корпоративную систему профессионального образования ТЛБ холдинга [2, 20].

Основные риски, вызовы и ограничения развития транспортно-логистических услуг транспортно-логистическим бизнес-холдингом «РЖД»

В соответствии с тенденциями развития ТЛУ, изменениями приоритетов в мировой тор-

говле грузопотоки переориентируются с северо-западных направлений на маршруты Восточного полигона. Однако трансформацию перевозочных процессов ограничивает комплекс факторов, включающий избыточную загрузку объектов инфраструктуры Восточного полигона и пунктов пропуска через государственную границу, дисбаланс оборудования и подвижного состава [2, 20].

Ключевыми ограничениями, воздействовавшими на транспортно-логистическую сферу в 2023–2024 гг., являются:

- глобальные изменения маршрутов международных транспортных коридоров, проходящих по территории Российской Федерации;
- рост дефицита пропускных и провозных мощностей объектов инфраструктуры при увеличивающемся спросе на транспортировку;
- ограничения развития материально-ресурсной базы (включая запреты поставок и обслуживания транспортных средств);
- трудности с доступом к мировой финансовой инфраструктуре;
- высокая степень износа терминально-складской инфраструктуры и погрузочно-выгрузочной техники, отсутствие востребованных складов класса А и В.

Кроме того, развитие ТЛБ холдинга «РЖД» производится в условиях санкционных ограничений, включающих закрытие территорий определенных стран для российского транспорта, сокращение объема работы иностранных перевозчиков в России, рисков для материально-ресурсной базы отрасли (запрет на поставки транспортных средств, их техническое обслуживание).

Замедление темпов экономического роста в среднем по миру также негативно отражается на показателях ТЛБ ввиду снижения мирового спроса на российскую экспортную продукцию, что влечет за собой снижение объемов ТЛУ внутри страны. Согласно анализу, наиболее критичными для ТЛБ холдинга «РЖД» являются следующие риски и вызовы:

1. Реализация негативных сценариев развития экономики страны на фоне санкционных ограничений, низких темпов роста мировой экономики и геополитической напряженности, что окажет прямое влияние на снижение потенциальной грузовой базы железнодорожного транспорта.

2. Существенное изменение объемов грузовой базы и ее структуры относительно прогнозируемых значений в результате волатильности рынков.

3. Реализация негативного сценария, при котором из-за недостатка финансирования для опережающего развития инфраструктуры и достижения критического уровня изношенности парка погрузо-разгрузочных механизмов невозможно обеспечить возложенные на ОАО «РЖД» функции по выполнению социальных, государственных, мобилизационных и производственных задач.

4. Нехватка квалифицированных кадров на фоне усиления конкуренции на рынке труда и ухудшения демографической ситуации в стране.

5. Конкурентоспособность железнодорожного транспорта относительно технического и технологического развития других видов транспорта. Недостаточный уровень внедрения и использования современных научно-технических разработок может оказаться как на переключении части грузовой базы на другие виды транспорта, так и на эффективности деятельности бизнес-единиц, входящих в периметр ТЛБ холдинга «РЖД».

6. Своевременность ликвидации ограничений между смежными видами транспорта для сбалансированного развития сквозных ТЛУ.

7. Неблагоприятные проявления изменений климата, стихийные бедствия, рост климатической нагрузки, непосредственно создающие угрозы стабильной работы холдинга «РЖД».

8. Внутрихолдинговые риски, включающие ряд ограничений для предоставления качественного транспортно-логистического сервиса.

Ключевые ограничения развития ТЛБ одновременно способствуют формированию новых стратегических возможностей совершенствования евразийской грузопроводящей сети [21–25].

Заключение

Нивелирование рисков единиц ТЛБ предусматривает действия по импортозамещению, поиску источников ресурсов в дружественных странах, научно-технологическому развитию и разработке перспективных (инновационных) решений, а также проектированию ТЛУ с учетом следующих предпосылок для принятия решений:

1. Усиление стратегической значимости железных дорог в качестве каркаса национальной транспортной системы.

2. Более тесная интеграция железнодорожного транспорта в логистические цепочки международной торговли. Проектирование глобальных логистических цепочек даст возможность зарезервировать дополнительные маршруты поставки на случай непредвиденных обстоятельств. При этом железнодорожные дороги должны формировать базовые транспортно-технологические схемы мультимодальных перевозок для системообразующих цепей поставок при учете рисков ограничения деятельности морских портов, автомобильного и авиасообщения. В соответствии с этим будет высоко востребована технологическая интеграция объектов инфраструктуры, видов транспорта в рамках ТЛБ.

3. Усиление роли государственного финансирования железнодорожного транспорта. Развитие пропускных и провозных способностей инфраструктуры в условиях волатильности грузопотока приведет к существенному повышению удельных постоянных затрат в стоимости перевозки. Вместе с тем пересмотр под-

ходов к оценке эффективности работы железнодорожного транспорта с учетом его стратегической значимости в условиях пандемии и экономического кризиса позволит не только государству, но и частному инвестору определить стратегическую значимость железнодорожных компаний.

4. Интеграция бизнес-единиц ТЛБ для достижения синергетических эффектов при реализации сквозных ТЛУ, включая базовые подходы скоординированного взаимодействия в рамках ТЛБ холдинга «РЖД».

Без создания устойчивой модели функционирования сферы железнодорожных перевозок не достигнет соответствующих спросу темпов развития: перегруженность объектов железнодорожной инфраструктуры не позволит наращивать объемы и скорости перевозок в крупных узлах, что приведет к сокращению объемов перевозок, локализации грузопотоков на наиболее рентабельных направлениях, снижению качества услуг, отсутствию стимулов для притока частных инвестиций в сектор.

Список литературы

1. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : офиц. сайт. URL : <http://www.rzd.ru> (дата обращения 30.01.2025).
2. Рынок логистического аутсорсинга: итоги 2022 г., оценка 2023 г., прогноз 2026 г. // M.A.Research : сайт. URL : <http://ma-research.ru/research/item/395-rynok-logisticheskogo-autsorsinga-itogi-2022-g-otsenka-2023-g-i-prognoz-do-2026-g.html> (дата обращения 30.01.2025).
3. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р. Кодекс : сайт. URL : <https://docs.cntd.ru/document/727294161> (Дата обращения 02.03.2025).
4. Сценарии развития Восточной Сибири и российского Дальнего Востока в контексте политической и экономической динамики Азиатско-Тихоокеанского региона до 2030 года : аналит. доклад / Л.А. Аносова, А.Г. Коржубаев, А.Н. Панов и др. М. : Едиториал УРСС, 2011. 120 с. URL : <http://econom.nsc.ru/ieie/Izdan/trudi/korjubaev/doklad.pdf> (дата обращения 30.01.2025).
5. Перфильева П.В., Кашкарев А.С., Власова Н.В. Инновационные подходы к совершенствованию качества предоставления услуг клиентам железнодорожного транспорта // Современные инновации в науке и технике : сб. науч. ст. XII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участ. Курск, 2022. С. 193–196.
6. Капский П.Д., Ивуть Р.Б. Сравнительный анализ потенциала экспедиторов и логистических операторов на рынке транспортно-логистических услуг республики Беларусь // Инновационный транспорт. 2024. № 2 (52). С. 34–36.
7. Власова Н.В., Оленцевич В.А. Совершенствование процессов транспортно-логистического бизнес-блока по реализации проекта предоставления комплекса услуг // Образование – Наука – Производство : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Чита, 2022. Т. 1. С. 262–270.
8. Транспорт // Федеральная служба государственной статистики : офиц. сайт. URL : <http://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения 31.01.2025).
9. Департамент экономической конъюнктуры и стратегического развития (ЦЭКР) // ОАО «РЖД» : сайт. URL : <http://company.rzd.ru/ru/9349/page/105554?id=203> (дата обращения 31.01.2025).
10. Власова Н.В. Современные сервисы и услуги, предоставляемые клиентам железнодорожного транспорта в новых экономических условиях // Автомобилестроение : проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. Ижевск, 2024. С. 108–113.
11. Шпак А.С. Оценка конкурентной позиции транспортно-логистической компании на рынке транспортно-экспедиторских услуг // Право и экономическое развитие: актуальные вопросы. Чебоксары, 2024. С. 67–81.
12. Ефимова Е.Н., Бородина В.А. Экономические аспекты взаимодействия транспортно-логистических центров и перевозчика при реализации контейнерных перевозок // Экономика железных дорог. 2022. № 9. С. 35–42.
13. Кривоцекова В.А., Левин А.В., Власова Н.В. Перспективы дальнейшего развития отрасли грузоперевозок железнодорожным транспортом в России // Цифровая экономика: перспективы развития и совершенствования : сб. науч. ст. III Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2022. С. 188–193.

14. Аброшин А.А. Основные направления создания и развития транспортно-логистических центров // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки : тр. междунар. науч.-практ. конф. М., 2023. С. 297–301.
15. Степанян Т.М. Проблемы совершенствования бизнес-процессов при организации транспортно-логистических услуг // Логистические возможности компаний в современных условиях : сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. М., 2019. С. 29–33.
16. Иванкова Л.Н., Иванков А.Н., Волкова С.Г. Формирование опорной сети транспортно-логистических комплексов // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : сб. тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием. М., 2022. С. 177–183.
17. Анализ терминов и определений, действующих на железнодорожном транспорте в нормативных документах / М.В. Четчуев, В.В. Костенко, А.В. Романов и др. // Путь XXI века : сб. тр. V Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участ. СПб., 2023. С. 183–186.
18. Динец Д.А., Джавришян А.Г., Шматкова Т.В. Нехватка кадров в новом проекте федерального назначения «БАМ-2» // Экономика и предпринимательство. 2023. № 9 (158). С. 330–335.
19. Меренков А.О., Гришкина А.В. Современное состояние и проблемные вопросы функционирования предприятий транспортно-логистического бизнеса // Экономика строительства. 2024. № 7. С. 85–88.
20. Ермак Е.С., Вохманина А.В. Современные тренды развития транспортно-логистических бизнес-процессов компаний // Железнодорожный транспорт и технологии : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2024. Вып. 1 (256). С. 305–308.
21. Казанская Л.Ф. Информационные системы управления в развитии железнодорожного транспортно-логистического бизнеса: перспективы и риски // Транспортное дело России. 2024. № 6. С. 25–28.
22. Гуреев П.М. Актуальные вопросы оценки эффективности транспортно-логистического бизнеса на железнодорожном транспорте // Вестник транспорта. 2024. № 1. С. 13–14.
23. К вопросу о размещении транспортно-логистических центров на приграничных территориях Российской Федерации / Р.Ю. Упырь, А.В. Дудакова, И.А. Чубарова и др. // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2024. № 8. С. 15–24.
24. Смирнов Д.С., Сакс Н.В. Инновации в области транспортно-логистических услуг // Мобильность будущего : проблемы, решения, инновации : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2023. С. 174–180.
25. Царегородцева Е.Ю., Власова Н.В. Взаимодействия логистических центров с различными видами транспорта при организации контейнерных перевозок // Экономика железных дорог. 2024. № 8. С. 49–55.

References

1. Rossiiskie zheleznye dorogi (Elektronnyi resurs) [Russian Railways (Electronic Resource)]: Available at: <http://www.rzd.ru> (Accessed January 30, 2025).
2. Rynok logisticheskogo autsorsinga: itogi 2022 g., otsenka 2023 g., prognoz 2026 g. (Elektronnyi resurs) [Logistics outsourcing market: results 2022, assessment 2023, forecast 2026 (Electronic resource)]. Available at: <http://ma-research.ru/research/item/395-rynek-logisticheskogo-autsorsinga-itogi-2022-g-otsenka-2023-g-i-prognoz-do-2026-g.html> (Accessed January 30, 2025).
3. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.11.2021 g. № 3363-r «Ob utverzhdenii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation No 3363-r dated November 27, 2021 «On the approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035»].
4. Anosova L.A., Korzhubaev A.G., Panov A.N., Vikhanskii O.S., Potapov V.Ya., Ostrovskii A.V., Renzin O.M., Zavershskii S.M., Kononova V.Yu., Filimonova I.V., Eder L.V., Bakhturov A.S., Bezryadin M.V., Kartashov S.V., Mishenin M.V., Nevedeev A.V., Plekhanov D.A., Rasputin M.V., Saunin O.V., Sergeev A.S., Stollyar V.A., Yudin D.V. et al. Stsenarii razvitiya Vostochnoi Sibiri i rossiiskogo Dal'nego Vostoka v kontekste politicheskoi i ekonomicheskoi dinamiki Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona do 2030 goda : analiticheskii doklad [Scenarios for the development of Eastern Siberia and the Russian Far East in the context of the political and economic dynamics of the Asia-Pacific region until 2030 : an analytical report]. Moscow: Unitorial URSS Publ., 2011. 120 p. Available at: <http://econom.nsc.ru/ieie/Izdan/trudi/korjubaev/doklad.pdf> (Accessed January 30, 2025).
5. Perfil'eva P.V., Kashkarev A.S., Vlasova N.V. Innovatsionnye podkhody k sovershenstvovaniyu kachestva predostavleniya uslug klientam zheleznodorozhnoi transporta [Innovative approaches to improving the quality of services provided to railway transport customers]. Sbornik nauchnykh statei XII Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike» [Proceedings of the XII All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation «Modern innovations in science and technology»]. Kursk, 2022, pp. 193–196.
6. Kapskii P.D., Ivut' R.B. Sravnitel'nyi analiz potentsiala ekspeditorov i logisticheskikh operatorov na rynke transportno-logisticheskikh uslug respubliki Belarus' [Comparative analysis of the potential of freight forwarders and logistics operators in the market of transport and logistics services of the Republic of Belarus]. Innovatsionnyi transport [Innovative transport], 2024, no 2 (52), pp. 34–36.
7. Vlasova N.V., Olentsevich V.A. Sovershenstvovanie protsessov transportno-logisticheskogo biznes-bloka po realizatsii proekta predostavleniya kompleksa uslug [Improving the processes of the transport and logistics business block for the implementation of a project for providing a range of services]. Materialy VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem) «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo» [Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation) «Education – Science – Production»]. Chita, 2022, Vol. 1, pp. 262–270.

8. Transport (Elektronnyi resurs) [Transport (Electronic Resource)]. Available at: <http://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (Accessed January 31, 2025).
9. Departament ekonomicheskoi kon'yunktury i strategicheskogo razvitiya (Elektronnyi resurs) [Department of economic conditions and strategic development (Electronic resource)]. Available at: <http://company.rzd.ru/ru/9349/page/105554?id=203> (Accessed January 31, 2025).
10. Vlasova N.V. Sovremennye servisy i uslugi, predostavlyayemye klientam zhelezodorozhного transporta v novykh ekonomicheskikh usloviyakh [Modern services and services provided to railway transport customers in new economic conditions]. *Materialy VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Avtomobilestroenie: proektirovaniye, konstruirovaniye, raschet i tekhnologii remonta i proizvodstva»* [Proceedings of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference «Automotive industry: design, construction, calculation and technologies of repair and production»]. Izhevsk, 2024, pp. 108–113.
11. Shpak A.S. Otsenka konkurentnoi pozitsii transportno-logisticheskoi kompanii na rynke transportno-ekspeditorskikh uslug [Assessing the competitive position of a transport and logistics company in the market of transport and forwarding services]. *Monografiya «Pravo i ekonomicheskoe razvitiye: aktual'nye voprosy»* [Monograph «Law and economic development»]. Cheboksary, 2024. pp. 67–81.
12. Efimova E.N., Borodina V.A. Ekonomicheskie aspekty vzaimodeistviya transportno-logisticheskikh tsentrov i perevozchika pri realizatsii konteinernykh perevozok [Economic aspects of interaction between transport and logistics centers and the carrier in the implementation of container transportation]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Economics of Railways], 2022, no 9, pp. 35–42.
13. Krivoshchekova V.A., Levin A.V., Vlasova N.V. Perspektivnye dal'neishego razvitiya otrazili gruzoperevozok zhelezodorozhnykh transportov v Rossii [Prospects for further development of the rail freight transportation industry in Russia]. *Sbornik nauchnykh statei III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Tsifrovaya ekonomika: perspektivnye razvitiya i sovershenstvovaniye»* [Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference «Digital economy: prospects for development and improvement»]. Kursk, 2022, pp. 188–193.
14. Abroshin A.A. Osnovnye napravleniya sozdaniya i razvitiya transportno-logisticheskikh tsentrov [The main directions of creation and development of transport and logistics centers]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Akademik Vladimir Nikolaevich Obraztsov – osnovopolozhnik transportnoi nauki»* [Proceedings of the international scientific and practical conference «Academician Vladimir Nikolaevich Obraztsov – the founder of transport science»]. Moscow, 2023, pp. 297–301.
15. Stepanyan T.M. Problemy sovershenstvovaniya biznes-protsessov pri organizatsii transportno-logisticheskikh uslug [Problems of improving business processes when organizing transport and logistics services]. *Sbornik statei po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Logisticheskie vozmozhnosti kompanii v sovremennykh usloviyakh»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Logistics capabilities of companies in modern conditions»]. Moscow, 2019, pp. 29–33.
16. Ivankova L.N., Ivankov A.N., Volkova S.G. Formirovaniye opornoi seti transportno-logisticheskikh kompleksov [Formation of a backbone network of transport and logistics complexes]. *Sbornik trudov nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Innovatsionnye tekhnologii na zhelezodorozhnom transporte»* [Proceedings of the scientific and practical conference with international participation «Innovative technologies in railway transport»]. Moscow, 2022, pp. 177–183.
17. Chetchuev M.V., Kostenko V.V., Romanov A.V., Ivankov A.N. Analiz terminov i opredelenii, deistvuyushchikh na zhelezodorozhnom transporte v normativnykh dokumentakh [Analysis of terms and definitions used in railway transport in regulatory documents]. *Sbornik trudov V Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Put' XXI veka»* [Proceedings of the V National Scientific and Practical Conference with international participation «Track of the XXI century»]. Saint Petersburg, 2023, pp. 183–186.
18. Dinets D.A., Dzhavrshyan A.G., Shmatkova T.V. Nekhvatka kadrov v novom proekte federal'nogo naznacheniya «BAM-2» [Shortage of personnel in the new federal project «BAM-2»]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2023, no 9 (158), pp. 330–335.
19. Merenkov A.O., Grishkina A.V. Sovremennoe sostoyanie i problemnye voprosy funktsionirovaniya predpriyatiy transportno-logisticheskogo biznesa [Current state and problematic issues of functioning of transport and logistics business enterprises]. *Ekonomika stroitel'stva* [Economics of construction], 2024, no 7, pp. 85–88.
20. Ermak E.S., Vokhmyanina A.V. Sovremennye trendy razvitiya transportno-logisticheskikh biznes-protsessov kompanii [Modern trends in the development of transport and logistics business processes of the company]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Zhelezodorozhnyi transport i tekhnologii»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Railway transport and technologies»]. Ekaterinburg, 2024, iss. 1 (256), pp. 305–308.
21. Kazanskaya L.F. Informatsionnye sistemy upravleniya v razvitiyu zhelezodorozhnykh transportno-logisticheskikh biznesa: perspektivy i riski [Information management systems in the development of railway transport and logistics business: prospects and risks]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia], 2024, no 6, pp. 25–28.
22. Gureev P.M. Aktual'nye voprosy otsenki effektivnosti transportno-logisticheskogo biznesa na zhelezodorozhnom transporte [Actual issues of assessing the effectiveness of the transport and logistics business in railway transport]. *Vestnik transporta* [Bulletin of Transport], 2024, no 1, pp. 13–14.
23. Upyr' R.Yu., Dudakova A.V., Chubarova I.A., Goncharova N.Yu. K voprosu o razmeshchenii transportno-logisticheskikh tsentrov na prigranichnykh territoriyakh Rossiiskoi Federatsii [On the issue of the location of transport and logistics centers in the border territories of the Russian Federation]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyi informatsionnyi sbornik* [Transport: science, technology, management. Scientific information proceedings], 2024, no 8, pp. 15–24.
24. Smirnov D.S., Saks N.V. Innovatsii v oblasti transportno-logisticheskikh uslug [Innovations in the field of transport and logistics services]. *Sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Mobil'nost' budushchego: problemy, resheniya, innovatsii»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Mobility of the future: problems, solutions, innovations»]. Saint Petersburg, 2023, pp. 174–180.

25. Tsaregorodtseva E.Yu., Vlasova N.V. Vzaimodeistviya logisticheskikh tsentrov s razlichnymi vidami transporta pri organizatsii konteinernykh perevozok [Interaction of logistics centers with various modes of transport when organizing container transportation]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Economics of railways], 2024, no 8, pp. 49–55.

Информация об авторах

Власова Наталья Васильевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: natalya.vlasova.76@list.ru.

Царегородцева Елена Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: elenapopova86@mail.ru.

Information about the authors

Natal'ya V. Vlasova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: natalya.vlasova.76@list.ru.

Elena Yu. Tsaregorodtseva, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor of the Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: elenapopova86@mail.ru.

Перспективы развития информационных технологий в сфере взаимодействия железнодорожного транспорта в международном сообщении

Р.С. Большаков✉, Н.В. Давыдова

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉bolshakov_rs@mail.ru

Резюме

В статье рассматриваются возможности интегрирования существующих логистических программных систем, характерных для железнодорожного транспорта Российской Федерации, в используемые зарубежными странами специализированные программные продукты. На примере Китайской Народной Республики оценивается потребность и готовность применения грузоотправителями, экспедиторскими компаниями и иными организациями зарубежных стран, экспортirующими грузы железнодорожным транспортом на территорию Российской Федерации и транзитом через Россию, специализированного информационного ресурса, расположенного в глобальном информационном пространстве. Данный интернет-ресурс позволяет самостоятельно вносить или загружать в автоматизированном режиме сведения, необходимые для осуществления предварительного таможенного информирования с последующей печатью документа для предъявления принимающему груз к перевозке железнодорожному перевозчику. Проанализированы негативные тенденции, связанные с заполнением перевозочных документов, снижающие качество получаемых об отправляемом грузе сведений. В работе приведены некоторые предпосылки для изменения существующей информационной системы, используемой на железнодорожном транспорте, оценивается перспективность увязки отечественного программного обеспечения, применяемого для оформления грузовых перевозок, с зарубежными системами, имеющими различные особенности доступа к данным по перевозимым грузам. Приведены статистические данные об изменении объемов перевозок по транспортным коридорам. В первом приближении проведен анализ целесообразности использования предлагаемого информационного ресурса с учетом положительных и отрицательных сторон процесса его интеграции с автоматизированными системами, используемыми на железнодорожном транспорте на территории зарубежных стран.

Ключевые слова

железнодорожный транспорт, грузовые перевозки, информационные технологии, международное сообщение, логистические технологии, транспортные коридоры

Для цитирования

Большаков Р.С. Перспективы развития информационных технологий в сфере взаимодействия железнодорожного транспорта в международном сообщении / Р.С. Большаков, Н.В. Давыдова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 58–67. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).58-67.

Информация о статье

поступила в редакцию: 13.03.2025 г.; поступила после рецензирования: 18.03.2025 г., принята к публикации: 19.03.2025 г.

Prospects for the development of information technologies in the field of interaction of railway transport in international traffic

R.S. Bol'shakov, N.V. Davydova

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉bolshakov_rs@mail.ru

Abstract

The article considers possibilities to integrate the existing logistics software systems typical for railway transport of the Russian Federation into specialized software products used by foreign countries. Using the example of the People's Republic of China, the article assesses the need, necessity and readiness to use a specialized information resource located in the global information space by shippers, freight forwarding companies and other organizations of foreign countries exporting goods by rail to the territory of the Russian Federation and in transit through the territory of the Russian Federation. The Internet resource under consideration allows to independently enter or automatically download information required for preliminary customs information with subsequent printing of a document for presentation to the railway carrier accepting the goods for transportation. Negative trends in filling out shipping documents and reducing the quality of the information received about the shipped cargo are analyzed. Some prerequisites for changing the existing information system used in rail transport are given. The article assesses the prospects of linking domestic software used for processing freight transportation to foreign information systems with different features of access to data on transported goods. Statistical data on changes in transporta-

tion volumes along transport corridors are presented. As a first approximation, the analysis of the expediency of using the proposed information resource is carried out, taking into account the positive and negative aspects of the process of its integration with automated systems used in railway transport in foreign countries.

Keywords

rail transport, freight transportation, information technology, international communication, logistics technologies, transport corridors

For citation

Bol'shakov R.S., Davydova N.V. Perspektivy razvitiya informatsionnykh tekhnologii v sfere vzaimodeistviya zheleznodorozhного transporta v mezhdunarodnom soobshchenii [Prospects for the development of information technologies in the field of interaction of railway transport in international traffic]. *Sovremennye tekhnologii. Systemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 58–67. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).58-67.

Article Info

Received: March 13, 2025; Revised: March 18, 2025; Accepted: March 19, 2025.

Введение

Холдинг ОАО «РЖД» является одной из основных компаний, обеспечивающих успешность взаимодействия как предприятий и государственных учреждений, так и крупных ключевых промышленных регионов и сопредельных стран. Текущие обстоятельства, наличествующие в экономике страны в данный временной отрезок, несколько усложняют реализацию основных стратегических задач, стоящих перед железнодорожным транспортом в лице холдинга [1–3], в частности необходимо отметить усиление конкурентной борьбы с другими видами транспорта [4–8].

В связи с этим на первый план выходит улучшение качества предоставляемых услуг в сфере реализации грузовых перевозок, что относится к обеспечению высоких скоростей движения грузовых поездов. Немаловажным фактором в этом случае является наличие информации о местонахождении груза в реальном времени [9–12], при этом для правильной интерпретации полученной информации необходимы данные о прогнозировании перевозочных процессов [13–15].

Одним из приоритетных направлений развития холдинга ОАО «РЖД» может стать улучшение взаимодействия с сопредельными странами посредством расширения спектра предоставляемых логистических услуг. В этой области важнейшим инструментом для реализации поставленных задач являются информационные технологии, что подразумевает интегрирование существующих зарубежных специализированных интернет-платформ и отечественных программных комплексов для формирования новых интернет-ресурсов [16, 18–

20]. Таким образом, целью исследования является оценка возможностей интегрирования программных средств ОАО «РЖД» в глобальный транспортный рынок.

Основные положения. Постановка задач

Компания ОАО «РЖД» является таможенным перевозчиком, в обязанности которого входит осуществление предварительного информирования таможенных органов о товарах, планируемых к перемещению через таможенную границу, в том числе при осуществлении транзитных перевозок.

Невыполнение требования по предварительному информированию приводит к увеличению времени пересечения таможенной границы и, как следствие, к увеличению срока доставки грузов. Для транзитных перевозок увеличение срока доставки является одним из самых существенных факторов, снижающих конкурентоспособность железнодорожного транспорта по сравнению с морским.

Сведения, необходимые для процедуры предварительного информирования, собираются из нескольких внешних источников электронных данных: EDI-сообщения, содержащие данные перевозочных документов, получаются ОАО «РЖД» от сопредельных железнодорожных перевозчиков через EDI-систему; сведения о товаросопроводительных документах (инвойсы и спецификации/упаковочные листы) получаются ОАО «РЖД» от сопредельных перевозчиков, которые присоединились к соответствующему соглашению.

Полнота и качество указанной информации в настоящее время являются недостаточными, особенно при осуществлении транзит-

ных перевозок в направлении Китай – Западная Европа. При отсутствии информации или недостаточном ее качестве для осуществления предварительного информирования ОАО «РЖД» сталкивается с претензиями таможенных органов и задержками пропуска грузов на пограничных переходах.

Для улучшения качества и полноты информации, необходимой для осуществления процедуры предварительного информирования, предлагается использовать информационный ресурс в сети интернет, позволяющий иностранным контрагентам (грузоотправителям, экспедиторам, перевозчикам) самостоятельно вносить или загружать в автоматизированном режиме сведения, необходимые для осуществления предварительного таможенного информирования с последующей печатью документа для предъявления принимающему груз к перевозке железнодорожному перевозчику.

С целью привлечения иностранных контрагентов к использованию такого ресурса предлагается в качестве поощрения предоставлять им информацию о дислокации их грузов на территории ОАО «РЖД» бесплатно при условии, что они обеспечат ввод всех необходимых сведений по своим грузам.

Анализ существующих информационных ресурсов, используемых для администрирования грузовых перевозок и электронной коммерции транспортной отрасли Китайской Народной Республики (КНР) показывает, что на сегодняшний день в интернет-пространстве успешно функционирует онлайн-платформа электронной коммерции грузовых перевозок железнодорожного транспорта «95306.сп», которая была официально запущена в 2015 г.

Особенности электронного сопровождения грузовых перевозок на примере Китая

Основная цель платформы – предоставление полного спектра услуг, связанных с транспортировкой грузов по территории КНР всеми видами транспорта в режиме онлайн. В настоящее время к рассматриваемой платформе подключено более 10 тыс. частных и государственных компаний и созданы все условия для онлайн-оформления и приема грузов, в связи с чем доля использования электронных накладных достигла 97,4 %. Более 55 тыс. грузовладельцев для оформления около 1,8 млрд т грузов обратились за цифровыми сертификатами

для получения электронной подписи. Данная платформа ежедневно имеет 4,88 млн просмотров. Среднее время использования мобильного приложения составляет 72 мин., а функция отслеживания груза в среднем задействуется порядка 50 000 раз. В то же время более 6 900 компаний использовали электронные бизнес-лицензии для самостоятельной регистрации на платформе, а 55 000 грузовладельцев подали заявки на цифровые сертификаты и ведение бизнеса с помощью электронных подписей, эффективно решая проблемы доставки грузов. Большинству грузовладельцев удобно дистанционно оформлять доставку грузов, в то же время это помогает сэкономить средства на оплату труда и транспортировку до железнодорожной грузовой станции и обратно ежегодно более чем на 1 млрд юаней.

Рассматриваемая онлайн-платформа представляет собой многофункциональный сервис, позволяющий в онлайн-режиме с любого мобильного устройства участвовать в торгах, приобретать и продавать товары, выступать как организатором, так и заказчиком перевозки груза любыми видами транспорта с возможностью моделирования каждого отдельного сегмента перевозки на рассматриваемом участке. Также платформа включает в себя функцию отслеживания отправлений.

Онлайн-оформление с функцией круглосуточной поддержки дает клиентам возможность полностью контролировать процессы обслуживания: подача и передача накладной, оплата расходов, получение и урегулирование претензий, приемка/сдача специальной линии и т.д., чтобы явление «бежать по станциям с документами» стало историей. Предприятие использует электронную лицензию на ведение коммерческой деятельности для самостоятельной регистрации на платформе, грузовладелец подает заявку на цифровой сертификат и оформляет бизнес с помощью электронной подписи, что позволяет эффективно решать проблемы, связанные с осуществлением грузо-перевозок, а также значительно облегчает доставку груза большинству грузовладельцев, экономит комплексные затраты на рабочую силу и транспорт.

Функции платформы оптимизированы, данные из различных информационных систем интегрированы, создана единая национальная база данных о траектории грузовых автомоби-

лей в пути для реализации функции отслеживания грузов и прогнозирования прибытия, чтобы грузовладельцы смогли заранее организовать получение товаров и начать производство и эксплуатацию. Регистрация клиентов, прием запросов, оплата сборов и другие услуги, которые первоначально оформлялись вручную, были реализованы автоматически в режиме онлайн.

Изюминкой является то, что железнодорожная онлайн-платформа «95306» интегрирует данные из различных информационных систем и создает единую на национальном уровне базу данных о траекториях движения грузовых поездов, которая реализует такие функции, как отслеживание груза и прогноз его прибытия, что удобно для грузовладельцев и производства.

При всех плюсах онлайн-платформы «95306» следует отметить, что ее функционал настроен сегодня на удовлетворение потребности населения в торговле и перевозках только внутри КНР. По имеющимся данным она никак не интегрирована в онлайн-инфраструктуру таможенных органов КНР и не привязана к платформам сопредельных государств.

Возможности автоматизированных систем ОАО «РЖД» для интеграции в международные информационные ресурсы

Важно отметить, что стратегическим приоритетом ОАО «РЖД» является эффектив-

ное использование транзитного потенциала российских железных дорог с привязкой к развитию участков международных транспортных коридоров, проходящих по территории РФ. В результате реализации транспортных проектов Россия сможет обеспечивать возрастающие объемы транзита грузов между странами Евразии, что позитивно скажется на экономическом развитии регионов, через которые эти грузы будут проходить.

Формирование и развитие международных транспортных коридоров имеет экономическое, политическое и технологическое значение. Благодаря международным транспортным коридорам появляется возможность синхронизации товарообмена между странами, уменьшается себестоимость грузоперевозок, возрастает возможность единовременного развития транспортной инфраструктуры в целом.

В частности, международный транспортный коридор «Восток – Запад» является основным железнодорожным маршрутом в рамках торгово-экономических связей стран Восточной Азии со странами Европы. В настоящий момент более половины перевозок осуществляется через территорию Казахстана (рис. 1).

Развитие данного евразийского железнодорожного коридора открывает широкие перспективы для российских и иностранных клиентов. Он создает прямой выход для грузов России, стран Европы и СНГ к портам Дальнего Востока и к пограничным переходам, распо-



Рис. 1. Международный транспортный коридор «Восток – Запад»

Fig. 1. International transport corridor «East – West»

ложенным на границе России с сопредельными государствами.

Используемые автоматизированные системы и информационные ресурсы холдинга ОАО «РЖД», предназначенные для ускорения процесса документооборота, имеют перспективные направления для развития, в том числе связанные с улучшением взаимодействия с сопредельными странами с точки зрения реализации грузовых перевозок железнодорожным транспортом. К ним можно отнести АС «ЭТРАН», РЖД «Маркет», РЖД «Логистика», ЦН «Экспедитор» и др. В связи с этим возникает необходимость решения ряда задач по привлечению зарубежных клиентов (рис. 2).

Для осуществления предварительного информирования ОАО «РЖД» необходимо собрать и заблаговременно, до пересечения границы, предоставить в таможенный орган информацию о перевозимых грузах в электронном виде. В качестве технологии обмена данными используется EDI-автоматизированный обмен электронными сообщениями между бизнес-партнерами в международном стандарте UN/EDIFACT. Качество оформления перевозочных документов грузоотправителями/экспедиторами Китайской железной дороги (КЖД) в настоящее время находится на крайне низком уровне. Сложности, с которыми сталкивается ОАО «РЖД» на этапе обмена данными с КЖД, можно разбить на два направления:

– ошибки, которые допускают при оформлении перевозочных документов грузоотправители/экспедиторы КЖД;

– ошибки, которые допускают уполномоченные сотрудники КЖД, формирующие и передающие данные по системе EDI-сообщений.

Указанные факты приводят к увеличению времени пересечения таможенной границы и, как следствие, к увеличению срока доставки грузов. Также оказывают существенное негативное влияние на загруженность агентов системы фирменного транспортного обслуживания на железнодорожных подъездных путях [21].

Для улучшения качества и полноты сведений, необходимых для осуществления процедуры предварительного информирования, предлагается использовать информационный ресурс в сети интернет, к примеру, РЖД «Маркет», позволяющий иностранным контрагентам (грузоотправителям, экспедиторам, перевозчикам) самостоятельно вносить или загружать в автоматизированном режиме сведения, необходимые для осуществления предварительного таможенного информирования с последующей печатью документа для предъявления принимающему груз к перевозке железнодорожному перевозчику. Ресурс должен обеспечивать пользователю возможность выбрать язык интерфейса, есть возможность переключения языка интерфейса в процессе работы пользователя. Должен быть обеспечен выбор как мини-



Рис. 2. Основные направления привлечения новых клиентов

Fig. 2. Main directions of attracting new clients

мум из трех языков: русский, английский, китайский. Вся нормативно-справочная информация, используемая при работе ресурса, также должна быть оперативно переведена на указанные языки (рис. 3).

Управление информационным ресурсом происходит сторонним оператором. Взаимодействие ресурса РЖД «Маркет» с основной программой АС «ЭТРАН» осуществляется с использованием технических решений, интерфейсов и средств защиты информации, которые применяются при организации взаимодействия АС «ЭТРАН» с внешними клиентами в режиме АСУ-АСУ. Целесообразным является использование ресурса с оплатой за использование по транзакционной схеме, т. е. ОАО «РЖД» оплачивает подокументную передачу в АС «ЭТРАН» сведений о перевозочных или товаросопроводительных документах.

При реализации данного проекта и привлечении к его использованию грузоотправителей/экспедиторов КЖД, перевозчик в лице ОАО «РЖД» получает ряд положительных эффектов:

- снижение трудозатрат агентов системы фирменного транспортного обслуживания на пограничных станциях по ручному формированию сведений для предварительного информирования;
- увеличение пропускной способности железнодорожных пограничных перевалочных переходов за счет бесшовного пропуска поездов;
- уменьшение срока доставки грузов.

Идея единой информационно-цифровой платформы напрямую коррелирует с деятельностью АО «Объединенная транспортно-

логистическая компания – Евразийский железнодорожный альянс» (АО «ОТЛК ЕРА») – оператора транзитных контейнерных сервисов между Китаем и Европой, осуществляющего транспортировку грузов через территорию России, Казахстана и Белоруссии. Перспективы развития транзитного потенциала Евразийского экономического союза через внедрение высокотехнологичных логистических сервисов требуют скоординированной политики железных дорог и регуляторов на пространстве колеи 1 520 мм для создания качественно новой формы взаимодействия по решению логистических задач и формированию новых стандартов транспортного обслуживания, так как объем перевозимых грузов постоянно повышается (рис. 4).

Интеграция информационных систем со-предельных государств напрямую влияет на сохранение объема перевозок на базовых транзитных маршрутах Китай – Европа – Китай, а также на продвижение проекта единого стандарта электронной накладной на пространстве колеи 1520 мм и участие в проектах развития терминальной инфраструктуры на базовых транзитных маршрутах. Интеграция с китайской системой в первом приближении будет реализована через общий программный интерфейс с некоторыми ограничениями возможностей пользователей, которые после тестирования могут быть сняты.

Некоторые подходы к оценке экономического эффекта

В первом приближении можно рассмотреть оценку экономического эффекта от интеграции информационных систем. В общем виде

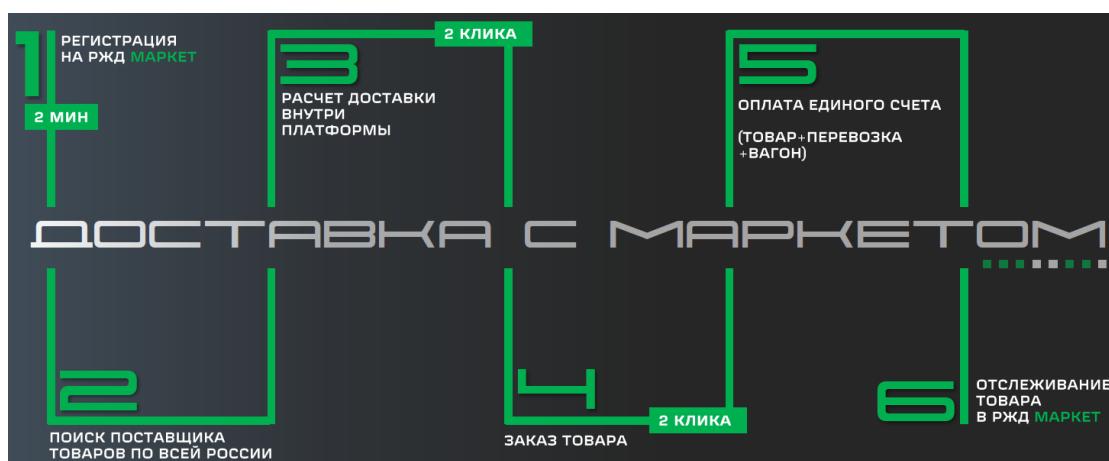


Рис. 3. Возможности сервисов ОАО «РЖД»
Fig. 3. Possibilities of the services of JSC «Russian Railways»

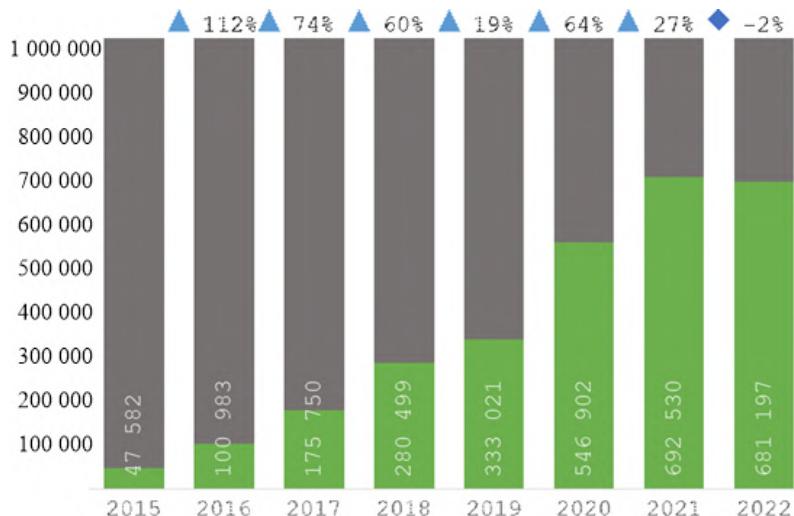


Рис. 4. Динамика объема перевозок АО «ОТЛК ЕРА», двадцатифутовый эквивалент
Fig. 4. Dynamics of transportation volume of JSC «UTLC ERA», twenty-foot equivalent

экономический эффект от интеграции интернет-платформ определится выражением:

$$\mathcal{E}_k \mathcal{E}_\phi = T - T_{nl} - T_{ob. nl} + \mathcal{E}_{np} + \mathcal{E}_{koc},$$

где T – расходы на содержание существующих информационных систем; T_{nl} – расходы на содержание информационных систем после интеграции с зарубежной платформой; $T_{ob. nl}$ – дополнительные расходы на обслуживание; \mathcal{E}_{np} – прямой экономический эффект; \mathcal{E}_{koc} – косвенный экономический эффект от применения информационных технологий.

Заключение

Таким образом, у грузоотправителей, торгово-экспедиторских компаний и иных организаций, осуществляющих внешнеторговую деятельность с территории КНР через территорию Российской Федерации, на сегодняшний день имеется запрос и необходимость в информационном ресурсе, позволяющем самостоятельно вносить или загружать в автоматизированном режиме сведения, необходимые для осуществления предварительного таможенного информирования с последующей печатью документа для предъявления принимающему груз к перевозке железнодорожному перевозчику, однако вопрос требует дальнейшей проработки и трансляции на представителей государственных торгово-экспедиторских компаний КНР.

На территории КНР уже создан и успешно функционирует аналог информационного ресурса, позволяющего самостоятельно вносить или загружать в автоматизированном ре-

жиме сведения, необходимые для осуществления предварительного таможенного информирования с последующей печатью документа для предъявления принимающему груз к перевозке железнодорожному перевозчику – онлайн-платформа электронной коммерции грузовых перевозок «95306».

Данная онлайн-платформа, несмотря на многообразие функций и удобство использования, обеспечивает только нужды в перевозках жителей КНР и никак не привязана к обеспечению внешнеторговой деятельности.

Функционирование предлагаемого ОАО «РЖД» информационного ресурса, а также доступ к нему контрагентов из КНР (грузоотправители, экспедиторы, перевозчики) с целью дальнейшего использования возможен только при согласии и доступе ко всем критическим элементам ресурса представителей уполномоченных государственных ведомств Китая.

Необходимо формирование совместной рабочей группы по созданию и внедрению информационного ресурса, расположенного в сети интернет, позволяющего самостоятельно вносить или загружать в автоматизированном режиме сведения, необходимые для осуществления предварительного таможенного информирования с последующей печатью документа для предъявления принимающему груз к перевозке железнодорожному перевозчику.

Вариант создания интерактивного модуля, интегрированного в онлайн-платформу электронной коммерции грузовых перевозок

«95306», позволяющего контрагентам КНР (гру- зоотправителями, экспедиторам, перевозчикам) самостоятельно вносить или загружать в автоматизированном режиме сведения, необходимые для осуществления предварительного таможен-

ного информирования с последующей печатью документа для предъявления принимающему груз к перевозке железнодорожному перевозчику, является достаточно перспективным.

Список литературы

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р // Кодекс : сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727294161> (Дата обращения 18.02.2025).
2. Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО «РЖД» и Российской академией наук / Н.А. Махутов, Б.М. Лапидус, М.М. Гаденин и др. // Железнодорожный транспорт. 2023. № 7. С. 6–11.
3. Лапидус Б.М. Задачи опережающего развития российских железных дорог // Железнодорожный транспорт. 2023. № 2. С. 4–14.
4. Терешина Н.П., Данилина М.Г. Эффективность логистического взаимодействия участников мирового транспортного рынка // Экономика железных дорог. 2017. № 7. С. 34–45.
5. Карышев М.Ю. Конкурентоспособность как экономический фактор укрепления транспортной отрасли РФ // Наука и образование транспорту. 2016. № 1. С. 177–179.
6. Потехина А.М., Якобсон А.Я. Разработка методов управления логистическими рисками в сфере оперирования подвижным составом // Логистические системы в глобальной экономике. 2020. № 10. С. 246–249.
7. Авдокушин Е.Ф. Железнодорожный транспорт в условиях трансформации глобальной экономики // Вопросы новой экономики. 2017. № 1 (41). С. 5–14.
8. Поспелова Л.Н. Состояние транспортно-экспедиционного обслуживания на железнодорожном транспорте в России // Транспортное дело России. 2015. № 2. С. 149–151.
9. Финансово-экономическая модель управления безопасностью перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Л.В. Шкурина, Е.А. Сеславина, А.И. Сеславин и др. М. : ВИНИТИ РАН, 2019. 152 с.
10. Иванилова А.М., Коростелева Н.И. Анализ существующих облачных систем управления грузоперевозками // Экономика и предпринимательство. 2015. № 12-4 (65). С. 934–937.
11. Авдеев Д.И. Современные методы мониторинга местоположения транспортных средств и груза // Академическая публицистика. 2017. № 6. С. 6–12.
12. Сергеев И.В. Видимость операций транспортировки в глобальных цепях поставок // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2024. № 1. С. 34–43.
13. Маловецкая Е.В., Мозалевская А.К. Возможности повышения эффективности перевозочного процесса на основе построения комплексных прогнозных моделей загрузки инфраструктуры // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17. № 7. С. 38–46.
14. Маловецкая Е.В., Мозалевская А.К. Оценка влияния неравномерностей на перевозочный процесс // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Белорус. железн. дороги. Гомель, 2022. Ч. 2. С. 207–209.
15. Свидетельство № 2022661676. Программа для определения технико-эксплуатационных показателей работы стыковой железнодорожной станции на основе использования статистических данных и вариантов прогнозных сценариев колебаний поступающих вагонопотоков / Е.В. Маловецкая, А.В. Супруновский, А.К. Мозалевская. № 2022660561 : заявл. 07.06.2022 : опубл. 24.06.2022.
16. Горячева Н.В. Логистика управления поставками в условиях цифровой экономики // Вестн. Сибир. ун-та потребительской кооперации. 2018. № 3 (25). С. 53–56.
17. Основные тенденции и перспективы развития российско-китайских торгово-экономических отношений / В.М. Самуилов, Д.Н. Дружинина, Ц. Цяо, Т.А. и др. // Инновационный транспорт. 2018. № 2 (28). С. 18–22.
18. Бубнова Г.В., Курдюкова А.В. Трансформация модели грузовых перевозок на железнодорожном транспорте и формирование нового механизма по оптимизации цепочек поставок // Экономика железных дорог. 2024. № 6. С. 27–37.
19. Пэньюй В., Етао Л., Пимоненко М.М. Транспортная и логистическая составляющие проекта «Шелковый путь» // Транспорт Российской Федерации. 2016. № 2-3(63-64). С. 31–35.
20. Шевчук Е.М., Майзнер Н.А. Проблемы организации контейнерных перевозок и пути их решения на логистической основе (на примере ООО «ФЕСКО интегрированный транспорт») // Вестник транспорта. 2014. № 8. С. 7–12.
21. Цзюй И. Проблемы транспортно-логистической интеграции стран-участниц ЕАЭС по сопряжению «один пояс – один путь» при условиях многостороннего сотрудничества // Экономика и банки. 2020. № 1. С. 53–63.

References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.11.2021 g. № 3363-р «Ob utverzhdenii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation No 3363-r dated November 27, 2021 «On the approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035»].
2. Makhutov N.A., Lapidus B.M., Gadenin M.M., Titov E.Yu. Zadachi i perspektivy razvitiya nauchnykh issledovanii v ramkakh sotrudничestva mezhdu OAO «RZhD» i Rossiiskoi akademiei nauk [Tasks and prospects for the development of scienc-

- tific research in the framework of cooperation between JSC «Russian Railways» and the Russian Academy of Sciences]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway Transport], 2023, no 7, pp. 6–11.
3. Lapidus B.M. Zadachi operezhayushchego razvitiya rossiiskikh zheleznykh dorog [Tasks of advanced development of Russian railways]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2023, no 2, pp. 4–14.
 4. Tereshina N.P., Danilina M.G. Effektivnost' logisticheskogo vzaimodeistviya uchastnikov mirovogo transportnogo rynka [Efficiency of logistics interaction among participants of the global transport market]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Economics of railways], 2017, no 7, pp. 34–45.
 5. Karyshev M.Yu. Konkurentosposobnost' kak ekonomicheskii faktor ukrepleniya transportnoi otrazhli RF [Competitiveness as an economic factor in strengthening the transport industry of the Russian Federation]. *Nauka i obrazovanie transportu* [Science and education for transport], 2016, no 1, pp. 177–179.
 6. Potekhina A.M., Yakobson A.Ya. Razrabotka metodov upravleniya logisticheskimi riskami v sfere operirovaniya podvizhnym sostavom [Development of logistics risk management methods in the field of rolling stock operation]. *Logisticheskie sistemy v global'noi ekonomike* [Logistics systems in the global economy], 2020, no 10, pp. 246–249.
 7. Avdokushin E.F. Zheleznodorozhnyi transport v usloviyakh transformatsii global'noi ekonomiki [Railway transport in the context of global economic transformation]. *Voprosy novoi ekonomiki* [Questions of the new economy], 2017, no 1 (41), pp. 5–14.
 8. Pospelova L.N. Sostoyanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya na zheleznodorozhnom transporte v Rossii [The state of freight forwarding services in railway transport in Russia]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia], 2015, no 2, pp. 149–151.
 9. Shkurina L.V., Seslavina E.A., Seslavina A.I., Evdokimova E.N. Finansovo-ekonomicheskaya model' upravleniya bezopasnost'yu perevozochnogo protsessa na zheleznodorozhnom transporte [Financial and economic model of transportation process safety management in railway transport]. Moscow: VINITI RAN Publ., 2019. 152 p.
 10. Ivanilova A.M., Korosteleva N.I. Analiz sushchestvuyushchikh oblastnykh sistem upravleniya gruzoperevozkiami [Analysis of existing cloud-based cargo transportation management systems]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2015, no 12–4(65), pp. 934–937.
 11. Avdeev D.I. Sovremennye metody monitoringa mestopolozheniya transportnykh sredstv i gruga [Modern methods of monitoring the location of vehicles and cargo]. *Akademicheskaya publitsistika* [Academic journalism], 2017, no 6, pp. 6–12.
 12. Sergeev I.V. Vidimost' operatsii transportirovki v global'nykh tsepyakh postavok [Visibility of transportation operations in global supply chains]. *RISK: Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsija* [RISC: Resources, Information, Supply, Competition], 2024, no 1, pp. 34–43.
 13. Malovetskaya E.V., Mozalevskaya A.K. Vozmozhnosti povysheniya effektivnosti perevozochnogo protsessa na osnove postroeniya kompleksnykh prognoznykh modelei zagruzki infrastruktury [The possibilities of increasing the efficiency of the transportation process based on the construction of complex predictive models of infrastructure utilization]. *T-Comm: Telekomunikatsii i transport* [T-Comm: Telecommunications and Transport], 2023, Vol. 17, no 7, pp. 38–46.
 14. Malovetskaya E.V., Mozalevskaya A.K. Otsenka vliyaniya neravnomernosti na perevozochnyi protsess [Assessment of the impact of unevenness on the transportation process]. *Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 160-letiyu Belorusskoi zheleznoi dorogi «Problemy bezopasnosti na transporte»* [Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 160th anniversary of the Belarusian Railway «Problems of transport safety»]. Gomel', 2022, part 2, pp. 207–209.
 15. Malovetskaya E.V., Suprunovskii A.V., Mozalevskaya A.K. Certificate of registration of a computer program 2022661676, 24.06.2022.
 16. Goryacheva N.V. Logistika upravleniya postavkami v usloviyakh tsifrovoi ekonomiki [Logistics of supply management in the digital economy]. *Vestnik Sibirskogo universiteta potrebitel'skoi kooperatsii* [Bulletin of the Siberian University of Consumer Cooperation], 2018, no 3 (25), pp. 53–56.
 17. Samoilov V.M., Druzhinina D.N., Tsyao Ts., Kargapol'tseva T.A. Osnovnye tendentsii i perspektivy razvitiya rossiisko-kitaiskikh torgovo-ekonomicheskikh otnoshenii [The main trends and prospects for the development of Russian-Chinese trade and economic relations]. *Innovatsionnyi transport* [Innovative transport], 2018, no 2 (28), pp. 18–22.
 18. Bubnova G.V., Kurdyukova A.V. Transformatsiya modeli gruzovykh perevozok na zheleznodorozhnom transporte i formirovaniye novogo mekhanizma po optimizatsii tsepochek postavok [Transformation of the freight transportation model in railway transport and the formation of a new mechanism for optimizing supply chains]. *Ekonomika zheleznykh dorog* [Economics of railways], 2024, no 6, pp. 27–37.
 19. Penyui V., Etao L., Pimonenko M.M. Transportnaya i logisticheskaya sostavlyayushchie proekta «Shelkovyi put'» [Transport and logistics components of the «Silk Road» project]. *Transport Rossiskoi Federatsii. Zhurnal o naute, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. A journal about science, practice, and economics], 2016, no 2–3(63–64), pp. 31–35.
 20. Shevchuk E.M., Maizner N.A. Problemy organizatsii konteinernykh perevozok i puti ikh resheniya na logisticheskoi osnove (na primere OOO «FESKO integrirovannyi transport») [Problems of container transportation organization and ways to solve them on a logistical basis (using the example of FESCO Integrated Transport LLC)]. *Vestnik transporta* [Bulletin of Transport], 2014, no 8, pp. 7–12.
 21. Tszyui I. Problemy transportno-logisticheskoi integratsii stran-uchastnits EAES po sopryazheniyu «odin poyas – один put'» pri usloviyakh mnogostoronnego sotrudnichestva [Problems of transport and logistics integration of the EAEU member states on the «one belt, one road» interface under the conditions of multilateral cooperation]. *Ekonomika i banki* [Economics and banks], 2020, no 1, pp. 53–63.

Информация об авторах

Болышаков Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: bolshakov_rs@mail.ru.

Давыдова Надежда Викторовна, старший преподаватель кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: nadia.nadegda379@yandex.ru.

Information about the authors

Roman S. Bol'shakov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: bolshakov_rs@mail.ru.

Nadezhda V. Davydova, Assistant Professor of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: nadia.nadegda379@yandex.ru.

Вопросы формирования порядка и периодичности предоставления технологических створов, определения ограничивающих сегментов, разработки оптимальных схем многосуточных закрытий перегонов

В.А. Оленцевич✉, А.А. Елизарьева

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉olencevich_va@mail.ru

Резюме

Стабильный прирост грузовой базы железных дорог на восточном направлении Российской Федерации в последние годы способствует увеличению интенсивности эксплуатации объектов инфраструктурного комплекса ОАО «РЖД» в рамках работы Восточного полигона, в связи с чем вопросы организации оптимальных схем многосуточных закрытий железнодорожных перегонов для производства технического обслуживания и обеспечения плановых показателей ремонтной деятельности на объектах инфраструктурного комплекса Восточного полигона приобретают стратегическое значение. В данных условиях функционирования формирование четкого порядка и периодичности предоставления технологических створов, определение ограничивающих участков, разработка оптимальных схем многосуточных закрытий являются весьма актуальными и своевременными. Практическое применение этих процессов позволит повысить уровень пропускных и провозных мощностей на всех элементах инфраструктуры полигона, обеспечить возможности для реализации перспективного размера грузопотока. Проведено формирование и анализ моделей графиков движения поездов, которые помогут создать оптимальный технологический процесс функционирования железнодорожной транспортной системы на Восточном полигоне железных дорог, а также предоставят возможности по сокращению эксплуатационных расходов ОАО «РЖД», грузоотправителей и грузополучателей, собственников подвижного состава и прочих участников перевозочного процесса. На основе модели предоставления «окон» и ограничений в движении поездов на лимитирующих участках разработаны этапы организации технологических «окон», определены оптимальные схемы формирования технологических створов на примере работы участка Мариинск – Тайшет Транссибирской магистрали.

Ключевые слова

Восточный полигон железных дорог, график движения поездов, инфраструктурный комплекс, пропускные и провозные мощности, модель предоставления «окон», многосуточные закрытия перегонов, предоставление технологических створов

Для цитирования

Оленцевич В.А. Вопросы формирования порядка и периодичности предоставления технологических створов, определения ограничивающих сегментов, разработки оптимальных схем многосуточных закрытий перегонов / В.А Оленцевич, А.А. Елизарьева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 68–79. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).68-79.

Информация о статье

поступила в редакцию: 14.02.2025 г.; поступила после рецензирования: 06.03.2025 г.; принята к публикации: 10.03.2025 г.

Issues related to the formation of the order and frequency of provision of technological gates, the definition of limiting segments, the development of optimal schemes for multi-day lane closures

В.А. Olentsevich✉, А.А. Elizar'eva

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉olencevich_va@mail.ru

Abstract

In recent years, the steady increase in the freight base of railways in the eastern direction of the Russian Federation has contributed to an increase in the intensity of operational work by JSC «Russian Railways», and therefore the organization of optimal schemes for multi-day closures of railway crossings for maintenance of planned repair activities at the facilities of the infrastructure complex of the Eastern Polygon is of strategic importance. In these operating conditions, the procedure for forming a clear order and frequency of providing technological gates, determining the limiting areas, and developing optimal schemes for multi-day closures is very relevant and timely. Its practical application makes it possible to increase the level of throughput and transportation capacities at all elements of the Polygon infrastructure, to provide opportunities for the implementation of a promising cargo flow. The formation and analysis of train timetable models has been carried out, which makes it possible to create an opti-

mal technological process for the functioning of the railway transport system at the Eastern Railway Polygon, and also provides opportunities to reduce the operating costs of «Russian Railways», shippers and cargo recipients, owners of rolling stock, and other participants in the transportation process. Based on the model of providing «windows» and restrictions on the organization of train traffic in the limiting sections, the stages of providing «windows» have been developed, optimal schemes for the formation of technological gates have been determined using the operation of Mariinsk –Taishet section of the Trans-Siberian Railway as an example.

Keywords

The Eastern railway polygon, train timetable, infrastructure complex, throughput and carrying capacity, model of provision of «windows», multi-day closures of crossings, provision of technological gates

For citation

Olentsevich V.A., Elizar'eva A.A. Voprosy formirovaniya poryadka i periodichnosti predostavleniya tekhnologicheskikh stvorov, opredeleniya ogranicivayushchikh segmentov, razrabotki optimal'nykh skhem mnogosutochnykh zakrytii peregonov [Issues related to the formation of the order and frequency of provision of technological gates, the definition of limiting segments, the development of optimal schemes for multi-day lane closures]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 00–00. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).00-00.

Article Info

Received: February 14, 2025; Revised: March 6, 2025; Accepted: March 10, 2025.

Введение

В современных условиях интенсивного развития транспортных систем Восточного полигона железных дорог и росте объемов грузовых перевозок мероприятия по оптимизации и повышению уровня эффективности технического обслуживания инфраструктуры российских железных дорог становятся наиболее актуальными и стратегически важными. Разработка и применение оптимальных схем многосуточных закрытий перегонов для обеспечения плановых показателей производства ремонтных работ приобретают стратегическое значение [1–4].

Скорейшее решение данных задач способно обеспечить прирост грузооборота, что предоставит ОАО «РЖД» широкий потенциал для реализации планов по пропуску перспективных поездопотоков на восточном направлении и даст существенный толчок в развитии экономики страны. В этом контексте особое внимание уделено целесообразности эффективного развития Восточного полигона железных дорог и входящих в его состав структурных подразделений как ключевых транспортных секторов Российской Федерации, обеспечивающих продвижение сырьевых ресурсов, товаров народного потребления, промышленного сектора, сельского хозяйства и пр.

Цель представленного научного исследования заключается в определении оптимальных схем многосуточных закрытий перегонов на Восточном полигоне железных дорог в условиях увеличения объемов ремонтных работ и ро-

сте грузопотока. Для достижения поставленной цели предполагается провести комплексный анализ текущих проблем, связанных с проведением ремонтных работ на Восточном полигоне, и предложить эффективные стратегические решения по планированию перевозочного процесса, которые будут способствовать минимизации времени простоя подвижного состава и снижению негативного влияния на уровень пропускных мощностей. На основе проведенного исследования предполагается выработать рекомендации и предоставить практические инструменты с целью оптимизации схем многосуточных закрытий перегонов на примере организации работы участка железнодорожной линии Восточного полигона и повышения уровня эффективности обслуживания инфраструктуры железных дорог в условиях возрастающих требований к производству эксплуатационной работы и приросте нагрузок [5, 6].

Организационные, технологические и управленические проблемы транспортной системы ОАО «РЖД» в условиях полигонных технологий, а также процессной организации функционирования рассматривали в своих научных работах следующие российские и зарубежные ученые: Г.О. Козырь, А.А. Бочкирев, Д.А. Мачерет, И.Б. Рышков, Н.Г. Шабалин, О.В. Москвичев, Э.А. Мамаев, С.Ю. Елисеев, П.В. Куренков, А.С. Власов, О.Н. Ильина, А.Т. Осьминин, М.А. Нехаев, В.В. Репин, А.Ф. Бородин, Н.А. Латышева, L. Thompson, Ch. Flotzinger, M. Ivaldi и др.

Вопросы формирования эффективной модели графика движения поездов

Успешное экономическое развитие любой страны невозможно без интенсивного развития экономик ее территорий и регионов. Но внутригосударственное развитие территорий практически всегда неравномерно и напрямую зависит от конкурентных преимуществ. Главными составляющими элементами процесса реализации конкурентных преимуществ служат параметры и качественные характеристики транспортного инфраструктурного комплекса. Они, с одной стороны, позволяют соединить основные социально-экономические секторы в единую региональную структуру, с другой – интегрировать экономику региона в межрегиональную и международную торговлю. Сегодня перед транспортным инфраструктурным комплексом России ставится задача, продиктованная современными внутрироссийскими и мировыми трендами развития экономики и торговли – сокращение запасов товаров на складах и увеличение скорости доставки грузов, что возможно достичь только за счет стабильной, качественной работы инфраструктурного комплекса железных дорог [7].

В условиях прироста производственной и сырьевой базы России, стабилизации экономики, специалистами ОАО «РЖД» в последние десять лет ежегодно фиксируется увеличение грузоперевозок на 20–28 %. Поэтому основная техническая политика ОАО «РЖД» сегодня направлена на повышение уровня качества услуг и сервисов, применение гибкой тарифной политики, сокращение величины себестоимости всех элементов перевозочного процесса, что возможно при реализации условия эффективного использования всех видов ресурсов отрасли [1–4].

Данные факторы способствуют поиску руководством ОАО «РЖД» резервов для наращивания объемов движения на инфраструктурном комплексе Восточного полигона железных дорог, что вызывает необходимость увеличения количества используемых ниток графика движения поездов в пределах участков, повышения уровня пропускных и провозных мощностей на всех элементах инфраструктуры полигона.

Формирование эффективной модели графика движения поездов, разработка его наиболее рациональных вариантов, способных обеспечить беспрепятственный пропуск поездопо-

тока в различных условиях функционирования объектов инфраструктурного комплекса и обеспечение возможности реализации перспективного размера грузоперевозок позволит создать единый технологический процесс функционирования железнодорожной транспортной системы на Восточном полигоне железных дорог. Практическая реализация эффективной модели предоставит возможности:

- обеспечить оптимальную работу железнодорожных станций и узлов, участков и направлений, вагонного и локомотивного секторов;
- провести качественный факторный анализ работы, комплексно сопоставить и построить слаженные единые технологические процессы причастных дирекций, служб и структурных подразделений в соответствии с прогнозными значениями поездопотока, учитывая не только его прирост, но и резкие колебания;
- улучшить объемные, качественные, трудовые и финансово-экономические показатели работы структурных подразделений полигона с учетом степени их влияния друг на друга;
- сократить общую величину годовых эксплуатационных затрат ОАО «РЖД», грузоотправителей и грузополучателей, собственников подвижного состава, прочих сторонних и внутренних организаций, обеспечивающих бесперебойный перевозочный процесс в отрасли, учитывая процессы взаимодействия с другими видами транспорта [7, 8].

Разработка и реализация комплекса мероприятий, включающих в себя оптимизацию использования вагонного и локомотивного парков, наращивание скорости движения на участках, весовых норм грузовых поездов, сокращение времени оборота подвижного состава позволит увеличить скорость перевозки, приведет к улучшению качественных показателей и, тем самым, сократит расходы на осуществление перевозочного процесса. Именно в связи с данными факторами сегодня многими учеными и специалистами ОАО «РЖД» активно предпринимаются попытки при формировании модели графика движения поездов учитывать экономическую эффективность, возникающую при его использовании и зависящую от перечисленных показателей.

Факторный анализ показателей экономической эффективности выполнения нормативного графика движения поездов дает возможность определить оптимальные варианты ис-

пользования пропускной и провозной мощностей объектов инфраструктурного комплекса Восточного полигона железных дорог, а также установить целесообразность прокладки ниток графика движения с учетом пропуска длинно-составных, соединенных и ускоренных поездов, в том числе за счет разработки различных вариантов их проследования, составления прогнозных энергосберегающих графиков движения поездов, прочих внутренних и внешних факторов влияния [1, 6–11].

Порядок сквозного производственного планирования объемов работ и потребности ресурсов ОАО «РЖД» утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 25 ноября 2020 г. № 2603/р (ред. № 903/р и 842/р) (рис. 1) [1, 12, 13].

Формирование эффективной модели графика движения поездов при определении оптимальных схем многосуточных закрытий предоставления и использования технологических «окон» для производства ремонтных и строительно-монтажных работ на Восточном полигоне железных дорог с учетом оптимального порядка пропуска поездов, использования ниток графика движения, оптимизации работы инфраструктурного комплекса позволяет оптимизировать существующую технологию планирования и снизить эксплуатационные расходы отрасли.

Существующие методы моделирования графика движения поездов в большей степени являются расчетными, включающими в себя на

различных этапах как формирование исходных данных о размерах поездопотоков по вариантам организации движения, потребности в использовании ниток графика, надежности технических средств и аналитического метода оценки возможностей инфраструктуры в пропуске поездопотока на основе исходных данных [12–16]/

Порядок и периодичность предоставления технологических створов на Транссибирской магистрали

Технология предоставления «окон» в соответствии с директивным планом-графиком осуществляется в соответствии с регламентом взаимодействия Центра управления перевозками на Восточном полигоне с подразделениями причастных филиалов ОАО «РЖД» при планировании, предоставлении и использовании «окон». На Восточном полигоне на основании ряда нормативных документов ([1, 12, 13]) разработана инструкция, которая устанавливает порядок планирования, разработки, предоставления и использования технологических «окон» для производства ремонтных и строительно-монтажных работ на железных дорогах ОАО «РЖД», выполняемых силами структурных подразделений, дочерних обществ ОАО «РЖД» и сторонних организаций с учетом местных условий.

Поскольку перевозочный процесс на Восточном полигоне железных дорог характеризуется высоким уровнем загрузки инфраструктурного комплекса, низкими значениями про-



Рис. 1. Порядок сквозного производственного планирования объемов работ и потребности в ресурсах филиалов ОАО «РЖД»

Fig. 1. Procedure for end-to-end production planning of work volumes and resource requirements of branches of JSC «Russian Railways»

пускных и провозных мощностей существует необходимость применения процедур длительных закрытий перегонов, преимущественно по технологии «в створе», т.е. синхронизировано на полигонах соседних участков. Для реализации данной технологии сформирован перечень створовых направлений, которые преимущественно располагаются между крупными железнодорожными узлами, где происходит процесс зарождения и погашения поездопотока, также это могут быть крупные узловые станции со сходящимися двумя и более направлениями движения [14–19].

На Восточном полигоне к створовым направлениям относятся: Мариинск – Красноярск – Тайшет – Улан-Удэ – Хабаровск-II – Владивосток. В ряде случаев при предоставлении длительных закрытий часть поездопотока направляется по обходным маршрутам следования с использованием параллельных створовых направлений. Длительные закрытия могут предоставляться только на одном из таких взаимосвязанных створовых направлений, поэтому существует понятие «взаимосвязанные створовые направления», при которых длительные закрытия перегонов должны представляться скоординировано [1, 7].

На рис. 2 представлена модель предоставления «окон» на Транссибирской магистрали. Определены лимитирующие участки: Мариинск – Богослов, Чернореченская – Бугач, Бугач – Красноярск, Красноярск-Северный – Красноярск-Восточный, Красноярск-Восточный – Уяр, Уяр –

Заозерная, Заозерная – Канско-Енисейский, Канско-Енисейский – Юрты [1, 12, 13].

На основе модели предоставления «окон» и ограничений организации движения поездов на лимитирующих участках Транссибирской магистрали разработаны этапы предоставления «окон».

1. Первый этап – январь – февраль. Включает в себя предоставление только технологических створов «окон» (два четных створа, в том числе один створ продолжительностью 4 ч., один створ продолжительностью 2 ч.; два нечетных створа, в том числе один створ продолжительностью 4 ч., один створ продолжительностью 2 ч.).

2. Второй этап – март. Включает в себя предоставление технологических створов «окон»: в четном створе продолжительностью 4 ч., при этом «окна» должны быть не более чем 6 ч.

3. Третий этап – апрель. Включает в себя предоставление технологических створов «окон» продолжительностью не более 12 ч.

4. Четвертый этап с 5 мая по 28 сентября включает в себя ремонтно-путевые работы.

По Красноярской железной дороге: Мариинск – Красноярск – в четном створе «окно» 16 ч.; Красноярск – Тайшет – в четном створе «окно» 16 ч.

По Восточно-Сибирской железной дороге: Тайшет – Черемхово – в четном створе «окно» 16 ч.; Черемхово – Иркутск-Сортировочный – длительное закрытие на 3 сут.; Иркутск–

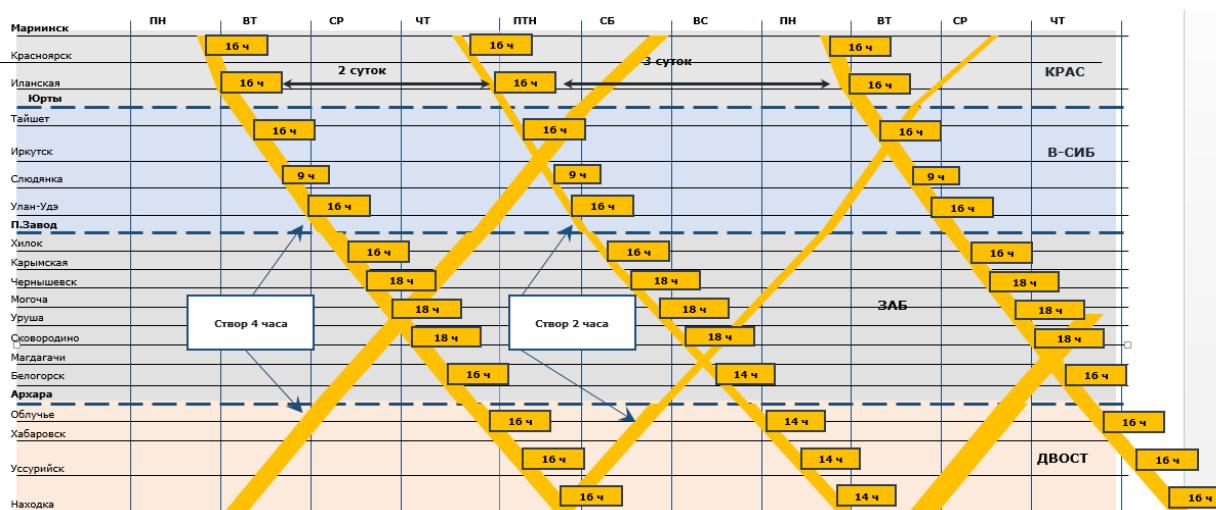


Рис. 2. Модель предоставления «окон» на Транссибирской магистрали
Fig. 2. Model for providing «windows» on the Trans-Siberian Railway

Сортировочный – Слюдянка-1 – в четном створе «окно» 9 ч.; Слюдянка-1 – Петровский Завод – в четном створе «окно» 16 ч.

По Забайкальской железной дороге: Петровский Завод – Карымская – в четном створе «окно» 16 ч.; Карымская – Горелый – в четном створе не более трех «окон» по 18 ч.; Горелый – Архара – в четном створе «окно» 16 ч. (четверг), 14 ч. (воскресенье).

По Дальневосточной железной дороге: Архара – Хабаровск – в четном створе «окно» 16 ч. (пятница), 14 ч. (понедельник); Хабаровск – Уссурийск – в четном створе «окно» 16 ч. (пятница), 14 ч. (понедельник); Уссурийск – Находка – в четном створе «окно» 16 ч. (с пятницы на субботу), 14 ч. (с понедельника на вторник).

5. Пятый этап – октябрь. Предоставление технологических створов «окон» в четном створе «окна» не более 8 ч.

6. Шестой этап – ноябрь – декабрь. Предоставляются только технологические створы «окон» (два четных створа, в том числе один створ продолжительностью 4 ч., один створ продолжительностью 2 ч.; два нечетных створа, в том числе один створ продолжительностью 4 ч., один створ продолжительностью 2 ч. [7, 14–19].

Разработан порядок и периодичность предоставления технологических створов на примере организации работы участка Мариинск – Тайшет Транссибирской магистрали.

Алгоритм предоставления четного технологического створа:

– участок Мариинск – Боготол: начало технологического створа со ст. Мариинск в понедельник продолжительностью 4 ч., в четверг продолжительностью 2 ч.;

– участок Боготол – Красноярск-Восточный: начало технологического створа со

ст. Боготол в понедельник продолжительностью 4 ч., в четверг продолжительностью 2 ч.;

– участок Красноярск-Восточный – Уяр: начало технологического створа со ст. Красноярск-Восточный во вторник продолжительностью 4 ч., в пятницу продолжительностью 2 ч.;

– участок Уяр – Иланская: начало технологического створа со ст. Уяр во вторник продолжительностью 4 ч., в пятницу продолжительностью 2 ч.;

– участок Иланская – Тайшет: начало технологического створа со ст. Иланская во вторник продолжительностью 4 ч., в пятницу продолжительностью 2 ч.

Алгоритм предоставления нечетного технологического створа:

– участок Тайшет – Иланская: начало технологического створа со ст. Тайшет в субботу продолжительностью 4 ч., в среду продолжительностью 2 ч.

– участок Иланская – Уяр: начало технологического створа со ст. Иланская в субботу продолжительностью 4 ч., в среду продолжительностью 2 ч.;

– участок Уяр – Красноярск-Восточный: начало технологического створа со ст. Тайшет в субботу продолжительностью 4 ч., в среду продолжительностью 2 ч.;

– участок Красноярск-Восточный – Боготол: начало технологического створа со ст. Красноярск-Восточный в субботу продолжительностью 4 ч., в среду продолжительностью 2 ч.;

– участок Боготол – Мариинск: начало технологического створа со ст. Боготол в субботу продолжительностью 4 ч., в среду продолжительностью 2 ч.

На рис. 3 отображена технология предоставления «окон» на участке Мариинск – Тайшет.

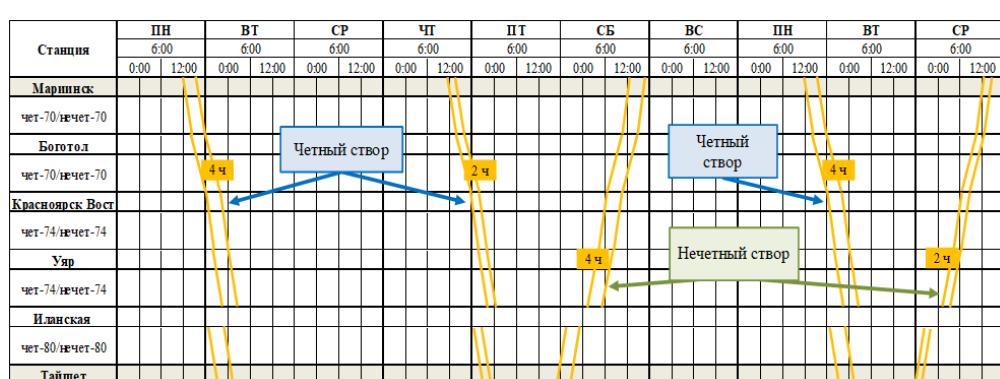


Рис. 3. Технология предоставления «окон» на участке Мариинск – Тайшет
Fig. 3. Technology of providing «windows» on the Mariinsk – Taishet section

Таблица 1. Порядок предоставления створов по направлениям движения на участке Мариинск – Тайшет
Table 1. The procedure for providing alignments in the directions of movement on the Mariinsk – Taishet section

Участок Section	Техническая станция Technical station	Продолжительность створов Length of the alignments			
		4 ч.	2 ч.		
Четный створ Even alignment					
Мариинск – Боготол	Мариинск	11:30	15:30	11:30	13:30
	Боготол	13:30	17:30	13:30	15:30
Боготол – Красноярск	Боготол	13:30	17:30	13:30	15:30
	Красноярск	18:10	22:10	18:10	20:10
Красноярск – Уяр	Красноярск	18:10	22:10	18:10	20:10
	Уяр	20:00	00:00	20:00	22:00
Уяр – Иланская	Уяр	20:00	00:00	20:00	22:00
	Иланская	22:10	02:10	22:10	00:10
Иланская – Тайшет	Иланская	18:40	22:40	18:40	20:40
	Тайшет	21:00	01:00	21:00	23:00
Нечетный створ Odd alignment					
Тайшет – Иланская	Тайшет	17:10	21:10	17:10	19:10
	Иланская	01:00	05:00	01:00	03:00
Иланская – Уяр	Иланская	01:00	05:00	01:00	03:00
	Уяр	04:00	08:00	04:00	06:00
Уяр – Красноярск	Уяр	04:00	08:00	04:00	06:00
	Красноярск	06:40	10:40	06:40	08:40
Красноярск – Боготол	Красноярск	06:40	10:40	06:40	08:40
	Боготол	11:40	15:40	11:40	13:40
Боготол – Мариинск	Боготол	11:40	15:40	11:40	13:40
	Мариинск	12:50	16:50	12:30	14:30

В табл. 1 приведен порядок предоставления створов по времени [1, 7, 14–19].

Применение разработанных методических положений для предоставления длительных закрытий и «окон» большой продолжительности при выполнении ремонтно-путевых работ по технологии в створе позволяет упорядочить систему использования передовых технологических методов. Это, в свою очередь, повысит эффективность организации ремонтных работ и улучшит управление перевозочным процессом на рассматриваемом участке [20–24].

При этом под длительным закрытием (перегона, пути перегона, станционного пути) понимается «окно», предоставляемое для ремонта, реконструкции или строительства железнодорожной инфраструктуры, продолжительностью более 24 ч. [13, 14]. Порядок предоставления «окон» длительного закрытия на рассматриваемом участке Восточного полигона представлен на рис. 4.

Показатели съема четных и нечетных поездов при предоставлении длительного закрытия и «окна» большой продолжительности для

выполнения ремонтно-путевых работ по технологии в створе представлены в табл. 2.

Суммарное количество грузовых поездов, пропуск которых будет ограничен по причине производства длительного закрытия и «окон» большой продолжительности при выполнении ремонтно-путевых работ по технологии в створе составил 80 поездов [1, 25].

Экономические потери за весь период производства работ (10 сут.) составят:

- от четного съема – 11 130,178 тыс. р.;
- от нечетного съема – 10 879,925 тыс. р.

Суммарная величина экономических потерь от съема 80 поездов – 22 010,1 млн р. за 10 сут. производства работ.

В табл. 3 представлены показатели поездо-часов простоя грузовых поездов в ожидании пропуска, по причине выполнения ремонтно-путевых работ по технологии в створе по направлениям движения на участке Мариинск – Тайшет [1, 25].

Экономические потери по поездо-часам простоя в ожидании пропуска – 1 205,4 тыс. р. за 10 сут. Итоговое значение потерь от пони-

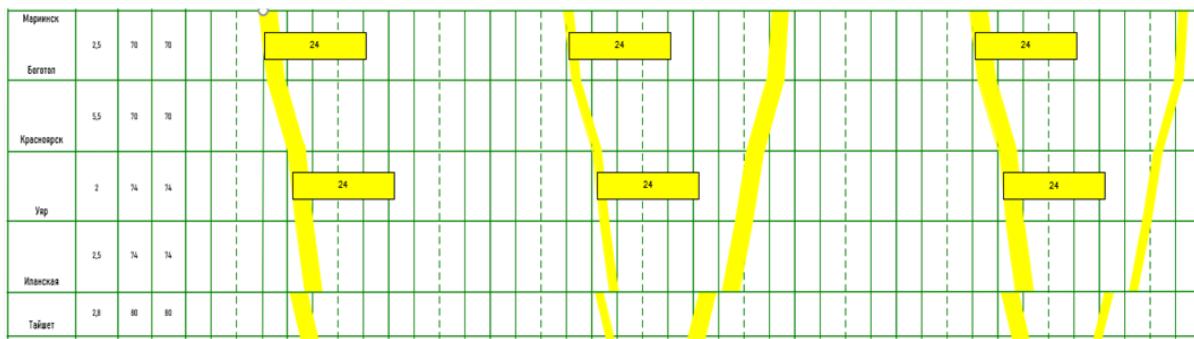


Рис. 4. Порядок предоставления «окон» длительного закрытия на участке Мариинск – Тайшет

Fig. 4. Procedure for providing long-term closure «windows» on the Mariinsk – Taishet section

Таблица 2. Величина съема поездов по направлениям движения на участке Мариинск – Тайшет

Table 2. The volume of train removals in the directions of movement on the Mariinsk – Taishet section

Участок Section	Сутки производства работ Day of performing work										Значение съема, поезд The value of the removal, train
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Четный створ Even alignment											
Мариинск – Боготол	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Боготол – Красноярск	–	–	–	1	–	–	–	–	9	–	10
Красноярск – Ур	–	–	–	–	–	–	–	–	8	–	8
Ур – Иланская	–	–	–	1	–	–	1	–	7	–	9
Иланская – Тайшет	–	–	1	–	–	2	–	1	10	–	14
Суммарный четный съем – 41 поезд за весь период производства работ Total even removal – 41 trains for the entire period of work											
Нечетный створ Odd alignment											
Мариинск – Боготол	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	1
Боготол – Красноярск	–	–	1	–	–	–	1	–	6	–	8
Красноярск – Ур	–	–	1	–	–	–	2	–	8	–	11
Ур – Иланская	–	–	–	1	–	–	2	–	7	–	10
Иланская – Тайшет	–	–	–	1	–	–	–	2	6	–	9
Суммарный нечетный съем – 39 поездов за весь период производства работ Total odd removal – 39 trains for the entire period of work											

жения уровня эксплуатационных показателей работы участка по причине действия ограничений производства работ длительного закрытия и «окон» составит 23 215,503 тыс. р. за 10 сут.

Анализ существующих вариантов закрытия участков на 24 ч. позволил выявить следующие проблемы:

1. Значительные задержки в движении поездов. Длительные перерывы в движении приводят к накоплению поездов на подходах к закрытым участкам, что вызывает сбои в расписании и длительное ожидание.

2. Нарушения графика пассажирских перевозок. Пассажирские поезда, особенно даль-

него следования, не могут следовать по запланированным маршрутам и расписаниям, что приводит к опозданиям и неудобствам для пассажиров.

3. Увеличение нагрузки на соседние участки. Пассажирские и грузовые потоки перенаправляются на альтернативные маршруты, что вызывает перегрузку и ухудшение пропускной способности на других участках.

4. Увеличение времени восстановления движения. После завершения работ необходимо время для восстановления нормативного графика движения поездов, что продлевает период нарушения работы железнодорожной сети.

Таблица 3. Показатели поездо-часов простоя грузовых поездов

в ожидании пропуска на участке Мариинск – Тайшет

Table 3. Train-hour indicators of freight trains waiting for passage on the Mariinsk – Taishet section

Участок Section	Сутки производства работ Day of performing work										Итого, поездо- час. Total, train-hour
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Мариинск – Богослов	–	–	–	–	–	4,2	–	–	12,5	–	16,7
Богослов – Красноярск	–	–	–	–	2,5	–	–	–	19,7	–	22,2
Красноярск – Уяр	–	–	–	–	4,3	0,6	–	–	6,3	–	11,2
Уяр – Иланск	–	4,0	–	–	–	–	–	–	5,1	–	–
Иланск – Тайшет	–	4,4	–	–	3,6	–	–	–	2,1	–	10,1
Суммарные поездо-часы простоя грузовых поездов – 60,2 поездо-часа за весь период производства работ	Total train-hours of downtime of freight trains – 60,2 train-hours for the entire period of work										

Определение оптимальных схем предоставления технологических створов на Транссибирской магистрали

Разработан оптимальный вариант порядка предоставления «окон» с изменением продолжительности закрытия перегонов на примере организации работы участка Мариинск – Тайшет Восточного полигона (рис. 5). Показатели поездо-часов простоя четных и нечетных поездов с учетом оптимизации про-

должительности закрытия перегонов представлены в табл. 4.

Экономические потери от понижения уровня эксплуатационных показателей работы участка по причине действия ограничений производства работ длительного закрытия и «окон» с учетом оптимизации продолжительности закрытия перегонов составят 460,875 тыс. р. за 10 сут. Экономические потери от съема поездов в данном графике отсутствуют.

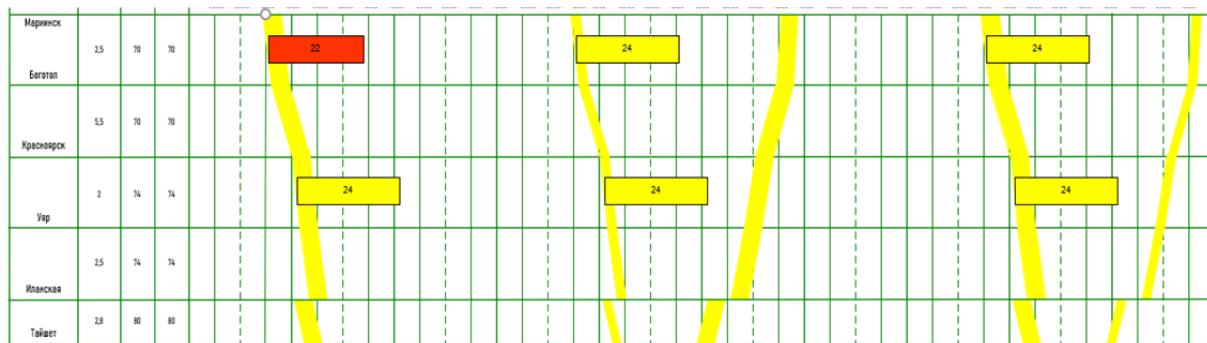


Рис. 5. Оптимальный вариант порядка предоставления «окон» с изменением продолжительности закрытия перегонов участка Мариинск – Тайшет

Fig. 5. Optimal option for the procedure for providing «windows» with a change in the duration of the closure of the Mariinsk – Taishet section

Таблица 4. Показатели поездо-часов простоя грузовых поездов в ожидании пропуска на участке Мариинск – Тайшет с учетом оптимизации продолжительности закрытия перегонов

Table 4. Train-hour indicators of freight train downtime awaiting passage on the Mariinsk – Taishet section, taking into account the optimization of the duration of the closure of sections

Участок Section	Сутки производства работ Day of work										Итого, поездо- час. Total, train-hours
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Мариинск – Богослов	4,5			3,7						2,1	10,2
Богослов – Красноярск	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Красноярск – Уяр	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Уяр – Иланск	–	4,7	–	–	1,2	1,2	–	–	7,5	1,2	15,8
Иланск – Тайшет	–	11,5	–	–	–	–	–	–	–	–	11,5
Суммарные поездо-часы простоя грузовых поездов – 37,5 поездо-часа за весь период производства работ											

Заключение

Проведенный анализ моделей графиков движения поездов на Восточном полигоне железных дорог позволил создать оптимальный технологический процесс функционирования железнодорожной транспортной системы.

По итогам анализа моделей графиков движения поездов, согласно створой технологии, при организации «окон» продолжительностью 24 ч. было выявлено, что предоставление длительных закрытий на участках Восточного полигона приводит к значительным задержкам движения поездов, что влечет за собой увеличение времени на восстановление графика и нарушение графика пассажирских перевозок. На основе модели предоставления «окон» и

ограничений организации движения поездов на лимитирующих участках разработаны этапы предоставления технологических «окон», определены оптимальные схемы формирования технологических створов на примере организации работы отдельного участка.

Значение дополнительных эксплуатационных расходов, вызванных простоем поездов в ожидании пропуска в «окно», показало, что вариант пропуска при организации ремонтных работ продолжительностью менее 24 ч. является наиболее эффективным, позволяет снизить потери и обеспечить максимальный пропуск поездов на рассматриваемом участке.

Список литературы

1. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : офиц. сайт. URL : <http://www.rzd.ru> (дата обращения 12.02.2025).
2. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р. Кодекс : сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727294161> (Дата обращения 02.03.2025).
3. О Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 года: указ Президента РФ от 19.12.2012 г. № 1666 (ред. 15.01.2024). Доступ из справ.-правов. системы КонсультантПлюс в локал. сети.
4. Сценарии развития Восточной Сибири и российского Дальнего Востока в контексте политической и экономической динамики Азиатско-Тихоокеанского региона до 2030 года : аналит. доклад / Л.А. Аносова, А.Г. Коржубаев, А.Н. Панов и др. М. : Едиториал УРСС, 2011. 120 с. URL : <http://econom.nsc.ru/ieie/Izdan/trudi/korjubaev/doklad.pdf> (Дата обращения 10.02.2025).
5. Розенберг Е.Н., Абрамов А.А., Батраев В.В. Интервальное регулирование движения поездов // Железнодорожный транспорт. 2017. № 9. С. 19–24.
6. Оленцевич В.А., Гозбенко В.Е. Задачи приспособления транспортной инфраструктуры к новым технологиям // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. С. 189–190.
7. Горшков В.В., Оленцевич В.А. Определение оптимальных схем многосуточных закрытий перегонов для производства ремонтных работ на Восточном полигоне // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. № 3 (40). С. 50–59.
8. Бородин А.Ф. Комплексная система организации эксплуатационной работы железнодорожных направлений : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2000. 50 с.
9. Гершвальд А.С. Методы и алгоритмы оперативного планирования поездной работы на полигоне // Наука и техника транспорта. 2016. № 2. С. 74–78.
10. Шаров В.А., Бородин А.Ф. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию // Железнодорожный транспорт. 2011. № 8. С. 11–22.
11. Пузина Е.Ю., Барыкина Ю.Н. Бенчмаркинг: основные понятия и процесс реализации // Экономический альманах. Иркутск, 2015. С. 147–150.
12. Об утверждении порядка взаимодействия подразделений и филиалов ОАО «РЖД» при проведении капитального ремонта железнодорожного пути, предусмотренного инвестиционной программой ОАО «РЖД», выполняемого хозяйственным способом : распоряжение ОАО «РЖД» от 09.03.2022 № 564/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
13. Об утверждении инструкции о порядке планирования, предоставления, использования и учета «окон» для работ на инфраструктуре ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 28.12.2023 № 3403/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
14. Толмачев В.Н. Оперативное управление пропуском поездов на двухпутных участках в периоды проведения ремонтно-путевых работ : дис. ... канд. тех. наук. М., 2004. 195 с.
15. Парамонова Н.В. Рациональная технология пропуска поездов во время «окна» для проведения ремонтно-строительных работ : автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 2007. 24 с.
16. Кострома Т.В. Исследование принципов построения и эффективности системы интервального регулирования, предназначенных для применения в период ремонтно-восстановительных работ на железнодорожном транспорте : дис. ... канд. техн. наук. М., 1980. 199 с.
17. Increase of the throughput and processing capacity of the railway line mountain pass section by strengthening the devices of the system of traction power supply / N.P. Astashkov, V.A. Olentsevich, A.R. Akhmetshin et al. // Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME) : international Conference. Saint-Petersburg, 2020. Vol. 1111. DOI 10.1088/1757-899X/1111/1/012005.
18. Комаров А.В. Определение ущербов в экономике от некачественного транспортного обслуживания // Вестник транспорта. 2002. № 2. С. 30–38.

19. Климович А.В. Оптимизация графика движения поезда для всего направления перевозки груза // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2006. № 3 (23). С. 53–55.
20. Оленцевич В.А., Власова Н.В. Оценка удовлетворенности качеством услуг грузовых железнодорожных перевозок // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. С. 187–188.
21. Formation of new principles and models of operation of structural units of the industry under the conditions of implementation of digital technologies / D.A. Lysenko, V.Y. Konyukhov, V.A. Olentsevich et al. // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). Novosibirsk, 2020. Vol. 1064. DOI 10.1088/1757-899X/1064/1/012025.
22. Асташков Н.П., Оленцевич А.А. Изменение технологии работы транспортно-технологической системы железнодорожного транспорта за счет использования нового типа подвижного состава // Наука сегодня: задачи и пути их решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Вологда, 2019. С. 16–17.
23. Ермоленко И.Ю., Морозов Д.В., Асташков Н.П. Влияние продольных нагрузок на безопасность движения при эксплуатации на горно-перевальных участках пути // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2021. № 2 (82). С. 104–111.
24. Белоголов Ю.И., Степова Ю.М., Оленцевич А.А. Использование методов математического моделирования при управлении транспортными процессами на железной дороге // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2018. Т. 1. С. 145–148.
25. Об утверждении методики определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования : приказ Минтранса РФ от 18.07.2018 г. № 266. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.

References

1. Rossiiskie zheleznye dorogi (elektronnyi resurs) [Russian Railways (electronic resource)]. Available at: <http://www.rzd.ru> (Accessed February 12, 2025).
2. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.11.2021 g. № 3363-r «Ob utverzhdenii Transportnoi strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation No 3363-r dated November 27, 2021 «On the approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035»].
3. Ukaz Prezidenta RF ot 19.12.2012 g. № 1666 «O Strategii gosudarstvennoi natsional'noi politiki Rossiiskoi Federatsii na period do 2025 goda» (red. 15.01.2024) [Decree of the President of the Russian Federation dated December 19, 2012 No 1666 «On the Strategy of the State National Policy of the Russian Federation for the period up to 2025» (ed. January 15, 2024)].
4. Anosova L.A., Korzhubaev A.G., Panov A.N., Vikhanskii O.S., Potapov V.Ya., Ostrovskii A.V., Renzin O.M., Zavershskii S.M., Kononova V.Yu., Filimonova I.V., Eder L.V., Bakhturov A.S., Bezryadin M.V., Kartashov S.V., Mishenin M.V., Nevedelev A.V., Plekhanov D.A., Rasputin M.V., Saunin O.V., Sergeev A.S., Stolyar V.A., Yudin D.V. et al. Stsenarii razvitiya Vostochnoi Sibiri i rossiiskogo Dal'nego Vostoka v kontekste politicheskoi i ekonomicheskoi dinamiki Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona do 2030 goda : analiticheskii doklad [Scenarios for the development of Eastern Siberia and the Russian Far East in the context of the political and economic dynamics of the Asia-Pacific region until 2030 : an analytical report]. Moscow: Unitorial URSS Publ., 2011. 120 p. Available at: <http://econom.nsc.ru/ieie/Izdan/trudi/korjubaev/doklad.pdf> (Accessed November 28, 2024).
5. Rozenberg E.N., Abramov A.A., Batraev V.V. Interval'noe regulirovaniye dvizheniya poezdov [Interval control of train movement]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2017, no 9, pp. 19–24.
6. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E. Zadachi prispособleniya transportnoi infrastruktury k novym tekhnologiyam [The tasks of adapting transport infrastructure to new technologies]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tehnicheskii progress* [Modern technologies and scientific and technological progress], 2021, no 8, pp. 189–190.
7. Gorshkov V.V., Olentsevich V.A. Opredelenie optimal'nykh skhem mnogosutochnykh zakrytii peregonov dlya proizvodstva remontnykh rabot na Vostochnom poligone [Determination of optimal schemes for multi-day lane closures for repair work at the Eastern Polygon]. *Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona* [Transport of the Asia-Pacific region], 2024, no 3 (40), pp. 50–59.
8. Borodin A.F. Kompleksnaya sistema organizatsii ekspluatatsionnoi raboty zheleznodorozhnykh napravlenii [Complex system of organization of operational work of railway lines]. Doctor's theses. Moscow, 2000. 50 p.
9. Gershval'd A.S. Metody i algoritmy operativnogo planirovaniya poezdnoi raboty na poligone [Methods and algorithms of operational planning of train work at the polygon]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology of transport], 2016, no 2, pp. 74–78.
10. Sharov V.A., Borodin A.F. Integrirovannaya tekhnologiya upravleniya dvizheniem gruzovykh poezdov po raspisaniyu [Integrated technology for controlling the movement of scheduled freight trains]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2011, no 8, pp. 11–22.
11. Puzina E.Yu., Barykina Yu.N. Benchmarking: osnovnye ponyatiya i protsess realizatsii [Benchmarking: basic concepts and implementation process]. *Ekonomicheskii al'manakh* [Economic almanac], 2015, pp. 147–150.
12. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 09.03.2022 № 564/r «Ob utverzhdenii poryadka vzaimodeistviya podrazdelenii i filialov OAO «RZhD» pri provedenii kapital'nogo remonta zheleznodorozhnykh puti, predusmotrennoi investitsionnoi programmoi OAO «RZhD», vypolnyaemogo khozyaistvennym sposobom» [Order of JSC «Russian Railways» dated March 9, 2022 No 564/r «On approval of the procedure for interaction of divisions and branches of JSC «Russian Railways» during the overhaul of the railway track provided for by the investment program of JSC «Russian Railways», performed by the economic method»].
13. Rasporyazhenie OAO «RZhD» от 28.12.2023 № 3403/r «Ob utverzhdenii instruktsii o poryadke planirovaniya, predostavleniya, ispol'zovaniya i ucheta «okon» dlya rabot na infrastrukture OAO «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» dat-

ed December 28, 2023 No 3403/r «On approval of the instructions on the procedure for planning, provision, use and accounting of «windows» for work on the infrastructure of JSC «Russian Railways»].

14. Tolmachev V.N. Operativnoe upravlenie propuskom poezdov na dvukhputnykh uchastkakh v periody provedeniya remontno-putevykh rabot [Operational control of the passage of trains on double-track sections during the periods of repair and track works]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2004. 195 p.

15. Paramonova N.V. Ratsional'naya tekhnologiya propuska poezdov vo vremya «okna» dlya provedeniya remontno-stroitel'nykh rabot [Rational technology of passing trains during the «window» for carrying out repair and construction works]. Ph.D.'s theses. Moscow, 2007. 24 p.

16. Kostroma T.V. Issledovanie printsipov postroeniya i effektivnosti sistemy interval'nogo regulirovaniya, prednазначennykh dlya primeneniya v period remontno-vosstanovitel'nykh rabot na zheleznodorozhnom transporte [Investigation of the principles of construction and effectiveness of the interval control system intended for use during repair and restoration work on railway transport]. Ph.D.'s theses. Moscow, 1980. 199 p.

17. Astashkov N.P., Olentsevich V.A., Akhmetshin A.R., Suslov K.V., Shtaiger M.G., Karlina A.I. Increase of the throughput and processing capacity of the railway line mountain pass section by strengthening the devices of the system of traction power supply // International conference «Actual Issues of Mechanical Engineering–2020». Saint Petersburg, 2020. Vol. 1111. DOI: 10.1088/1757-899X/1111/1/012005.

18. Komarov A.V. Opredelenie ushcherbov v ekonomike ot nekachestvennogo transportnogo obsluzhivaniya [Determining economic damages from poor-quality transport services]. *Vestnik transporta* [Bulletin of transport], 2002, no 2, pp. 30–38.

19. Klimovich A.V. Optimizatsiya grafika dvizheniya poezda dlya vsego napravleniya perevozki gruza [Optimization of the train schedule for the entire cargo transportation direction]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2006, no 3 (23), pp. 53–55.

20. Olentsevich V.A., Vlasova N.V. Otsenka udovletvorennosti kachestvom uslug gruzovykh zheleznodorozhnykh perevozok [Assessment of satisfaction with the quality of freight railway transportation services]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tehnicheskii progress* [Modern technologies and scientific and technical progress], 2021, no 8, pp. 187–188.

21. Lysenko D.A., Konyukhov V.Y., Olentsevich V.A., Vlasova N.V. Formation of new principles and models of operation of structural units of the industry under the conditions of implementation of digital technologies // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS 2020). Novosibirsk, 2020. Vol. 1064. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012025.

22. Astashkov N.P., Olentsevich A.A. Izmenenie tekhnologii raboty transportno-tehnologicheskoi sistemy zheleznodorozhного transporta za schet ispol'zovaniya novogo tipa podvizhnogo sostava [Changing the technology of the railway transport and technological system through the use of a new type of rolling stock]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka segodnya: zadachi i puti ikh resheniya»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Science today: tasks and ways to solve them»]. Vologda, 2019, pp. 16–17.

23. Ermolenko I.Yu., Morozov D.V., Astashkov N.P. Vliyanie prodl'nykh nagruzok na bezopasnost' dvizheniya pri ekspluatatsii na gorno-pereval'nykh uchastkakh puti [Influence of longitudinal loads on traffic safety during operation on mountain-transshipment sections of the track]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2021, no 2 (82), pp. 104–111.

24. Belogolov Yu.I., Stetsova Yu.M., Olentsevich A.A. Ispol'zovanie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri upravlenii transportnymi protsessami na zheleznoi doroge [The use of mathematical modeling methods in the management of transport processes on the railway]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2018, Vol. 1, pp. 145–148.

25. Prikaz Mintransa RF ot 18.07.2018 g. № 266 «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya propusknoi i provoznoi sposobnosti infrastruktury zheleznodorozhного transporta obshchego pol'zovaniya» [Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated July 18, 2018 No 266 «On approval of the methodology for determining the throughput and carrying capacity of the infrastructure of public railway transport»].

Информация об авторах

Олентьевич Виктория Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: olencevich_va@mail.ru.
Елизарева Алина Артемовна, аспирант кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: alinka_e.lizarevs@mail.ru.

Information about the authors

Victoriya A. Olentsevich, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: olencevich_va@mail.ru.

Alina A. Elizar'eva, Ph.D. Student of the Department of Operation Work Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: alinka_e.lizarevs@mail.ru.

Анализ надежности и экономичности асинхронных вспомогательных машин электровозов

В.В. Макаров, В.Н. Иванов✉, А.М. Худоногов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉v.n.ivanov40161@yandex.ru

Резюме

В статье приводятся проанализированные данные сервисных локомотивных депо и отделов ремонта, эксплуатационных локомотивных депо Красноярской, Восточно-Сибирской и Забайкальской дирекций тяги и управлений «Локо-Тех» по заходам электровозов на межпоездной ремонт по итогам работы в 2023–2024 гг. с новым типом мотор-вентиляторов производства Новосибирского энергомашиностроительного завода «Тайра». Рассмотрены и приняты во внимание наработки Иркутского государственного университета путей сообщения по отказам вспомогательных машин электровозов переменного тока. Изучены этапы производства и изготовления асинхронных вспомогательных машин в советский и современный периоды. Исследованы конструкционные особенности асинхронных вспомогательных машин для электровозов переменного тока, работающих на Восточном полигоне, а также динамические особенности роторов с алюминиевым сплавом и со сварной медной клеткой. В работе выдвинута гипотеза, в соответствии с которой при существующих системах питания глубокопазных асинхронных вспомогательных машин проявляется не только эффект вытеснения тока в обмотке ротора, но и возникают токи Фуко, индуцированные магнитным потоком наиболее высокой частоты в верхних слоях обмотки ротора, вызывающие подплавление его поверхности (по принципу работы электрических индукционных печей). Авторами предложен способ сохранения ресурса изоляции статорных обмоток асинхронных вспомогательных машин. Однако при этом существует острая необходимость продолжения исследования работы данных машин в различных режимах их эксплуатации.

Ключевые слова

асинхронная вспомогательная машина, РДМ225, электровозы, способы сохранения ресурса, изоляционный материал

Для цитирования

Макаров В.В. Анализ надежности и экономичности асинхронных вспомогательных машин электровозов / В.В. Макаров, В.Н. Иванов, А.М. Худоногов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 80–89. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).80-89.

Информация о статье

поступила в редакцию: 29.01.2025 г.; поступила после рецензирования: 06.02.2025 г.; принята к публикации: 10.02.2025 г.

Analysis of reliability and efficiency of asynchronous auxillary machines of electric locomotives

В.В. Макаров, В.Н. Иванов✉, А.М. Худоногов

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉v.n.ivanov40161@yandex.ru

Abstract

The article analyzes and presents data from servicing locomotive depots and repair departments of operational locomotive depots at the Krasnoyarsk, East Siberian and Transbaikal traction directorates and Loco-Tech departments on visits of electric locomotives for inter-train repairs based on the results of work for 2023–2024 with a new type of fan motor manufactured by Novosibirsk Power Engineering Plant «Taira» LLC, Novosibirsk. The developments of the Irkutsk State Transport University on auxillary machines failures in alternating current electric locomotives are analyzed and taken into account. The stages of production and manufacture of asynchronous auxillary machines of the Soviet period and modern production are considered. The design features of the manufacture of asynchronous auxillary machines for AC electric locomotives operating at the Eastern polygon have been studied. As well as the dynamic manufacturing features of both rotors with an aluminum alloy and a welded version of the winding with a copper rotor. The article hypothesizes that with existing power systems for deep-slot asynchronous auxillary machines, not only the effect of current displacement in the rotor winding is manifested, but Foucault currents also arise, induced by the magnetic flux of the highest frequency in the upper layers of the rotor winding, causing melting of the surface of the rotor winding, according to the principle operation of electric induction furnaces. A method for preserving the insulation life of stator windings of asynchronous auxillary machines is proposed. At the same time, there is an urgent need to continue research into the operation of this asynchronous auxillary machine under various operation modes.

Keywords

asynchronous auxiliary machine, rDM225, electric locomotives, methods of resource conservation, insulating material

For citation

Makarov V.V., Ivanov V.N., Khudonogov A.M. Analiz nadezhnosti i ekonomichnosti asinkhronnykh vspomogatel'nykh mashin elektrovozov [Analysis of reliability and efficiency of asynchronous auxiliary machines of electric locomotives]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 80–89. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).80-89.

Article Info

Received: January 29, 2025; Revised: February 6, 2025; Accepted: February 10, 2025.

Введение

В качестве вспомогательных машин на электровозах переменного тока применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Для обеспечения двигателей переменным трехфазным напряжением используют расщепители фаз с активным фазосмещающим резистором (например, электровоз ВЛ80 в/и) и с фазосмещающими конденсаторами (ВЛ85). На электровозах «Ермак» применяется схема с пусковым двигателем и конденсаторами.

Силовые цепи вспомогательных машин и устройств, включая сами приводные двигатели и механизмы (компрессоры, вентиляторы, насосы), а также системы управления ими существенно влияют на показатели надежности электровоза в целом. Отказ любого из двигателей приводит не только к неисправному состоянию, но и к неработоспособному состоя-

нию с точки зрения выполнения графика движения поездов.

Целью работы являются анализ применения приводных машин вспомогательных механизмов электровозов с точки зрения их надежности, в том числе и на электровозах, выведенных из эксплуатации, оценка надежности машин общепромышленного назначения на грузовых электровозах ОАО «РЖД» типа рДМ225Л4УХЛ1 и формирование соответствующих выводов о перспективах их использования.

История развития и современное состояние асинхронных машин

В настоящее время железнодорожный транспорт переходит на более современные электровозы постоянного, однофазно-постоянного и переменного тока различных



Рис. 1. Состояние ротора HBA55C
Fig. 1. The state of the NVA55S rotor

серий. Для привода основных вспомогательных механизмов, таких как компрессоры и вентиляторы, на этих электровозах начали применять наиболее надежные, как было заявлено, асинхронные вспомогательные машины (АВМ) типа НВА55С со сварным медным ротором вместо АВМ типа НВА55 с дюралюминиевым литым ротором. Однако стоимость этих новых АВМ выше по сравнению с их предшественниками. Более того, такие отказы, как потеря контакта в медном сварном роторе в результате обрыва стержня ротора или отгара короткозамыкающего кольца, значительно увеличились (рис. 1), а такой отказ, как подплавление поверхности обмотки медного ротора не исчез (рис. 2).

В табл. 1 представлены основные электромеханические параметры АВМ электровозов однофазно-постоянного тока известных серий. Она составлена на основании расчетов по паспортным и каталожным данным, полученным из различных источников. Возможны различия по таким АВМ, как АНЭ225, НВА55, НВА55С и НВА22. После развода СССР Владимирский электромоторный завод прекратил выпуск АВМ типа АНЭ225 и на Новочеркасском электровозостроительном заводе организовали производство АВМ типа НВА. Было заявлено, что их выпуск организован по технической документации АВМ типа АНЭ225. Показателями таблицы это заявление не подтверждается. Да и одинаковые коэффициенты полезного действия (КПД) у АВМ типа НВА55 и

НВА55С (с медным ротором) вызывают дополнительные вопросы [1].

Первой унифицированной АВМ для электровозов серии ВЛ80 был электродвигатель АЭ-92-4, который по заказу Министерства путей сообщения изготавливали на Харьковском электромеханическом заводе. Глубокопазный ротор этого электродвигателя позволял иметь кратность пускового и максимального моментов 4,0. Однако в статистике отказов по этим АВМ впервые появилась строка «подплавление поверхностного слоя дюралюминиевой литой обмотки ротора». Относительно других отказов по АВМ этот отказ не превышал 5–7 %.

При проектировании электровозов серии ВЛ85 для эксплуатации их в основном в условиях Байкало-Амурской магистрали АВМ для них типа АНЭ225Л4УХЛ2 производились на Владимирском электромоторном заводе. По сравнению с АВМ типа АЭ-92-4 номинальная мощность была увеличена до 55 кВт, кратность пускового момента увеличилась до 4,7. Существенно была изменена и конструкция ротора, были убраны вентиляционные окна и открыты пазы магнитопровода. Отказы в виде «подплавление поверхностного слоя дюралюминиевой литой обмотки ротора» увеличились почти в 2 раза. Электромагнитные явления в глубокопазном роторе асинхронного двигателя достаточно полно описаны в учебниках по электрическим машинам.



Рис. 2. Подплавление ротора НВА55С

Fig. 2. Melting of the rotor NVA55S

Таблица 1. Основные электромеханические параметры асинхронных вспомогательных машин электровозов
Table 1. Main electromechanical parameters of asynchronous auxiliary machines of electric locomotives

Технические характеристики асинхронных вспомогательных машин Technical characteristics of asynchronous auxiliary machines	Серии электровоза Electric locomotive series							
	ВЛ60	ВЛ60 ВЛ80к	ВЛ80	ВЛ85	2(3)ЭС5к «Ермак» «Ermak»	2(3)ЭС5к «Ермак» «Ermak» с поосным регулированием «Ermak» with axis-by-axis regulation	ЭП1	3ЭС5к
	Тип асинхронных вспомогательных машин Type of asynchronous auxiliary machines							
	АП-82-4	АС-82-4	АЭ-92-4	АНЭ225	НВА55, НВА55С		НВА22	рДМ-225Л4
Номинальный момент (M_H , Н·м) Nominal torque (M_H , N·m)	360	380	268	367	364	380	298	357
Критический момент (M_K , Н·м) Critical moment (M_K , N·m)	792	914	1 072	1 763	1 747	1 824	745	785
Пусковой момент (M_{Π} , Н·м) Starting torque (M_{Π} , N·m)	648	838	1 072	1 688	1 677	1 748	596	714
Номинальный ток статора (I_H , А) Nominal stator current (I_H , A)	107	110	90	119	113	120	69	115
Пусковой ток (I_{Π} , А) Starting current (I_{Π} , A)	696	550	684	898	847	900	352	690
Частота вращения (n_0 , об/мин) Rotation frequency (n_0 , rpm)	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	750	1 500
Номинальная частота вращения (n_H , об/мин) Nominal rotation speed (n_H , rpm)	1 460	1 380	1 425	1 430	1 440	1 445	705	1 470
Критическая частота вращения (n_K , об/мин) Critical rotational speed (n_K , rpm)	1 058	945	909	835	930	960	534	1 350
Номинальное скольжение (S_H , %) Nominal slip (S_H , %)	2,6	8,0	4,6	5,0	4,0	3,8	6,0	2,0
Критическое скольжение (S_K , %) Critical slip (S_K , %)	29	37	40	44	38	36	29	10
Номинальная мощность (P_H , кВт) Nominal power (P_H , kW)	55	55	40	55	55	55	22	55
Коэффициент полезного действия, % Efficiency factor, %	90,5	86,2	85,5	88,0	90,2	90,2	82,1	92,8

$\cos \phi$, отн. ед.	0,88	0,86	0,79	0,80	0,82	0,77	0,59	0,78
Коэффициент полезного действия $\cos \phi (K_{\phi})$ Coefficient of efficiency $\cos \phi (K_{\phi})$	0,796	0,741	0,675	0,704	0,739	0,694	0,484	0,730
Класс изоляции Insulation class	B	B	H	H	F	H	F	H
Масса, кг Mass, kg	400	400	390	375	375	385	375	330

При существующих системах питания глубокопазных АВМ проявляется не только эффект вытеснения тока в обмотке ротора, но и возникают токи Фуко, индуцированные гармониками магнитного потока наиболее высокой частоты в верхних слоях обмотки ротора, вызывающие подплавление поверхности обмотки ротора (по принципу работы электрических индукционных печей) [2–6].

Анализ надежности асинхронных вспомогательных машин

Самый существенный просчет по проектированию и производству асинхронного вспомогательного электропривода был для электровозов серии «Ермак». Катастрофа с надежностью АВМ типа НВА55 проявилась при выпуске электровозов серии «Ермак» с системой питания от преобразователя частоты фаз на грузовых электровозах. В локомотивных депо Вихоревка и Смоляниново за 2006–2008 гг. было заменено 98 электродвигателей НВА55 или 14,2 % от их общего числа, что составляет 13,9 случаев на 1 млн. км пробега. Таким образом, показатель отказов электродвигателей НВА55 на электровозах 2ЭС5К, 3ЭС5К в 21 раз превышает среднесетевой показатель отказов вспомогательных электродвигателей серийных электровозов. Все повреждения электродвигателей НВА55 произошли на электровозах 2ЭС5К и 3ЭС5К в период гарантии [1, 7].

Повреждения электродвигателей НВА55 в этих депо по характеру отказа распределились следующим образом:

- выплавление ротора – 86 случаев (87,7 %);
- короткое замыкание обмотки статора – 11 случаев (11,2 %);
- шум подшипника – 1 случай (1,0%) [1].

Ситуация по массовым отказам АВМ типа НВА55 повторилась в локомотивном депо Вихоревка в 2008–2009 гг. После демонтажа на

электровозах серии «Ермак» полупроводниковых преобразователей частоты и фаз и замены их на электромашинные симметричные фазорасщепители (пусковые электродвигатели) ситуация изменилась в лучшую сторону. Но проблема окончательно не была решена [1, 7–18].

Машины имеют принудительную самовентиляцию, осуществляющую крыльчаткой, составляющей как бы одно целое с сердечником ротора.

Решения по повышению надежности за счет конструктивных изменений машин

Было предложено АВМ типа НВА55 заменить на АВМ55С со сварным медным ротором. Фрагменты отказов этих АВМ приведены ранее (см. рис. 1, 2). Можно сослаться на некачественное производство сварных медных роторов. Однако проблема надежности и экономичности АВМ не исчезла, а лишь усложнилась. Динамический момент инерции ротора АВМ типа НВА55С больше динамического момента инерции ротора АВМ типа НВА55, так как его масса на 10 кг больше. По законам механики в этой связи вероятность появления эксцентрикситета у этих АВМ будет выше, а, следовательно, надежность АВМ на 80 % будет зависеть от величины эксцентрикситета. Расход электроэнергии на питание АВМ при увеличении эксцентрикситета также будет увеличиваться.

На ряде электровозов серии 3ЭС5К установлены в условиях Новочеркасского электровозостроительного завода мотор-вентиляторы производства Новосибирского энергомашиностроительного завода «Тайра».

Разработка научной и практической базы по влиянию эксцентрикситета на надежность и технико-экономические показатели асинхронных электродвигателей посвящены многочисленные исследования для различных отраслей промышленности, сельскохозяйственного производства и транспорта. На основании изу-

чения и обобщения этих работ было установлено, что эксплуатация электродвигателя с таким видом дефекта не приводит к немедленному выходу его из строя, но снижает надежность работы, долговечность и влияет на другие технико-экономические показатели: искается магнитное поле в воздушном зазоре, создается одностороннее магнитное притяжение, КПД снижается на 1,5–2 %, появляются дополнительные высшие гармоники поля, снижается пусковой момент на 10–13 %, растут местные нагревы на 5–6 %. Для отражения экономической актуальности этой проблемы покажем расчет на основе технического паспорта АВМ типа НВА55С (рис. 3).



ДВИГАТЕЛЬ АСИНХРОННЫЙ

ТИП НВА 55С1М 1001 № 162

3Ф ~50 Гц 380 В 120 А 55кВт

IP 20 1440Г/мин КПД 90,2% cosφ 0,77

РЕЖИМ S1 ТУ16-99 ДКТи.526413.011ТУ

КЛ. ИЗОЛЯЦИИ F385кг 2012г

Рис. 3. Фрагмент технического паспорта асинхронной вспомогательной машины

Fig. 3. Fragment of the technical data sheet of the asynchronous auxiliary machine

Суммарные потери определяются КПД.

В техническом паспорте приводится номинальная мощность P_n , развиваемая электродвигателем на валу, равная 55 кВт. P_a – активная мощность (кВт) – расходуется на преобразование электрической энергии в механическую и на покрытие электрических и механических потерь:

$$P_a = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi}{1000};$$

$$P_a = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{55}{0,902} = 60,98 \text{ кВт.}$$

При отсутствии эксцентрикитета суммарные потери будут составлять:

$$\Sigma P = P_a - P_n = 60,980 - 55,000 = 5,980 \text{ Вт.}$$

При снижении КПД на 2 % в результате появления эксцентрикитета суммарные потери будут составлять на 119,6 Вт больше, т.е. суммарные потери составят 6 099,6 Вт. Увеличение потерь на 119,6 Вт в годовом исчислении приведет к перерасходу электроэнергии на один

электродвигатель около 11 000 кВт · ч. На одной секции электровоза серии «Ермак» таких электродвигателей пять.

Практика показывает, что при номинальной мощности машины 55 кВт реальная потребляемая мощность составляет порядка 35 кВт. В этом случае перерасход составит порядка 7 300 кВт · ч. При стоимости электроэнергии на тягу поездов 3,35 р. за 1 кВт · ч перерасход составит в стоимостном выражении почти 24 тыс. р. на одну машину или 240 тыс. р. на один электровоз эксплуатируемого парка.

Как указывалось ранее, масса ротора за счет применения медной клетки выше. При одинаковом объеме беличьей клетки с учетом повышенной массы расходы только на материал при ее изготовлении более чем в 6 раз выше.

Существующие методы, способы и средства контроля и диагностики эксцентрикитета ротора условно можно разделить на несколько групп:

- вибрационный контроль;
- электромагнитный контроль;
- непосредственное измерение величины воздушного зазора.

Методы, основанные на анализе спектра, амплитуды и мест появления вибрации электродвигателей, получили широкое применение. Но их применение на электровозе часто осложняется наличием большого количества источников дополнительных вибраций со стороны приводимого во вращения механизма и других двигателей. Электромагнитные способы контроля эксцентрикитета основаны на анализе токов статора, напряжения, потребляемой мощности и при этом обладают высокой точностью. Однако при анализе обычно рассматривается ток в одной из обмоток двигателя, что не всегда позволяет точно провести диагностику. Также при реализации этих способов сложно учесть влияние на измеряемые параметры отклонения показателей качества электроэнергии, внешних электромагнитных полей и характера нагрузки. Проведенный анализ литературных источников показывает, что в настоящее время мало исследований, посвященных контролю и диагностике асинхронных двигателей в переходных режимах работы, в частности в процессе пуска. К одной из таких работ, выполненной для агропромышленных комплексов, но для электродвигателей малой мощности, можно

отнести исследования А.Ю. Прудникова. Однако для системы непрерывного контроля эксцентрикита этот метод непригоден. Анализ методов, способов и средств непрерывного контроля, диагностики и мониторинга эксцентрикита применительно к современным электровозам указал на необходимость осуществлять эти процессы на основе существующих микропроцессорных систем управления и диагностики. Эксцентрикит ротора АВМ определяется относительной величиной ε ($0 < \varepsilon < 1$), которая выражается соотношением:

$$\varepsilon = \frac{\delta - \delta_{\min}}{\delta},$$

где δ – значение воздушного зазора при наличии эксцентрикита ротора; δ_{\min} – минимальное значение воздушного зазора.

При проектировании вращающихся асинхронных машин обычно стараются получить для них возможно малое значение воздушного зазора, чтобы иметь небольшой ток холостого хода, от которого главным образом зависит коэффициент мощности электродвигателя. При этом нужно считаться с необходимостью получить надежную машину, изготовление и монтаж которой не вызывает существенных затруднений.

Величина δ_{\min} зависит от внутреннего диаметра статора D , диаметра и длины вала между подшипниками. От диаметра D зависят неизбежные производственные отклонения (допуски) при механической обработке подшипниковых щитов и корпуса статора, при штамповке листов и сборке их в пакеты статора и ротора. От диаметра и длины вала между подшипниками зависит прогиб вала. При выборе δ_{\min} обращаются к данным рационально спроектированных и построенных машин, эксплуатация которых подтвердила их высокие технико-экономические характеристики и надежность в работе. Для параметров АВМ типа НВА55С рекомендуется использовать следующую эмпирическую формулу:

$$\delta_{\min} = \frac{D}{1200} \left(1 + \frac{9}{2p} \right) \text{ (мм)},$$

где p – число полюсов на фазу (в нашем случае $p = 2$). Тогда формула примет следующий вид:

$$\delta_{\min} = \frac{D}{3900} \text{ (мм)}.$$

С целью повышения надежности и экономичности АВМ необходимо создавать систему

непрерывного контроля ее эксцентрикита, что соответствует еще одному мероприятию по ее увеличению (надежности) – техническая диагностика. Создание системы непрерывного контроля требует проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В настоящее время на электровозах серии 3ЭС5К последних номеров начали применять АВМ типа рДМ225Л4УХЛ1. АВМ типа рДМ225 является машиной общепромышленного назначения, производится «Уралэлектромаш», кратность пускового момента не превышает 2,0. В процессе наработки опытной партии АВМ типа рДМ225 ряд из них уже имеют пробег более 500 тыс. км, при этом отказы по их работе в процессе эксплуатации отсутствуют. На данный момент эксплуатации результаты их работы носят положительную динамику.

В табл. 2 представлены результаты опытной эксплуатации по семи электровозам, эксплуатируемым на железных дорогах Восточного полигона.

Говорить о резком повышении надежности вспомогательной машины еще рано, поскольку их количество и наработка недостаточны для окончательных выводов.

Анализируя представленные характеристики АВМ и дополнительные данные, имеющиеся в паспортах, можно сказать о том, что при проектировании и изготовлении новых АВМ нарушаются основные принципы, обеспечивающие повышение их надежности [10]. Так, на стадии проектирования должно предусматриваться применение более надежных элементов, а также облегчение их ремонта. На стадии производства необходимо применять новые материалы. Наряду с другими мероприятиями их реализация дает больший эффект и обеспечивает системный подход к решению задачи по повышению надежности, который предусматривает согласование мероприятий в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации электровозов и их систем, узлов, сборочных единиц и т.п. Так, на АВМ НВА55С и НВА55 понижен класс изоляции обмоток статора с класса *H* до класса *F*. Ранее было показано, что на короткое замыкание статора приходилось 11,2 % случаев отказов. О необходимости повышения класса изоляции говорит и работа [16], где экспериментально доказано, что во время пуска температура нагрева достигает величины, превышающей допустимое значение для класса изоляции *F*.

Таблица 2. Результаты опытной эксплуатации о надежности асинхронных вспомогательных машин типа рДМ225Л4УХЛ1

Table 2. Experimental operation results on the reliability of asynchronous auxiliary machines of the rDM225L4UHL1 type

№ п/п	Серия и номер Series and number	Депо приписки Depot of registration	Постройка Manufactured	Пробег, км Mileage, km				Отказы Failures
				НЭВЗ	ТР-3	ТР-2	ТР-1	
1	3ЭС5к-1296	ТЧЭ-9 Вихоревка	03.03.2022	534564	—	СЛД Раздольная 259280	СЛД Братск 42795	0
2	3ЭС5к-1301	ТЧЭ-9 Вихоревка	03.03.2022	537874	СЛД Канск- Ил 17922	—	—	0
3	3ЭС5к-1304	ТЧЭ-7 Абакан	18.03.2022	538349	СЛД Боготол 6204	—	—	0
4	3ЭС5к-1305	ТЧЭ-7 Абакан	19.03.2022	531230	СЛД Канск- Ил 2772	—	—	0
5	3ЭС5к-1306	ТЧЭ-7 Абакан	23.03.2022	520659	СЛД Канск- Ил 53448	—	СЛД Канск-Ил 2440	0
6	3ЭСС5к- 1308	ТЧЭ-7 Абакан	27.03.2022	484666	—	СЛД Чита 215083	СЛД Хабаровск 5979	0
7	3ЭС5к-1495	ТЧЭ-3 Чита	15.10.2023	231806	—	—	СЛД Раздольная 20076	0

Сравнение конструкции АВМ НВА55, НВА55С и АНЭ225Л4УХЛ2 электровозов «Ермак» и ВЛ85 в сравнении с АВМ рДМ225Л4УХЛ1, установленных на электровозах «Ермак» с номерами в соответствии с табл. 2, показывает, что на последних нарушен принцип применения более надежных элементов и облегчения ремонта.

Как указывалось, машины имеют самовентиляцию. При этом на АВМ серии рДМ225Л4УХЛ1 крыльчатка вентилятора самовентиляции находится под защитным кожухом и крепится на валу болтом. Таким образом, появился новый узел сопряжения, который не только усложняет конструкцию, но еще и требует проверки и настройки баланса. И то, и другое влечет за собой дополнительные эксплуатационные расходы и увеличивает сортамент запасных частей. Наличие узла повлияет на надежность машины, а значит и на показатели использования единицы тягового подвижного состава в целом.

Появление в конструкции дополнительного сопряжения в случае возникновения отказов узла в дальнейшей эксплуатации потянет за собой корректировки технологии обслуживания и ремонта, ее внесения в технологические

карты. Поток отказов покажет, в перечень работ какого технического обслуживания или деповского ремонта необходимо будет внести эту корректировку. Изменение конструкции требует дополнительного нормирования времени на ремонт АВМ.

Кроме корректировки технологии потребуются и капитальные расходы на дополнительное оборудование для устранения дисбаланса в сборочной единице «ротор – крыльчатка». Появление дополнительных деталей повлечет за собой не только увеличение сортамента дополнительных запасных частей, но и затрат на их планирование и закупку.

Заключение

На вновь изготавливаемых электровозах необходимо принимать следующий шаг по расширению эксперимента по применению двигателей рДМ225 путем ввода очередной партии. Для проведения ТР-3 электровозов необходимо актуализировать технологический процесс их ремонта. Для более точного анализа по надежности этих машин потребуется дополнительное время их эксплуатации при различных системах питания.

По мере накопления наработки и количества машин в случае появления прогнозируемых отказов необходимо внести изменения в технологию не только ремонта системы самовентиляции, но и предусмотреть в перечне работ какого-либо объема деповского ремонта ее проверку и обслуживание. Кроме нормирования продолжительности ремонта нужно предусмотреть и затраты как эксплуатационные, так и капитальные, связанные с необходимостью осуществления балансирования подсистемы «ротор». Возможно, потребуется разработка стенда для балансировки узла.

На электровозах «Ермак» с АВМ серий НВА55, НВА55С на заводских ремонтах или ранее необходимо реализовать повышение класса изоляции до уровня H . Для слежения за экскен триситетом машин требуется создать систему его непрерывного контроля. Нужен переход на электродвигатели с дюралюминиевыми роторами с целью недопущения быстрого развития эксцентрикитета. При этом необходимо учитывать и то, что эксплуатационные расходы на машины с медной клеткой только за счет расхода электроэнергии увеличиваются на 240 тыс. р. на один электровоз.

Список литературы

1. Макаров В.В., Иванов В.Н., Худоногов А.М. Пути совершенствования асинхронного привода вспомогательных машин грузовых электровозов переменного тока // Локомотив. 2024. № 9 (213). С. 13–14.
2. Барэмбо К.Н., Бернштейн Л.М. Сушка, пропитка и компаундирование обмоток электрических машин. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1961. 368 с.
3. Алексеев А.Е. Конструкция электрических машин. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1958. 427 с.
4. Борхерт Р., Юбис В. Техника инфракрасного нагрева. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1963. 278 с.
5. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 256 с.
6. Ваксер Н.М. Изоляция электрических машин. Л. : ЛПИ, 1985. 81 с.
7. Анализ конструктивных особенностей элементов электромагнитной системы тяговых электродвигателей локомотивов / А.М. Худоногов, Е.Ю. Дульский, В.Н. Иванов и др. // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы IX Междунар. науч.-практ конф. Иркутск, 2018. Т. 2. С. 351–355.
8. Малютин А.Ю. Особенности электромагнитных процессов асинхронных двигателей вспомогательных машин электровозов переменного тока // Наука МИИТа – транспорту : тр. Всерос. науч.-практ. конф. М., 2016. С. III-67.
9. Надежность асинхронных вспомогательных машин электровозов / А.М. Худоногов, В.Н. Иванов, Д.А. Оленцевич и др. // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2008. № 4 (36). С. 117–119.
10. Горский А.В., Воробьев А.А. Надежность электроподвижного состава. М. : Маршрут, 2005. 303 с.
11. Дейнеко В. Дуюнов Д., Иванов В. Изменение конструкции обмоток асинхронных электродвигателей – потенциал обеспечения надежности электросетей // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 2 (29). С. 48–55.
12. Орленко А.И., Ундратис А.А., Лыткина Е.М. К вопросу о надежности электровозов серии «Ермак» при их эксплуатации на Восточном полигоне ОАО «РЖД» // Наука и техника транспорта. 2024. № 1. С. 25–30.
13. Шрайбер М.А. Развитие остаточных напряжений в изоляции тяговых электродвигателей при отверждении пропиточного состава // Транспорт Урала. 2024. № 1 (80). С. 35–40.
14. Исследование процесса нагрева индуктора тягового линейного асинхронного двигателя для экспериментального стенда / В.А. Соломин, А.В. Соломин, Н.А. Трубицина и др. // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2023. № 2 (90). С. 30–37.
15. Шрайбер М.А. Модернизация воздействия неоднородности материала изоляции тяговых электрических машин на процессы роста усталостных трещин // Вестник транспорта Поволжья. 2023. № 3 (99). С. 42–45.
16. Иванов П.Ю. Повышение эксплуатационной надежности асинхронных вспомогательных машин магистральных электровозов переменного тока : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2015. 198 с.
17. Скворцова К.П. Влияние гармонических составляющих на режимы работы асинхронного двигателя // Молодой ученый. 2024. № 18 (517). С. 36–38.
18. Дульский Е.Ю. Научные основы теории упрочнения электрооборудования тягового подвижного состава тепловым излучением : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2023. 394 с.

References

1. Makarov V.V., Ivanov V.N., Khudonogov A.M. Puti sovershenstvovaniya asinkhronnogo privoda vspomogatel'nykh mashin gruzovykh elektrovozov peremennogo toka [Ways to improve the asynchronous drive of auxiliary machines for AC freight locomotives]. *Lokomotiv* [Locomotive], 2024, no 9 (213), pp. 13–14.
2. Barembo K.N. Bernstein L.M. Sushka, propitka i kompaundirovaniye obmotok elektricheskikh mashin [Drying, impregnation and compounding of windings of electric machines]. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat Publ., 1961. 368 p.
3. Alekseev A.E. Konstruktsiya elektricheskikh mashin [Construction of electric machines]. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat Publ., 1958. 427 p.
4. Borkhert R., Yubits V. Tekhnika infrakrasnogo nagreva [Infrared heating technology]. Moscow; Leningrad: Gosenergoizdat Publ., 1963. 278 p.
5. Filippov I.F. Teploobmen v elektricheskikh mashinakh [Heat exchange in electric machines]. Leningrad: Energoatomizdat Publ., 1986. 256 p.

6. Vakser N.M. Izolyatsiya elektricheskikh mashin [Isolation of electrical machines]. Leningrad: LPI Publ., 1985. 31 p.
7. Khudonogov A.M., Dul'skii E.Yu., Ivanov V.N., Lobysin I.O. Analiz konstruktivnykh osobennostei elementov elektromagnitnoi sistemy tyagovykh elektrosvigatelei lokomotivov [Analysis of the design features of the elements of the electromagnetic system of traction electric motors of locomotives]. *Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskego regiona»* [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2018, Vol. 2, pp. 351–355.
8. Malyutin A.Yu. Osobennosti elektromagnitnykh protsessov asinkhronnykh dvigatelei vspomogatel'nykh mashin elektrovozov peremennogo toka [Features of electromagnetic processes of asynchronous motors of auxiliary machines of alternating current electric locomotives]. *Trudy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka MIITa – transportu»* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Science of Moscow Institute of Engineers of Railway Transport for transport»]. Moscow, 2016, pp. III-67.
9. Khudonogov A.M., Ivanov V.N., Olentsevich D.A., Lytkina E.M. Nadezhnost' asinkhronnykh vspomogatel'nykh mashin elektrovozov [Reliability of asynchronous auxiliary machines of electric locomotives]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2008, no 4 (36), pp. 117–119.
10. Gorskii A.V., Vorob'ev A.A. Nadezhnost' elektropodvizhnogo sostava [Reliability of electric rolling stock]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 303 p.
11. Deineko V., Duyunov D., Ivanov V. Izmenenie konstruktsii obmotok asinkhronnykh elektrosvigatelei – potentsial obespecheniya nadezhnosti elektrosetei [Changing the design of windings of asynchronous electric motors is the potential for ensuring the reliability of power grids]. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie* [Electric Power. Transmission and distribution], 2015, no 2 (29), pp. 48–55.
12. Orlenko A.I., Undraitis A.A., Lytkina E.M. K voprosu o nadezhnosti elektrovozov serii «Ermak» pri ikh ekspluatatsii na Vostochnom poligone OAO «RZhD» [On the issue of reliability of electric locomotives of the Ermak series during their operation at the Eastern Polygon of JSC Russian Railways]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology of Transport], 2024, no 1, pp. 25–30.
13. Shraiber M.A. Razvitiye ostatochnykh napryazhenii v izolyatsii tyagovykh elektrosvigatelei pri otverzhdennii proptochnogo sostava [The development of residual stresses in the insulation of traction electric motors during the curing of the impregnation compound]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2024, no 1 (80), pp. 35–40.
14. Solomin V.A., Solomin A.V., Trubitsina N.A., Zamshina L.L., Chekhova A.A. Issledovanie protsessa nagreva induktora tyagovogo lineinogo asinkhronnogo dvigatelya dlya eksperimental'nogo stenda [Investigation of the heating process of an inductor of a traction linear asynchronous motor for an experimental stand]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2023, no 2 (90), pp. 30–37.
15. Shraiber M.A. Modernizatsiya vozdeistviya neodnorodnosti materiala izolyatsii tyagovykh elektricheskikh mashin na protsessy rosta ustalostnykh treshchin [Modernization of the impact of the heterogeneity of the insulation material of traction electric machines on the processes of fatigue crack growth]. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Transport of the Volga region], 2023, no 3 (99), pp. 42–45.
16. Ivanov P.Yu. Povyshenie ekspluatatsionnoi nadezhnosti asinkhronnykh vspomogatel'nykh mashin magistral'nykh elektrovozov peremennogo toka [Improving the operational reliability of asynchronous auxiliary machines of mainline electric locomotives of alternating current]. Ph.D.'s theses. Irkutsk, 2015. 198 p.
17. Skvortsova K.P. Vliyanie garmonicheskikh sostavlyayushchikh na rezhimy raboty asinkhronnogo dvigatelya [The influence of harmonic components on the operating modes of an asynchronous motor]. *Molodoi uchenyi* [Young Scientist], 2024, no 18 (517), pp. 36–38.
18. Dul'skii E.Yu. Nauchnye osnovy teorii uprochneniya elektrooborudovaniya tyagovogo podvizhnogo sostava teplovym izlucheniem [Scientific foundations of the theory of strengthening electrical equipment of traction rolling stock by thermal radiation]. Doctor's theses. Saint Petersburg, 2023. 394 p.

Информация об авторах

Макаров Виктор Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: makarov_vv@itgups.ru.

Иванов Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: v.n.ivanov40161@yandex.ru.

Худоногов Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: a.hudonogov@yandex.ru.

Information about the authors

Viktor V. Makarov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: makarov_vv@irgups.ru.

Vladimir N. Ivanov, Ph.D. Engineering in Science, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: v.n.ivanov40161@yandex.ru.

Anatolii M. Khudonogov, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: a.hudonogov@yandex.ru.

Эффективность организации производства за счет пересмотра норм времени

Н.Н. Григорьева✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российской Федерации
✉zolotkina@mail.ru

Резюме

Социально-экономическое развитие общества обуславливается одним из самых важных условий – это рост эффективности организации производственных процессов за счет непосредственного повышения производительности труда при одновременном учете интересов и потребностей человека. В современном мире эффективная организация производства играет основополагающую роль в формировании экономики, особенно это важно для компании ОАО «РЖД», которая является крупнейшим оператором железнодорожного транспорта в России. Одно из актуальных на сегодняшний день средств решения этих задач – нормирование труда в каждом структурном подразделении компании. Функционирование локомотивного хозяйства в новых экономических реалиях требует инновационных подходов к урегулированию вопросов технического перевооружения, внедрения прогрессивных ресурсосберегающих мероприятий, изыскания резервов с целью организации производства и осуществления экономической и кадровой политики. Интеграция полигонных технологий оказала непосредственное влияние на работу эксплуатационных локомотивных депо и локомотивных бригад. Применяемые нормативы не соответствуют текущим технологическим и трудовым операциям, так как они были приняты довольно давно и не подходят для современных производственных процессов, отсюда и нерациональное расходование не только рабочего времени, но и трудовых ресурсов. В целях оптимизации рабочего графика локомотивных бригад и осуществления комплекса мероприятий, направленных на эффективное использование локомотивов, в статье анализируется вариант пересмотра норм времени на приемку локомотива и сокращения опробования автотормозов с применением параллельности операций.

Ключевые слова

нормы времени, эффективность производства, автотормоза, локомотивная бригада, транзитные поезда, организация труда

Для цитирования

Григорьева Н.Н. Эффективность организации производства за счет пересмотра норм времени / Н.Н. Григорьева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 90–100. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).90-100.

Информация о статье

поступила в редакцию: 18.11.2024 г.; поступила после рецензирования: 07.03.2025 г.; принята к публикации: 10.03.2025 г.

Efficiency of production organization by revision of time standards

Н.Н. Grigor'eva✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation
✉zolotkina@mail.ru

Abstract

The social and economic growth of a society is conditioned by one of the most important factors, that is the increase in the efficiency of the production processes organization by directly increasing labor productivity while taking into account the interests and needs of a person. In the modern world, effective organization of production plays a fundamental role in the development of the economy, which is especially important for JSC «Russian Railways», the largest operator of railway transport in Russia. One of the most relevant means of solving these problems today is the rationing of labor in any structural division of the company. The functioning of the locomotive industry in the new economic realities requires innovative approaches to solving issues of technical re-equipment, the introduction of progressive resource-saving measures, the search for reserves in matters of production organization, economic and personnel policy. The introduction of polygon technologies had a direct impact on the organization of production at operational locomotive depots and on the organization of work of locomotive crews. Standards currently in use have been developed a while ago and do not correspond to modern technological and labor operations, hence the irrational use of not only working time, but also labor resources. In order to improve the organization of working hours of employees of locomotive crews and the implementation of a set of measures aimed at the effective use of locomotives, the article considers the option of revising the norms of time for locomotive acceptance and shortened testing of auto brakes using parallel operations.

Keywords

time standards, production efficiency, autobrakes, locomotive crew, transit trains, labor organization

For citation

Grigor'eva N.N. Effektivnost' organizatsii proizvodstva za schet peresmotra norm vremeni [Efficiency of production organization due to revision of time standards]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 90–100. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).90-100.

Article Info

Received: November 18, 2024; Revised: March 7, 2025; Accepted: March 10, 2024.

Введение

В современных условиях развития рынка особую роль на предприятии играют прогрессивные технологии и концепции, воздействующие на эффективность организации производства. Стремительное развитие конкуренции и использование новой техники, передовых технологий, применение современных и прогрессивных методик являются главными факторами в достижении эффективного производства. Организация трудового процесса на предприятии, уровень профессиональной подготовки, инициативность и заинтересованность работников – важнейший человеческий фактор, который требуется предприятию для того, чтобы обеспечивать необходимую эффективность его деятельности.

Следует подчеркнуть, что фундаментальные исследования определяют организацию труда и ее совершенствование как фактор повышения эффективности организации производства.

Современная организация производства управления тяговыми ресурсами железных дорог помогает решать задачи стратегического и технологического планирования, оперативного руководства эксплуатационной деятельностью с использованием полигонных технологий [1]. В этих условиях важно и актуально выполнение возложенной на железнодорожный транспорт задачи, заключающейся в слаженной работе всех его структурных подразделений и особенно тех, которые непосредственно связаны с перевозочным процессом.

В целях выполнения ключевых показателей работы дороги, в частности увеличения пропускной способности, повышения качества использования локомотивов и локомотивных бригад [2], реализации задач по сокращению непроизводительных потерь рабочего времени локомотивных бригад [3], для главного хода была разработана технология проведения сокращенного опробования автотормозов в грузовых транзитных поездах на станциях Восточно-

но-Сибирской железной дороги (ВСЖД) параллельно с операциями по приемке локомотивов.

Одним из эффективных инструментов организации производства и технологических процессов, применяемых в ОАО «РЖД», является нормирование труда. Оно оказывает значимый результат в решении множества задач при выполнении ключевых показателей деятельности структурных подразделений ОАО «РЖД» и эффективно лишь в том случае, если на предприятии действуют прогрессивные нормы, которые учитывают оптимальные организационно-технические, экономические, психофизиологические и социальные факторы. Без нормативного регулирования рабочего времени по продолжительности, степени интенсивности, организации рационального использования трудовых затрат не могут состояться отношения социального партнерства внутри любого предприятия [4]. При этом нормы труда (нормы выработки, времени, нормативы численности и другие нормы) устанавливаются в соответствии с достигнутым уровнем техники, технологии, организации производства и труда [5].

Актуальность данной статьи состоит в том, что проблемы рационального использования рабочего времени, в том числе и локомотивных бригад, изучаются многими учеными-транспортниками: М.В. Белкиным, Л.В. Шкуриной, В.Н. Никитиным, Ю.Д. Петровым, С.Ю. Саратовым, А.А. Вовк и др. [6, 7]. Исследования показывают, что эффективность работы зависит от применения современных подходов в организации производства и труда. Среди возможных подходов повышения эффективности организации производства и труда локомотивных бригад, по мнению автора, целесообразно рассматривать нормирование труда.

Объектом нормирования является деятельность человека, а в процессе производства работники либо воздействуют на предмет труда при помощи орудий труда, либо обеспечивают условия для производительной работы, в связи с этим требуется техническое обоснование норм времени. В этом и заключается цель статьи. Справедливо отметить, что наряду с тех-

ническим обоснованием норм времени, необходимо и их экономическое обоснование. Поскольку от установленных норм зависит величина издержек производства, прибыль и в целом эффективность организации производства структурного подразделения.

Сущность применения технологии параллельности операций сокращенного опробования автотормозов

В качестве примера функционирования и выполнения соответствующих норм были приняты нормы Иркутского и Улан-Удэнского эксплуатационных локомотивных депо [8].

Как известно, нормы затрат рабочего времени устанавливают время на выполнение единицы работы одним или несколькими работниками и определяют: продолжительность каждой операции и контингент, необходимый для ее выполнения [9, 10].

В табл. 1 представлены нормы сокращенного опробования автотормозов до внедрения параллельности операций.

Сокращенное опробование автотормозов грузовых транзитных поездов на станциях ВСЖД как рекомендуемая технология с использованием параллельности операций по приемке локомотивов направлена на повышение пропускной способности по железнодорожным станциям Восточного полигона (Тайшет, Нижнеудинск, Зима, Иркутск-Сортировочный, Слюдянка, Улан-Удэ, Вихоревка, Коршуниха, Лена, Северобайкальск, Но-

вый Уоян) за счет сокращения времени стоянки транзитных поездов на станциях [11, 12].

В соответствии с Правилами технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава, утвержденными Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества (протокол от 6–7 мая 2014 г. № 60) [13] с учетом внесенных изменений, утвержденных протоколом Совета по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества от 4–5 ноября 2015 г. № 63, производится сокращенное опробование автотормозов в транзитных поездах [14].

Применение данной технологии для транзитных грузовых поездов, имеющих гарантийный участок безопасного проследования по техническому обслуживанию поездов, у которых в пути следования замечаний по техническому состоянию подвижного состава не имелось, обеспечит проследование ВСЖД без технической обработки состава [15].

О техническом состоянии локомотива машинист информирует поездного диспетчера в соответствии с технологией информирования о возникновении неисправностей локомотивов в эксплуатации и реагирования по устранению неисправностей, утвержденной распоряжением ВСЖД от 22 декабря 2018 г. № ВСЖД-1211/р [16].

Своевременную доставку локомотивной бригады к запланированному времени и месту прибытия поезда на станцию смены локомотивной бригады осуществляет дежурный по депо.

Таблица 1. Нормы времени на приемку локомотива при сокращенном опробовании тормозов для маршрута Вихоревка – Коршуниха – Лена

Table 1. Time standards for acceptance of a locomotive with a shortened brake test for the Vikhorevka – Korshunikh – Lena route

Элементы затрат рабочего времени Elements of labor time costs	Время, мин	Примечание
Проверка соответствия плотности и целостности тормозной магистрали, действие тормозов Checking the brake line for proper tightness and integrity, brake operation	9,0	Прил. 4.2.1.2 тех. процесса станции ДС от 25 января 2020 г.
Осмотр механической части локомотива, автосцепного и песочного оборудования, концевых кранов принимающим помощником машиниста и машинистом Inspection of the mechanical part of the locomotive, automatic coupling and sand equipment and end cranes by the receiving assistant driver and the driver	6,0	Appendix 4.2.1.2 of the technical process of the DS station dated January 25, 2020.
Получение и проверка машинистом справки об обеспечении поезда тормозами и исправном их действии формы ВУ-45 Receipt and verification by the driver of a certificate on the provision of the train with brakes and their proper operation, form VU-45	2,0	
Итого: Total	17,0	

Локомотивная бригада, принимающая локомотив, несет ответственность за его приемку и выполнение сокращенного опробования тормозов поезда в соответствии с технологией [17].

В случае выявления замечаний по техническому состоянию локомотива машинист принимающей локомотивной бригады о выявленных замечаниях извещает дежурного станционного поста или станции (ДСП) через регистрируемые каналы связи для дальнейшего согласования действий.

Согласно мероприятиям по повышению эффективности организации использования тяговых ресурсов на Восточно-Сибирской железной дороге [18], были установлены нормативы времени на сокращенное опробование автотормозов на примере Иркутского и Улан-Удэнского эксплуатационных локомотивных депо (табл. 2).

Параллельно с операциями 1–4 помощник машиниста принимающей локомотивной бригады выполняет операцию № 5.

При проведении сокращенного опробования автотормозов помощник машиниста

продолжает выполнять операции по приемке локомотива:

1. Ознакомление с записями по журналу формы ТУ-152, внесенными сдающей бригадой.

2. Выполнение ремонта по этим замечаниям, согласно журналу формы ТУ-152.

3. Проверка даты выполнения последнего ТО-2, периодичности проверки работы автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа, комплексного локомотивного устройства безопасности (КЛУБ), радиосвязи и других приборов безопасности, установленных на локомотиве.

Общее время, затрачиваемое на смену локомотивных бригад, установленное п. 5 и 6 технологии (см. табл. 2), до готовности к опробованию автотормозов по данным Иркутского и Улан-Удэнского эксплуатационных локомотивных депо составляет: с локомотивами в двухсекционном исполнении – не более 8 мин, в трехсекционном исполнении – не более 11 мин, в четырехсекционном исполнении – не более 13 мин.

Таблица 2. Норматив времени приемки локомотива и опробования автотормозов с применением технологии параллельности операций

Table 2. Time standard for locomotive acceptance and testing of automatic brakes using parallel operations technology

№ п/п	Элементы затрат рабочего времени Elements of labor time costs	Время, мин
1	Осмотр ходовой части локомотива принимающим машинистом локомотива Inspection of the locomotive chassis by the receiving locomotive engineer	5,0
2	Осмотр машинного отделения (проверка наличия инвентаря строгого учета, состояния внутреннего оборудования) Inspection of the engine room (check for the presence of strictly controlled inventory, condition of in-body equipment)	3,0
3	Снятие/установка модуля памяти (скоростемерной ленты). Дача команды «помощник/машинист» на продувку тормозной магистрали Removing/installing the memory module (speed measuring tape). Giving the command «assistant/driver» to purge the brake line	1,0
4	Заполнение/ознакомление с записями в журнале ТУ-152 Filling in/familiarization with entries in the TU-152 log	2,0
5	Проверка наличия инструмента на локомотиве, регистрация показателей счетчиков электроэнергии (снятие показаний дизельного топлива) принимающим помощником машиниста Checking the availability of tools on the locomotive, recording the readings of electricity meters (taking diesel fuel readings) by the receiving assistant driver	9,0
6	Продувка тормозной магистрали помощником машиниста локомотива принимающей локомотивной бригады Purging the brake line by the assistant locomotive driver of the receiving locomotive crew	1,0
7	Осмотр механической части локомотива, автосцепного и песочного оборудования, концевых кранов принимающим помощником машиниста/машинистом Inspection of the mechanical part of the locomotive, automatic coupling and sand equipment, end cranes by receiving assistant driver/driver	8,0

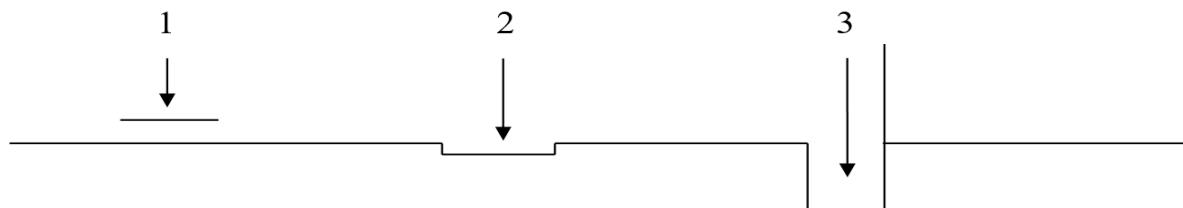


Схема выполнения операций сокращенного опробования тормозов в транзитных поездах:

1 – замер плотности тормозной магистрали в составе поезда (2 мин); 2 – проведение проверки целостности тормозной магистрали (3 мин); 3 – проверка действия тормозов двух хвостовых вагонов на торможение и отпуск путем снижения давления в уравнительном резервуаре локомотива на величину 0,6–0,7 кгс/см² от зарядного давления (6 мин)

The scheme of performing operations of reduced brake testing in transit trains:

1 – measuring the density of the brake line in a train (2 min); 2 – conducting a check of the integrity of the brake line (3 min); 3 – checking the action of the brakes of the two tail cars for braking and release by reducing the pressure in the locomotive's equalizing tank by 0,6–0,7 kgf/cm² from the charging pressure (6 min)

Общее время, затрачиваемое на операции по проведению сокращенного опробования тормозов и выполнение регламента переговоров «Минута готовности», не более 15 мин (рис.). Общее время, затрачиваемое от прибытия поезда до его отправления – не более 25 мин.

После проведения сокращенного опробования автотормозов грузового поезда осмотрщик вагонов делает отметку в справке об обеспечении поезда тормозами и исправном их действии и докладывает оператору пункта техни-

ческого обслуживания (ПТО) о готовности поезда к отправлению. Оператор ПТО сообщает эту информацию ДСП.

После внедрения мероприятия была зарегистрирована новая норма на приемку локомотива и сокращенного опробования автотормозов в грузовых транзитных поездах для маршрута Вихоревка – Коршуниха – Лена на станционных путях (четный парк) (табл. 3) [18, 19].

Таблица 3. Нормы времени на приемку локомотива с применением технологии параллельности операций при сокращенном опробовании тормозов для маршрута Вихоревка – Коршуниха – Лена

Table 3. Time standards for acceptance of a locomotive using parallel operations technology during reduced brake testing for the Vikhorevka – Korshunikha – Lena route

№ п/п	Элементы затрат рабочего времени Elements of labor time costs	Вре- мя, мин Time, min
	От явки до начала приемки From appearance to the beginning of the acceptance	
1	Проверка документов у работников локомотивных бригад дежурным по эксплуатационному локомотивному депо, получение электронного носителя информации регистрирующих устройств, письменного предупреждения об ограничении скорости, документов ДУ-61, носимой части телемеханической системы контроля бодрствования машиниста, необходимых указаний и ключей от локомотива в начале смены Checking documents of locomotive crew workers by the duty officer at the operational locomotive depot, receiving an electronic data carrier of recording devices, a written warning about the speed limit, DU-61 documents, a portable part of the telemechanical system for monitoring the driver's wakefulness, necessary instructions and keys to the locomotive at the beginning of the shift	1,2
2	Регистрация времени явки на работу в электронном терминале самообслуживания с подтверждением регистрации электронной подписью работника Registration of time of arrival at work in an electronic self-service terminal with confirmation of registration by the employee's electronic signature	1,8
3	Прохождение предрейсового или предсменного медицинского осмотра с отметкой о допуске в системе автоматизированного предрейсового осмотра, автоматизированной системе управления, в маршруте машиниста на бумажном носителе	5,0

	Passing a pre-trip or pre-shift medical examination with a mark of admission in the automated pre-trip inspection system, automated control system, in the driver's route on paper	
4	Предрейсовый инструктаж, ознакомление с приказами, указаниями перед поездкой с росписью в журнале установленной формы или с подтверждением прохождения на электронном терминале самообслуживания электронной подписью работника Pre-trip briefing, familiarization with orders and instructions before the trip with a signature in the journal of the established form or with confirmation of completion on the electronic self-service terminal with the employee's electronic signature	5,0
5	Проход к месту приемки локомотива (1 750 м) Access to the locomotive acceptance site (1 750 m)	21,0
Итого: Total		34,0
<i>От начала приемки до отправления:</i> <i>From the beginning of acceptance to dispatch:</i>		
6	Приемка локомотива: ВЛ 80 (всех индексов), 2ЭС5К ВЛ 80 (три секции), 3ЭС5К ВЛ 85 4-х секционный локомотив	Acceptance of the locomotive: VL 80 (all indices), 2ES5K VL 80 (three sections), 3ES5K VL 85 4-section locomotive
7	Установка модуля памяти унифицированной системы автоматизированного ведения поездов, КЛУБ-У, комплекса средств сбора и регистрации данных, flesh- накопителей регистратора переговоров РПЛ-2М Installation of a memory module of the unified automated train management system, KLUB-U, a set of data collection and recording devices, flash drives of the RPL-2M conversation recorder	8,0 13,0 13,0 16,0
8	Проверка действия и осмотр устройств локомотивной сигнализации, автостопа, электронных приборов безопасности Checking the operation and inspection of locomotive signaling devices, auto stop, electronic safety devices	1,0
9	Ввод исходных данных в устройства безопасности унифицированной системы автоматизированного ведения поездов, КЛУБ-У, комплекса средств сбора и регистрации данных, Flesh- накопителей регистратора переговоров РПЛ-2М Input of initial data into the safety devices of the unified automated train control system, KLUB-U, a set of data collection and recording devices, flash-storage devices of the RPL-2M conversation recorder	1,5 3,0
<i>Сокращенное опробование тормозов</i> <i>Short brake test</i>		
10	Проверка машинистом соответствия плотности тормозной магистрали Checking the brake line for proper tightness by the driver	5,0
11	Осмотр механической части локомотива, автосцепного и песочного оборудования, концевых кранов принимающим помощником машиниста Inspection of the mechanical part of the locomotive, automatic coupling and sand equipment, end cranes by the receiving assistant driver	8,0
12	Проверка машинистом целостности тормозной магистрали Checking the integrity of the brake line by the driver	2,0
13	Проверка машинистом действия тормозов Checking the brake operation by the driver	1,0
14	Получение машинистом справки об обеспечении поезда тормозами и исправном их действии формы ВУ-45 и ее проверка Obtaining a certificate on the provision of the train with brakes and their proper operation by the driver, form VU-45, and checking it	2,0
15	Регламент минутной готовности перед отправлением поезда Regulations for one-minute readiness before train departure	1,0
Итого: ВЛ 80 (всех индексов), 2ЭС5К ВЛ 80 (три секции), 3ЭС5К	Total: VL 80 (all indices), 2ES5K VL 80 (three sections), 3ES5K	24,5 29,5 29,5

ВЛ 85 4-х секционный локомотив	VL 85 4-section locomotive	32,5
Всего от явики до отправления	Total from arrival to departure	
ВЛ 80 (всех индексов), 2ЭС5К	VL 80 (all indices), 2ES5K	58,5
ВЛ 80 (три секции), 3ЭС5К	VL 80 (three sections), 3ES5K	63,5
ВЛ 85	VL 85	63,5
4-х секционный локомотив	4-section locomotive	66,5

Экономическая целесообразность Внедрения параллельности операций при сокращенной пробе автотормозов

В изначально действующей норме операции 10–16 (см. табл. 3) занимали 19 мин. После внедрения параллельности операций при сокращенной пробе тормозов данное время сократилось на 8 мин и составило 11 мин.

Сокращенная проба тормозов была также рассмотрена в грузовых транзитных поездах для маршрута Вихоревка – Коршуниха – Лена на станционных путях (нечетный парк). Отличия от соответствующих норм для четного парка составляют: п. 5 (см. табл. 3) – проход к месту приемки локомотива в данном случае составит 750 м и займет 9 мин; после п. 15 необходимо произвести уборку устройства упора и изъятие тормозных башмаков, что занимает 6 мин. Нормы времени для сокращенного опробования тормозов идентичны. Таким образом, при внедрении параллельности операций при сокращенной пробе тормозов при приемке локомотива экономия во времени составила 15 мин (9 + 6 мин).

Для оценки экономической целесообразности необходимо вычислить экономический эффект от внедренных изменений. Исходные данные, необходимые для расчета экономиче-

ского эффекта, приведены в табл. 4. и представлены локомотивным депо ст. Вихоревка.

Алгоритм расчета экономического эффекта:

1. Определим экономию времени в часах, для этого 15 мин разделим на 60: $15/60 = 0,25$ ч.

2. Полученную экономию в часах необходимо умножить на количество поездов в сутки, проходящих по маршруту Вихоревка – Коршуниха – Лена. Для этого обратимся к автоматизированной системе ведения и анализа графика исполненного движения «ГИД «Урал-ВНИИЖТ». Автоматизация данной системы повышает эффективность работы диспетчерского аппарата и обеспечивает рост уровня управления перевозочным процессом, что важно в совершенствовании организации производства.

Согласно данной системе, по маршруту Вихоревка – Коршуниха – Лена ежесуточно проходит 20 пар поездов или 40 транзитных поездов, приходящихся как на четный, так и на нечетный парк: $40 \times 0,25 = 10$ бригадо-ч.

3. Так как локомотив при приемке обслуживается бригадой, состоящей из машиниста и его помощника, то полученное значение необходимо умножить на два. В результате вычислений получим 20 чел.-ч.

Таблица 4. Исходные данные для расчета экономического эффекта

Table 4. Initial data for calculating the economic effect

Показатель Indicator	Значение Meaning
Количество пар поездов в сутки, шт. Number of train pairs per day, pcs.	20
Фонд оплаты труда рабочих, тыс. р. Workers' wage fund, thousand rubles	921 368,4
Среднегодовая численность рабочих, чел. Average annual number of workers, people	728
Отработано часов за год один рабочим Hours worked per year by one worker	1 617
Отработано часов рабочими за год Hours worked by workers per year	1 177 176
Стоимость одного часа работы, р. Cost of one hour work, RUR	782,7

Таблица 5. Изменение показателей деятельности депо от внедрения мероприятия
Table 5. Change in depot performance indicators from the implementation of the event

Показатель Indicator	До внедрения мероприятия Before the im- plementation of the event	После внедрения мероприятия After the imple- mentation of the event	Изменение, % Change, %	Абсолютное отклонение, р. Absolute deviation, RUR
Затраты на оплату труда, тыс. р. Labor costs, thousand rubles	864 034,1	858 320,4	99,4	5 713 710,0
Отчисления на социальные нужды, тыс. р. Social security contributions, thousand rubles	262 666,4	260 929,4	99,3	1 736 967,84
Среднемесячная заработка, р. Average monthly salary, RUR	105 468	104 857,5	99,4	610,5
Отработано часов рабочими за год, ч Hours worked by workers per year, h	1 177 176	1 170 362	99,4	6 813,3
Удельная трудоемкость на 1 млн т км бр., ч. Specific labor intensity per 1 million t km b., h.	47,6	47,3	99,4	0,3
Среднечасовая выработка, тыс. р. Average hourly output, thousand rubles	21,0	21,1	100,6	0,1

4. Определяем стоимость одного часа работы путем деления годового фонда оплаты труда на общее количество отработанных часов за год (см. табл. 4).

5. Рассчитаем экономию в затратах на оплату труда локомотивных бригад:

$$20 \times 365 \times 782,7 = 5 713 710 \text{ р.} [20].$$

6. Определяем экономию в отчислениях на социальные нужды. Для этого найдем 30,4 % от полученного годового экономического эффекта:

$$5 713 710 \times 0,304 = 1 736 967,84 \text{ р.} [21]$$

7. Рассчитываем годовой экономический эффект (Ээ):

$$\text{Ээ} = 5 713 710 + 1 736 967,84 = 7 450 677,84 \text{ р.}$$

Для получения экономического эффекта в чел.-ч (Ээч) необходимо полученные человеко-часы экономии умножить на количество дней в году:

$$\text{Ээч} = 20 \times 365 = 7 300 \text{ чел.-ч.}$$

Таким образом, применение параллельности операций при сокращенном опробовании тормозов по приемке локомотива на станционных путях четного и нечетного парков маршрута Вихоревка – Коршуниха – Лена целесообразно, поскольку экономический эффект составит 7 450 677,84 р. или 7 300 чел.-ч.

Изменения показателей деятельности депо ст. Вихоревка от внедрения параллельности

операций при сокращенном опробовании автотормозов представлены в табл. 5.

Заключение

Внедрение параллельности операций при сокращенном опробовании автотормозов позволит улучшить выполнение качественных показателей работы эксплуатационного локомотивного депо Вихоревка. За счет снижения трудоемкости работы увеличится объем выполненной работы в депо, что, в свою очередь, приведет к повышению среднесуточной производительности локомотива. Также, благодаря снижению времени на приемку локомотива, сократится оборот локомотива, уменьшится время простоев локомотивов на станциях и в пунктах смены локомотивных бригад за счет снижения времени простоя на промежуточных станциях, увеличится техническая и участковая скорости. Кроме того, внедрение данного мероприятия позволит увеличить пропускную способность, что сделает железнодорожный транспорт более конкурентоспособным на мировом рынке [22], а также повысить качество использования локомотивов и локомотивных бригад за счет рационализации рабочего времени [23, 24].

Список литературы

1. Бубнова Г.В. Новые информационные технологии стратегического планирования работы железнодорожного транспорта // ЦНИИТЭИ. 2000. № 3. С. 18–32.
2. Воротилкин А.В. Локомотивный комплекс в новых условиях // Железнодорожный транспорт. 2014. № 2. С. 40–43.
3. Мунина М.В. Нормирование труда на предприятии и его возрастающая роль в современных условиях // Проблемы современной науки. 2013. № 8-1. С. 184–191.

4. Омельченко И.Б. Влияние нормирования труда на рост его производительности // Социально-трудовые исследования. 2019. № 1 (34) С. 31–43.
5. Крушинская О.И. Регламентация и нормирование труда на предприятиях железнодорожного транспорта в структурных подразделениях филиалов ОАО «РЖД» // Экономика и предпринимательство. 2022. № 12 (149). С. 1454–1457.
6. Организация производства на железнодорожном транспорте / под ред. В.Н. Никитина и Л.В. Шкуриной. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2021. 368 с.
7. Организация, нормирование и оплата труда на железнодорожном транспорте / С.Ю. Саратов, Л.В. Шкурина, В.А. Сарин и др. М. : УМЦ по образованию на ж.-д. трансп., 2015. 359 с.
8. Шаров В.А., Вавилов Н.Е. Тенденции развития системы управления железнодорожными перевозками с учетом полигонных технологий // Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность : сб. материалов I нац. науч.-практ. конф. М., 2018. С. 222–225.
9. Об утверждении положения о системе нормирования труда в ОАО «РЖД»: распоряжение ОАО «РЖД» от 15.01.2024 № 64/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
10. Нормирование труда: что это такое и почему особенно интересно бизнесу сегодня // ЦБНТ : сайт. URL : https://cbnt.ru/analytics/normirovaniye_truda/2015/20 (Дата обращения 14.11.2024).
11. Сирина Н.Ф., Юшкова С.С. Интегративное управление инфраструктурой и тяговыми ресурсами на полигоне железных дорог // Вестн. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. 2019. Т. 78. № 6. С. 328–339.
12. Григорьева Н.Н., Криворотов А.А. Инфраструктура Восточного полигона: реальность и перспективы // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке : тр. Всерос. науч.-практ. конф. 2022. Т. 1. С. 330–334.
13. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества, протокол от 6-7 мая 2014 г. № 60 (в ред. 81-го заседания Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 5-6 ноября 2024). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
14. Протокол шестьдесят третьего заседания Совета по железнодорожному транспорту государств - участников Содружества : утв. в г. Ташкенте 04 - 05.11.2015. Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс в локал. сети.
15. Grigoryeva N.N. Railway transport management system transformation in passing to polygon technologies // VIII International Scientific Conference Transport of Siberia-2020. Novosibirsk, 2020. Vol. 918. P. 012194. DOI 10.1088/1757-899X/918/1/012194.
16. Технология информирования о возникновении неисправностей локомотивов в эксплуатации и реагирования по устранению неисправностей : распоряжение Вост.-Сиб. железной дороги от 22.12.2018 г. № ВСЖД-1211/р.
17. Об утверждении технологической инструкции «Техническое обслуживание электровозов и тепловозов в эксплуатации» : распоряжение ОАО «РЖД» от 01.04.2014 № 814р (ред. 23.07.2018). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
18. О повышении эффективности организации использования тяговых ресурсов на Восточно-Сибирской железной дороге : распоряжение Вост.-Сиб. железной дороги от 19.11.2021 № 1087р.
19. Об утверждении Методических указаний по проектированию нормативных затрат подготовительно-заключительного, вспомогательного времени и времени на оборот по участкам обслуживания локомотивных бригад ОАО «РЖД» : распоряжение ОАО «РЖД» от 21.06.2019 № 1255/р. Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
20. Крушинская О.И. Взаимосвязь производительности труда и оплаты труда // Экономика и предпринимательство. 2023. № 3 (152). С. 1157–1160.
21. Ефимова Н.П., Моцрецова О.И. Теоретические посылки возникновения программно-целевого управления расходами бюджета в России // Экономика и предпринимательство. 2015. № 12-4 (65). С. 810–818.
22. Григорьева Н.Н., Мышиков Д.С. Тренды и перспективы развития на рынке железнодорожных перевозок // Молодая наука Сибири. 2021. № 4 (14). С. 23–27. URL: <https://ojs.irkups.ru/index.php/mns/article/view/336/218> (Дата обращения 18.02.2025).
23. Ребров С.А., Рогозинская А.Л., Григорьева Н.Н. Анализ факторов нерационального использования рабочего времени локомотивных бригад при полигонных условиях работы // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : сб. науч. ст. X Междунар. науч. конф. Казань, 2021. Ч. 2. С. 107–111.
24. Бурцева М.Н., Бардовский В.П., Захаркина Н.В. Рациональная организация труда и управления как фактор повышения эффективности деятельности предприятия // Фундаментальные исследования. 2016. № 8-2. С. 310–314.

References

1. Bubnova G.V. Novye informatsionnye tekhnologii strategicheskogo planirovaniya raboty zheleznodorozhnoi transporta [New information technologies of strategic planning of railway transport operation]. *TsNIITEI* [Central Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Researches], 2000, no 3, pp. 18–32.
2. Vorotilkin A.V. Lokomotivnyi kompleks v novykh usloviyakh [Locomotive complex in new conditions]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2014, no 2, pp. 40–43.
3. Munina M.V. Normirovaniye truda na predpriyatiu i ego vozrastayushchaya rol' v sovremennykh usloviyakh [Rationing of labor at the enterprise and its increasing role in modern conditions]. *Problemy sovremennoi nauki* [Problems of modern science], 2013, no 8-1, pp. 184–191.
4. Omel'chenko I.B. Vliyanie normirovaniya truda na rost ego proizvoditel'nosti [The impact of labor rationing on the growth of its productivity]. *Sotsial'no-trudovye issledovaniya* [Social and Labor Researches], 2019, no 1 (34), pp. 31–43.
5. Krushinskaya O.I. Reglamentatsiya i normirovaniye truda na predpriyatiyakh zheleznodorozhnoi transporta v strukturnykh podrazdeleniyakh filialov OAO «RZhD» [Regulation and rationing of labor at railway transport enterprises in

structural subdivisions of branches of JSC «Russian Railways»]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2022, no 12 (149), pp. 1454–1457.

6. Nikitina V.N., Shkurina L.V. Organization of production in railway transport / Moscow: RUT (MIIT), 2021 - P.368
7. Saratov S.Yu., Shkurina L.V. Sarin V.A., Semerova T.G., Suetina L.M., Belkin M.V., Struchkova E.V. *Organizatsiya, normirovaniye i oplata truda na zheleznodorozhnom transporte* [Organization, rationing and remuneration of labor in railway transport]. Moscow: UMTs ZdT Publ., 2015. 359 p.
8. Sharov V.A., Vavilov N.E. Tendentsii razvitiya sistemy upravleniya zheleznodorozhnymi perevozками s uchetom poligonnykh tekhnologii [Trends in the development of the railway transportation management system, taking into account polygon technologies]. *Sbornik materialov I Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii upravleniya transportnym kompleksom Rossii: innovatsii, effektivnost', rezul'tativnost'* [Proceedings of the I National Scientific and Practical Conference «Modern technologies for managing the transport complex of Russia: innovations, efficiency, effectiveness】. Moscow, 2018, pp. 222–225.
9. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 15.01.2024 № 64/r «Ob utverzhdenii polozheniya o sisteme normirovaniya truda v OAO «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» dated January 15, 2024 no 64/r «On approval of the regulations on the labor rationing system in JSC «Russian Railways»].
10. Normirovaniye truda: chto eto takoe i pochemu osobenno interesno biznesu segodnya (elektronnyi resurs) [Labor rationing: what it is and why it is especially interesting for business today (electronic resource)]. Available at: https://cbnt.ru/analytics/normirovaniye_truda/2015/20 (Accessed November 14, 2024).
11. Sirina, N.F., Yushkova S.S. Integrativnoe upravlenie infrastrukturoi i tyagovymi resursami na poligone zheleznnykh dorog [Integrative management of infrastructure and traction resources at the railway landfill]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport], 2019, Vol. 78, no 6, pp. 328–339.
12. Grigor'eva N.N., Krivorotov A.A. Infrastruktura Vostochnogo poligona: real'nost' i perspektivy [Infrastructure of the Eastern polygon: reality and prospects]. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke* [Scientific, technical and economic cooperation of the Asia-Pacific countries in the XXI century], 2022, Vol. 1, pp. 330–334.
13. Pravila tekhnicheskogo obsluzhivaniya tormoznogo oborudovaniya i upravleniya tormozami zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: utv. Sovetom po zheleznodorozhnому transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva, protokol ot 6-7 maya 2014 g. № 60 (v red. 81-go zasedaniya Soveta po zheleznodorozhnому transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva ot 5-6 noyabrya 2024) [Rules for the maintenance of braking equipment and brake control of railway rolling stock : approved by By the Council on Railway Transport of the Commonwealth Member States, Protocol No 60 dated May 6-7, 2014 (as amended by the 81st Meeting of the Council on Railway Transport of the Commonwealth Member States dated November 5-6, 2024)].
14. Protokol shest'desyat tret'ego zasedaniya Soveta po zheleznodorozhnому transportu gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva 4-5.11 2015 g. [Minutes of the sixty-third meeting of the Council on Railway Transport of the Commonwealth Member States on November 4-5, 2015].
15. Grigor'eva N.N. Railway transport management system transformation in passing to polygon technologies // VIII International Scientific Conference Transport of Siberia-2020. Novosibirsk, 2020. Vol. 918. P. 012194. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012194.
16. Rasporyazhenie Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi ot 22.12.2018 g. № VSZhD-1211/r «Tekhnologiya informirovaniya o vozniknovenii neispravnosti lokomotivov v ekspluatatsii i reagirovaniya po ustraneniyu neispravnosti» [Order of the East Siberian Railway dated December 22, 2018 no VSZhD-1211/r «Technology for informing about the occurrence of malfunctions of locomotives in operation and responding to the elimination of malfunctions»].
17. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 01.04.2014 № 814r «Ob utverzhdenii tekhnologicheskoi instruktsii «Tekhnicheskoe obsluzhivanie elektrovozov i teplovozov v ekspluatatsii» (red. 23.07.2018) [Order of JSC «Russian Railways» dated April 1, 2014 no 814r «On approval of the technological instruction «Maintenance of electric locomotives and diesel locomotives in operation» (ed. July 23, 2018)»].
18. Rasporyazhenie Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi ot 19.11.2021 № 1087r «O povyshenii effektivnosti organizatsii ispol'zovaniya tyagovykh resursov na Vostochno-Sibirskoi zheleznoi doroge» [Order of the East Siberian Railway dated November 19, 2021 no 1087r «On improving the efficiency of the organization of the use of traction resources on the East Siberian Railway»].
19. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 21.06.2019 № 1255/r «Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazanii po proektirovaniyu normativnykh zatrat podgotovitel'no-zaklyuchitel'nogo, vspomogatel'nogo vremeni i vremeni na oborot po uchastkam obsluzhivaniya lokomotivnykh brigad OAO «RZhD» [Order of JSC «Russian Railways» dated June 21, 2019 no 1255/r «On approval of Methodological guidelines for the design of standard costs of preparatory and final, auxiliary time and turnover time for maintenance sections of locomotive crews of JSC «Russian Railways»].
20. Krushinskaya O.I. Vzaimosvyaz' proizvoditel'nosti truda i oplaty truda [The relationship between labor productivity and wages]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2023, no 3 (152), pp. 1157–1160.
21. Efimova N.P., Mokretsova O.I. Teoreticheskie posylki vozniknoveniya programmno-tselevogo upravleniya raskhodami byudzheta v Rossii [Theoretical premises of the emergence of program-targeted budget expenditure management in Russia]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2015, no 12-4(65), pp. 810–818.
22. Grigor'eva N.N., Arsenakov D.S. Trendy i perspektivy razvitiya na rynke zheleznodorozhnykh perevozok [Trends and prospects of development in the railway transportation market]. *Molodaya nauka Sibiri* [The Young Science of Siberia], 2021, no 4 (14), pp. 23–27.
23. Rogozinskaya A.L., Rebrov S.A., Grigor'eva N.N. Analiz faktorov neratsional'nogo ispol'zovaniya rabochego vremeni lokomotivnykh brigad pri poligonnykh usloviyakh raboty [Analysis of factors of irrational use of working time of locomotive crews under landfill working conditions]. *Sbornik nauchnykh statei X Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Prioritetnye*

napravleniya innovatsionnoi deyatel'nosti v promyshlennosti» [Proceedings of the X International Scientific Conference «Priority areas of innovation in industry»]. Kazan', 2021, part 2, pp. 107–111.

24. Burtseva M.N., Bardovskii V.P., Zakharkina N.V. Ratsional'naya organizatsiya truda i upravleniya kak faktor povysheniya effektivnosti deyatel'nosti predpriyatiya [Rational organization of labor and management as a factor in increasing the efficiency of an enterprise]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Researches], 2016, no 8-2, pp. 310–314.

Информация об авторах

Григорьева Наталья Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления на железнодорожном транспорте, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: zolotkina@mail.ru.

Information about the authors

Natal'ya N. Grigor'eva, Ph.D. in Economic Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Management in Railway Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: zolotkina@mail.ru.

Модальный анализ и валидация модели остова тягового электродвигателя НБ-514Б электровоза 2(3)ЭС5К

О.В. Мельниченко, А.Ю. Портной, А.О. Линьков, А.В. Коновалов, С.А. Кахаев✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российской Федерации

✉vip.kakhaev@mail.ru

Резюме

В данной статье представлено моделирование колебаний оболочек с использованием в качестве примера остова тягового двигателя НБ-514 и цилиндрических резервуаров, а также проведена проверка на сходимость колебаний их физических объектов. Особое внимание уделено анализу сеточной сходимости и ее критическому влиянию на точность определения частоты основной моды колебаний. В ходе исследования было установлено, что для достижения удовлетворительной сходимости результатов моделирования необходимо обеспечить надежное закрепление объекта, а также следует применять сетку, шаг которой не превышает 3–5 толщин стенки оболочки. Соблюдение указанных условий позволяет значительно снизить погрешность моделирования частоты основной моды колебаний, достигая уровня около 10 % относительно экспериментальных данных. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность и широкую применимость метода конечных элементов для численного анализа сложных конструкций. Это также представляет собой важный шаг вперед на пути к созданию цифровых двойников изделий. Разработанная методика позволяет существенно сократить расходы на физическое тестирование и значительно улучшить прогнозирование характеристик оборудования. Работа развивает современные и инновационные подходы к исследованию, проектированию и повышению надежности электрооборудования электровозов, что делает ее особенно актуальной в сфере современного локомотивостроения, открывая новые перспективы для интеграции численного моделирования в практику проектирования и эксплуатации тягового подвижного состава.

Ключевые слова

тяговый двигатель НБ-514, собственные колебания, модальный анализ, метод конечных элементов, моделирование, построение модели

Для цитирования

Модальный анализ и валидация модели остова тягового электродвигателя НБ-514Б электровоза 2(3)ЭС5К / О.В. Мельниченко, А.Ю. Портной, А.О. Линьков, А.В. Коновалов, С.А. Кахаев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 101–114. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).101-114.

Информация о статье

поступила в редакцию: 30.01.2025 г.; поступила после рецензирования: 10.03.2025 г.; принята к публикации: 12.03.2025 г.

Благодарность

Исследование выполнено в рамках государственного задания по государственной работе «Проведение прикладных научных исследований» на тему «Разработка цифрового двойника колесно-моторного блока электровоза «Ермак» серии 2(3)ЭС5К» № 124060500020-4 от 5 июня 2024 г.

Modal analysis and validation of the traction motor frame model NB-514B of the 2(3)ES5K electric locomotive

О.В. Mel'nicenko, А.Ю. Portnoi, А.О. Lin'kov, А.В. Konovalov, С.А. Kakhaev✉

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉vip.kakhaev@mail.ru

Abstract

This study presents the numerical modeling of shell vibrations using the traction motor frame NB-514 and cylindrical tanks as reference objects. A convergence analysis of the modeled vibrations was performed by comparing them with physical experiments. Special attention is paid to the mesh convergence and its critical impact on the accuracy of determining the fundamental mode frequency. The study has shown that achieving satisfactory convergence of modeling results requires reliable boundary conditions and the use of a finite element mesh with a step size not exceeding 3–5 times the wall thickness of the shell. Compliance with these conditions significantly reduces the modeling error of the fundamental frequency, bringing it down to approximately 10 % relative to experimental data. The results confirm the high efficiency and broad applicability of the finite element method for the numerical analysis of complex structures. This also represents an important step toward the development of digital twins of engineering products. The proposed methodology significantly reduces the need for physical testing

and greatly improves the accuracy of equipment performance prediction. The work advances modern and innovative approaches to the study, design, and reliability improvement of locomotive electrical equipment, making it highly relevant for modern locomotive engineering and opening up new opportunities for integrating numerical simulation into the design and operational practices of traction rolling stock.

Keywords

traction motor NB-514, natural vibrations, modal analysis, finite element method, modelling, model building

For citation

Mel'nicenko O.V., Portnoi A.Yu., Lin'kov A.O., Konovalov A.V., Kakhaev S.A. Modal'nyi analiz i validatsiya modeli ostova tyagovogo elektrosvigatelya NB-514B elektrovoza 2(3)ES5K [Modal analysis and validation of the traction motor frame model NB-514B of the 2(3)ES5K electric locomotive]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. No. 1(85). Pp. 101–114. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).101-114.

Article Info

Received: January 30, 2025; Revised: March 10, 2025; Accepted: March 12, 2025.

Acknowledgements

The research was performed within the framework of the state assignment for the state work «Conducting applied scientific research» on the topic «Development of a digital twin of the wheel-motor unit of the Ermak electric locomotive of the 2(3) series ES5K» No 124060500020-4 dated June 5, 2024.

Введение

Совершенствование работы локомотивного комплекса тесно связано с реализацией Стратегии развития холдинга ОАО «РЖД» до 2030 г., основной целью которой является переход на новый уровень предоставления услуг в области организации железнодорожных перевозок как грузов, так и пассажиров [1]. В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2021 г. № 1100-р были утвержден паспорт инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с целью повышения пропускных и провозных возможностей (второй этап)» [2]. Целевым показателем данного проекта является увеличение пропускной способности указанных магистралей, до 180 млн т в год. В частности, в 2023 г. – до 173 млн т, затем в 2024 г. – до 180 млн т, а к 2030 г. планируется достижение показателя 210 млн т в год.

Современные требования к надежности и безопасности конструкций в области локомотивостроения подчеркивают актуальность моделирования динамических характеристик различных элементов тягового подвижного состава (ТПС).

В рамках четвертой промышленной революции, отмечаящейся значительным скачком в цифровизации, внедрение новых технологий становится необходимым для повышения эффективности и безопасности эксплуатации транспортных средств. Одним из ключевых

трендов процесса является использование цифровых двойников. Они представляют собой виртуальные модели реальных объектов, которые позволяют не только мониторить, но и прогнозировать их поведение в различных условиях эксплуатации, остаточный ресурс и потенциальные отказы [3]. Это создаст основу для перехода к проактивным стратегиям управления состоянием ТПС, что особенно важно в условиях роста требований к надежности, минимизации количества отказов оборудования ТПС и выполнения целевых показателей.

Актуальность

Дефекты тягового двигателя являются одной из причин постановки локомотива на внеплановый ремонт, что влечет за собой значительные экономические потери. Около трети двигателей, поступающих в ремонт, имеют трещины остова в межоконном пространстве, что подтверждается анализом статистических данных по внеплановому ремонту с выявлением причин отказов тяговых электродвигателей (ТЭД) электровоза серии 2(3)ЭС5К [4–10]. Длительный простой локомотива на внеплановом ремонте по указанной причине приводит к увеличению эксплуатируемого парка.

Исследование причин и механизмов образования трещин, а также разработка инновационных технологий для их предотвращения становится актуальной задачей как для научного сообщества, так и для современного отечественного локомотивостроения.

Новизна исследования заключается в разработке и практической реализации метода валидации упрощенной модели остова тягового электродвигателя на основе сопоставления модального анализа и результатов физических испытаний. Работа демонстрирует допустимость применения тонкостенных оболочечных моделей в инженерной практике с допустимой сходимостью на уровне 10 % по частоте основной моды.

Целью работы является проведение валидации математической модели остова тягового электродвигателя НБ-514Б методами модального анализа и конечных элементов.

Для исследования математической модели используется метод конечных элементов (МКЭ), конечно-элементный анализ, представляющий собой численный метод приближенного решения краевых (граничных) задач, имеющих место в технике и математической физике [11–14].

МКЭ широко применяется сегодня при моделировании внутренних процессов, включающих процессы как механических нагрузок, так и колебаний. Этот метод позволяет детально анализировать поведение конструкций под воздействием различных внешних факторов и физических процессов, возникающих в реальных условиях эксплуатации. В сочетании с современными вычислительными мощностями и программным обеспечением, МКЭ открывает возможности для оптимизации конструкций, увеличивая их работоспособность, надежность и долговечность.

Моделирование проводилось в программной среде «Логос». Для дискретизации трехмерного пространства могут использоваться различные типы конечных элементов, наиболее простым из которых является четырехузловой тетраэдрический элемент [15–17]. Для оценки сходимости моделирования по частоте при моделировании колебаний использовалась тетраэдричная сетка с изменяемым шагом.

Исследование сеточной сходимости при расчете собственных колебаний объекта определяет сходимость результатов, которая значительно зависит как от размеров ячеек сетки, так и от ее типа и шага. Выбор оптимального шага сетки важен для достижения достоверных данных, при этом необходимо избегать чрезмерной нагрузки на вычислительные ресурсы. Уменьшение шага сетки значительно увеличивает требования к аппаратным ресурсам компьюте-

ра, используемого в процессе моделирования, что также требует оценки необходимости дальнейшего уменьшения сетки.

Закрепление объекта математической модели в пространстве выполнено с помощью функции «Constraints» (ограничения). Эта функция позволяет установить фиксированные точки или границы, которые не подвержены перемещению, что обеспечивает стабильность и надежность результатов моделирования. При анализе собственных колебаний важно учитывать, что колебательные процессы в различных системах зависят от условий, в которых они функционируют. При использовании функции «Constraints» задаются жесткие связи для определенных узлов или элементов модели, фиксируя их в заданных координатах.

Остов ТЭД НБ-514Б и его модификации электровозов 2,3ЭС5К [18] и ВЛ85 [19] имеет достаточно сложную конфигурацию с отверстиями нестандартной формы, что затрудняет аналитическое описание, поскольку обычно не существует точного аналитического решения, описывающего колебания такого объекта. Поэтому принято решение для исследования упростить остов ТЭД и представить его в виде тонкой оболочки с сохранением его геометрической формы и размеров.

Критериями корректности моделирования колебаний могут служить совпадения собственных частот колебаний исследуемого объекта с применением модального способа [3].

Исследование сходимости математической модели и экспериментальных данных

Модальные испытания представляют собой процесс экспериментального определения параметров динамического поведения конструкции: частот собственных колебаний, коэффициентов демпфирования и форм колебаний [17]. Каждая конструкция обладает набором таких устойчивых форм колебаний (мод), которые определяют ее динамическое поведение. Задача модальных испытаний – найти этот набор мод, который адекватно описывает динамику конструкции.

Основной принцип получения модальных параметров: любая вынужденная динамическая деформация конструкции может быть представлена в виде взвешенной суммы мод, где каждая мода может быть представлена в виде модели системы с одной степенью свободы. Уравнения

движения системы со многими степенями свободы, записанные в матричной форме уравнений равновесия, имеют вид:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P\}, \quad (1)$$

где $[M]$ – матрица масс конструкции; $[C]$ – матрица демпфирования; $[K]$ – матрица жесткости; $\{P\}$ – известный вектор внешней нагрузки, зависящий от времени; $\{u\}$ – неизвестный вектор перемещений узлов конечно-элементной модели, зависящий от времени [14, 16].

Математическая система (1) представляет собой систему линейных дифференциальных уравнений второго порядка. В момент времени $t = 0$ определены начальные условия – $\{u_0\}$ и $\{\dot{u}_0\}$. Векторы ускорений и скоростей – $\{\ddot{u}\}$ и $\{\dot{u}\}$ – вычисляются в процессе численного интегрирования системы вместе с вектором $\{u\}$.

При изменении модуля упругости материала собственные частоты будут другими, а собственные формы колебаний останутся теми же. Если изменить граничные условия, то изменятся и частоты, и формы колебаний.

Дифференциальное уравнение колебаний в матричном виде без учета затухания записывается как

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0. \quad (2)$$

Решение уравнения (2), соответствующее собственной форме колебаний $\{\phi\}$, может быть записано в форме:

$$\{u\} = \{\phi\} \cdot \sin \omega(t - t_0), \quad (3)$$

где $\{\phi\}$ – вектор порядка n ; t_0 – начальная фаза; ω – угловая частота колебаний.

Подставляя (3) в (2) получим нелинейное уравнение общей проблемы собственных значений:

$$([K] - \omega^2[M]\{\phi\}) = 0, \quad (4)$$

из решения которого может быть определена собственная форма $\{\phi\}$ и угловая частота ω .

Возможны два варианта решения (4):

1. $|[K] - \omega^2[M]\{\phi\}| \neq 0$. Тогда решением является $\{\phi\} = 0$, что не дает никакой полезной информации с физической точки зрения, поскольку представляет собой вариант отсутствия движения.

2. Определитель выражения в скобках равен нулю:

$$|[K] - \omega^2[M]\{\phi\}| = 0. \quad (5)$$

Уравнения (5) имеет n корней $\lambda_i = \omega_i^2$.

Числа λ_i называются собственными значениями системы (4).

Нетривиальные решения $\{\phi\} \neq 0$ получаются из уравнений:

$$([K] - \lambda_i[M]\{\phi_i\}) = 0 \quad (i = 1, \dots, n). \quad (6)$$

При выполнении условия (5) по крайней мере одно из уравнений системы (6) является следствием остальных, поэтому каждому значению λ_i соответствует определенное соотношение между амплитудами ϕ_{ik} . Иными словами, все амплитуды вектора могут быть выражены через одну из них. Соотношения между амплитудами ϕ_{ik} определяют i -ю собственную форму колебаний. Итак, проблема собственных значений имеет n -собственных решений $(\omega_1^2, \{\phi_1\}), (\omega_2^2, \{\phi_2\}), \dots, (\omega_n^2, \{\phi_n\})$.

Из уравнения (3) следует, что все степени свободы в процессе колебания с собственной частотой ω_i совершают синхронное движение. Таким образом, конфигурация конструкции не изменяет своей базовой формы, а меняются только амплитуды.

Для конструкций, модели которых имеют несколько степеней свободы, кроме собственных частот, имеет смысл определения собственных форм колебаний. Собственные частоты конструкции – это частоты, с которыми конструкция стремится колебаться, если ее вывести из состояния покоя. Форма деформации конструкции при колебании с собственной частотой называется собственной формой, или нормальной модой, или модальной формой. Каждая собственная форма ассоциируется с определенной собственной частотой.

Проведение валидации созданной математической модели остова ТЭД НБ-514Б является сложной задачей. Для этого необходимо провести аналогичные испытания остова ТЭД на физической модели. Однако для того, чтобы подтвердить, что программная среда «Логос» способна производить расчеты с допустимой погрешностью, сопоставимой с результатами замеров на физической модели, авторами выполнено физическое моделирование частот собственных колебаний двух металлических цилиндров емкостью 60 и 20 л. Для измерения собственных частот применялся вычислительный комплекс фирмы «Мера», состоящий из крейта МС-036 [20] и измерительной платы МС-201, способной измерять сигнал. Частота дискретизации была выбрана 14,4 кГц. Также использовался трехкоординатный датчик вибрации АР2038-10 [21] фирмы «Глобалтест» и согласующее устройство AG01-B. Принцип действия

датчика основан на генерации электрического сигнала, пропорционального действующему ускорению. Крепление датчика на объекте осуществлялось с помощью изолирующего магнита АМ05. Полоса пропускания сигнала виброускорения при таком способе крепления оценивалась не менее 2,5 кГц, что вполне достаточно для дальнейшего описываемых результатов.

При проведении эксперимента для возбуждения конструкции использовались единичные удары, физически моделирующие дельта-функцию и имеющие математически «белый» спектр [22]. Удары производились обрезиненным молотком для исключения высокочастотного дребезга. Применение ударного молотка во время проведения испытаний приводило к импульсному возбуждению конструкции, при котором она начинает колебаться с затухающей во времени амплитудой. В этом случае спектр колебаний зависит только от места удара и возбуждаемых мод. Амплитудный спектр просто пропорционален силе удара. Далее аналогичные резервуары смоделированы в «Логос» для сравнения их собственных частот с результатами физического моделирования.

Геометрические размеры, места ударов и места закрепления при эксперименте и моделировании цилиндрических резервуаров объемом 60 и 20 л показаны на рис. 1 и 2. Заданные параметры материала цилиндрического резервуара

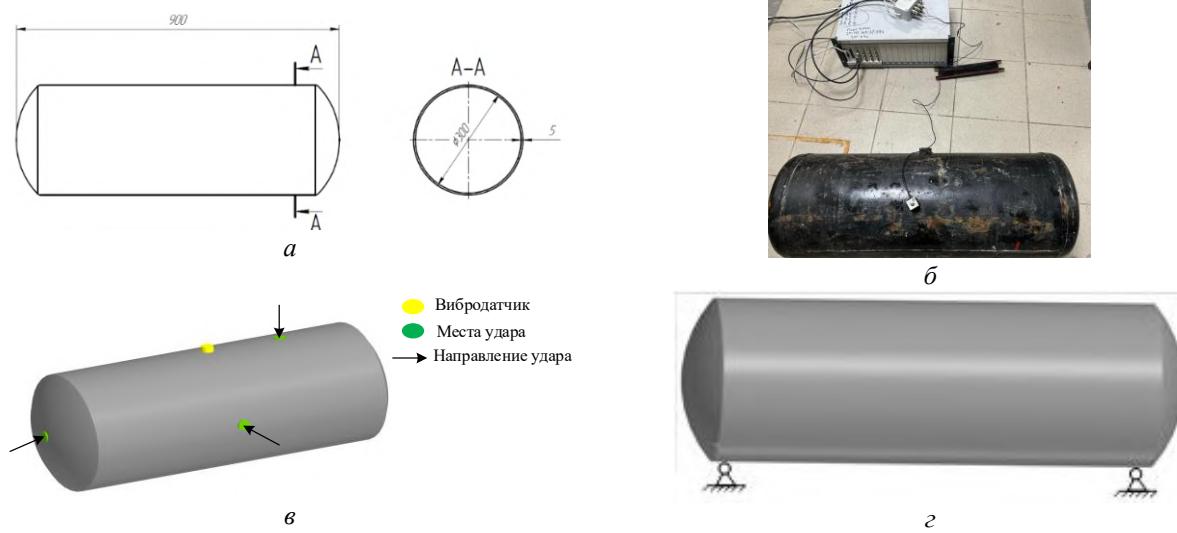


Рис. 1. Измерение собственных колебаний на цилиндрическом резервуаре объемом 60 л:
а – геометрические размеры; б – физическое моделирование; в – место удара при эксперименте;

г – место закрепления при моделировании и эксперименте

Fig. 1. Measurement of natural vibrations on a 60 L cylindrical tank:

а – geometrical dimensions; б – physical modelling; в – place of impact in the experiment;

г – place of fixation in the modelling and experiment

при моделировании представлены на рис. 3. Заданный анализ расчета для моделирования собственных колебаний представлен на рис. 4.

Спектр зафиксированных собственных колебаний после ударов по трем координатам приведен на рис. 6. Из него видно, что колебание первой моды в эксперименте имеет частоту 295 Гц.

Полученные моды колебаний цилиндрического резервуара при разных сетках представлены на рис. 5. Видно, что при уменьшении шага сетки вид колебаний не изменяется, а частота колебаний стремится к экспериментальной частоте первой гармоники, при этом ошибка определения частоты моды составила около 10 %. Расчет абсолютной погрешности производился по формуле (7):

$$\Delta A = A_x - A \quad (7)$$

где A_x – значения, полученные в ходе физического эксперимента; A – значения, полученные в ходе математического моделирования:

$$\Delta A = 325 - 295 = 30 \text{ Гц.}$$

Расчет относительной погрешности производился по формуле (8):

$$\delta_A = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\% ;$$

$$\delta_A = \frac{30}{325} \cdot 100\% = 9,2\% . \quad (8)$$

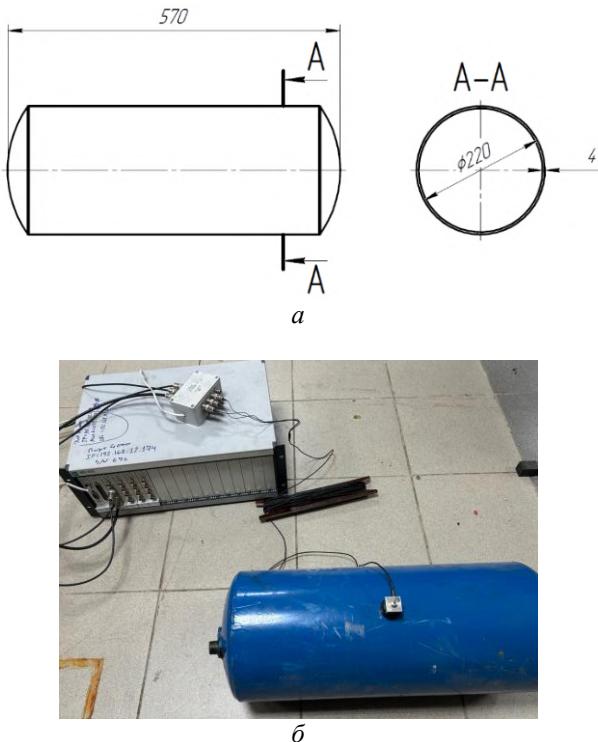


Рис. 2. Измерение собственных колебаний на цилиндрическом резервуаре объемом 20 л:

а – геометрические размеры; *б* – физическое моделирование

Fig. 2. Measurement of natural vibrations on a 20 L cylindrical tank:
a – geometrical dimensions; *б* – physical modelling

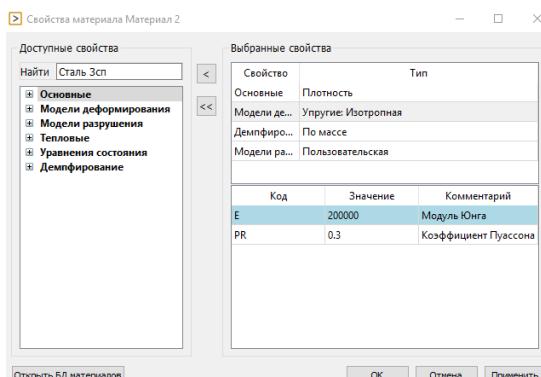


Рис. 3. Заданные параметры материала (сталь 3сп) цилиндрического резервуара

Fig. 3. Set material parameters of the cylindrical tank

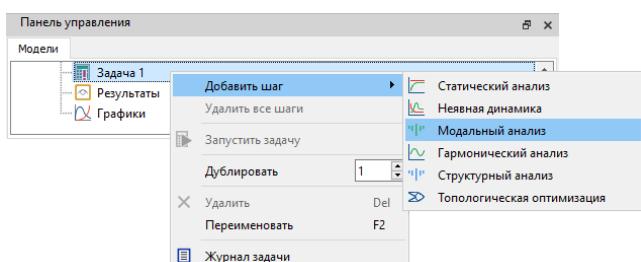
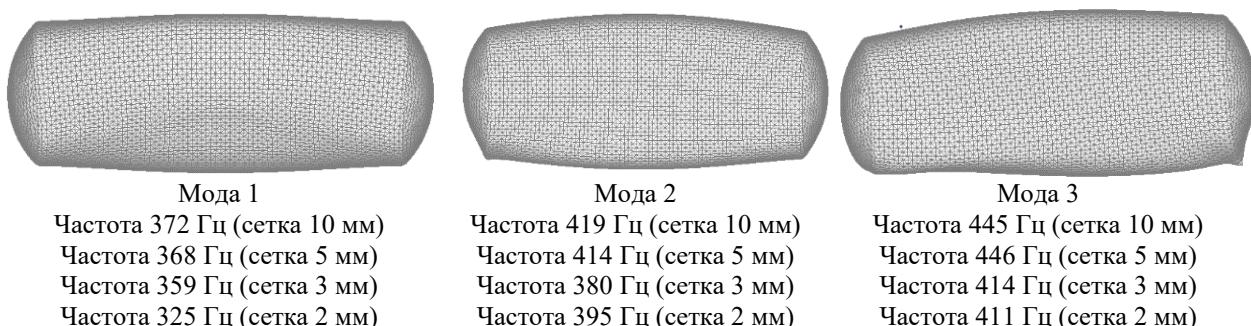


Рис. 4. Заданный анализ расчета цилиндрического резервуара для моделирования собственных колебаний

Fig. 4. Pre-defined analysis of 'cylindrical tank' calculation for modelling of natural vibrations



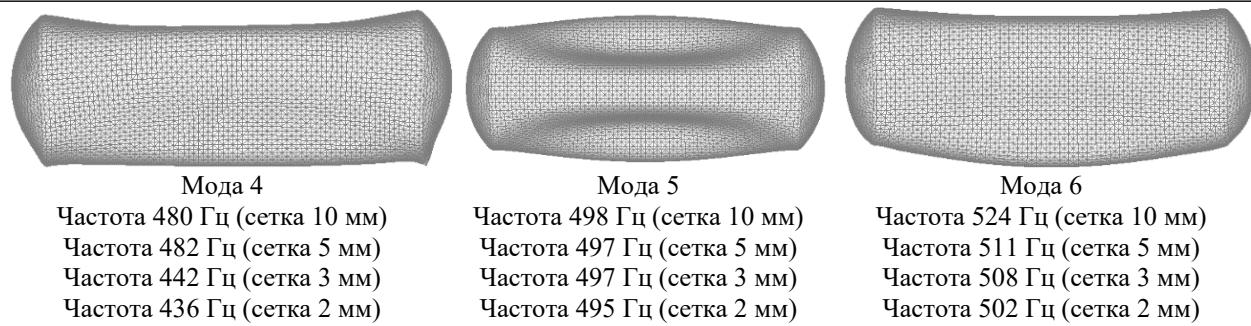


Рис. 5. Моды колебаний и их частоты для цилиндрического резервуара объемом 60 л при различных сетках
Fig. 5. Modes of vibrations and their frequencies for a cylindrical tank with a volume of 60 L with different grids

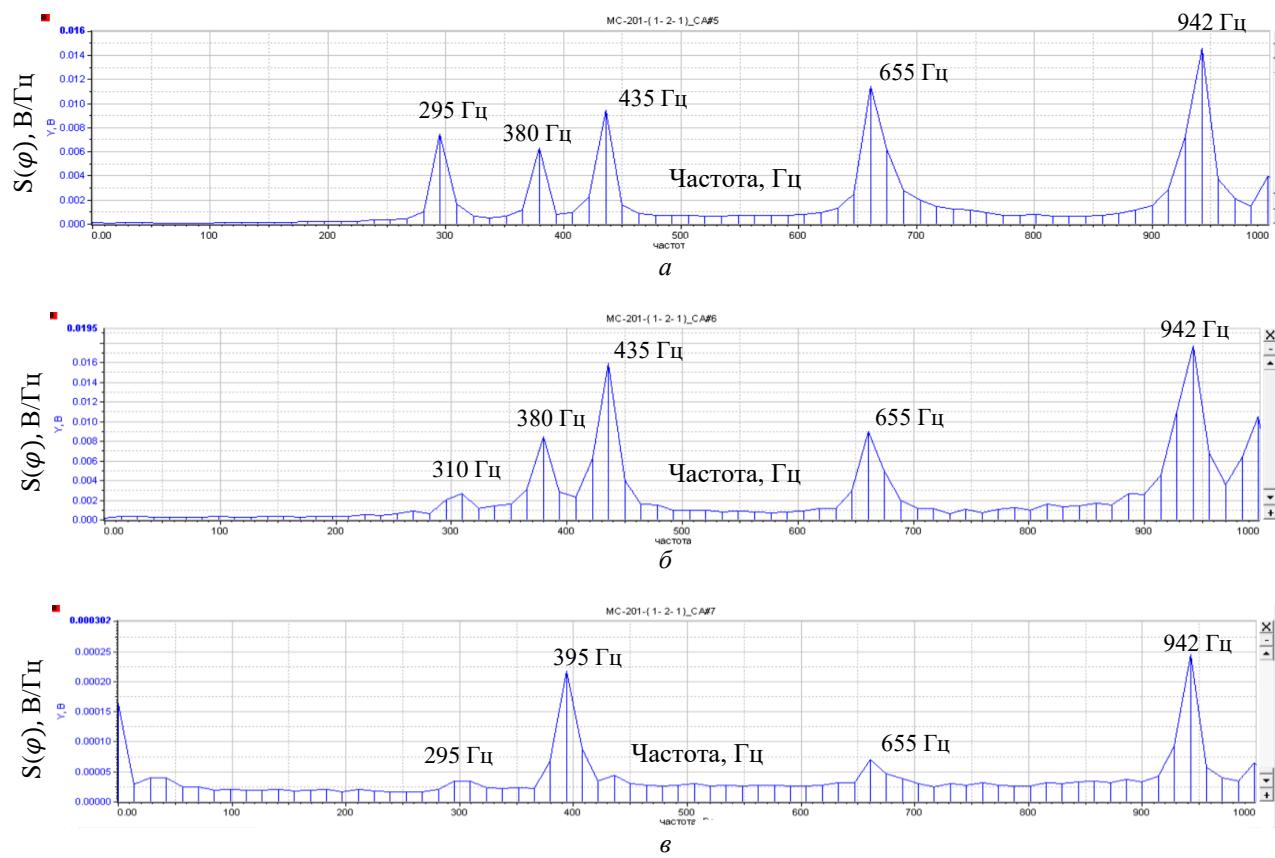


Рис. 6. Спектр собственных колебаний цилиндрического резервуара объемом 60 л, зафиксированный экспериментально:

a – удар сбоку; *б* – удар сверху; *в* – удар с торца

Fig. 6. The spectrum of natural vibrations of a cylindrical tank with a volume of 60 L, recorded experimentally:
a – side impact; *б* – top impact; *в* – end impact

Спектр зафиксированных собственных колебаний после ударов в результате эксперимента приведен на рис. 7. Видно, что колебание первой моды в эксперименте имеет частоту 450 Гц.

Смоделированные моды колебаний модели цилиндрического резервуара при разных сетках

показаны на рис. 8. При уменьшении шага сетки вид колебаний не изменяется, а частота колебаний стремится к экспериментальной частоте первой гармоники, при этом ошибка расчета частоты первой моды составляет около 10 %.

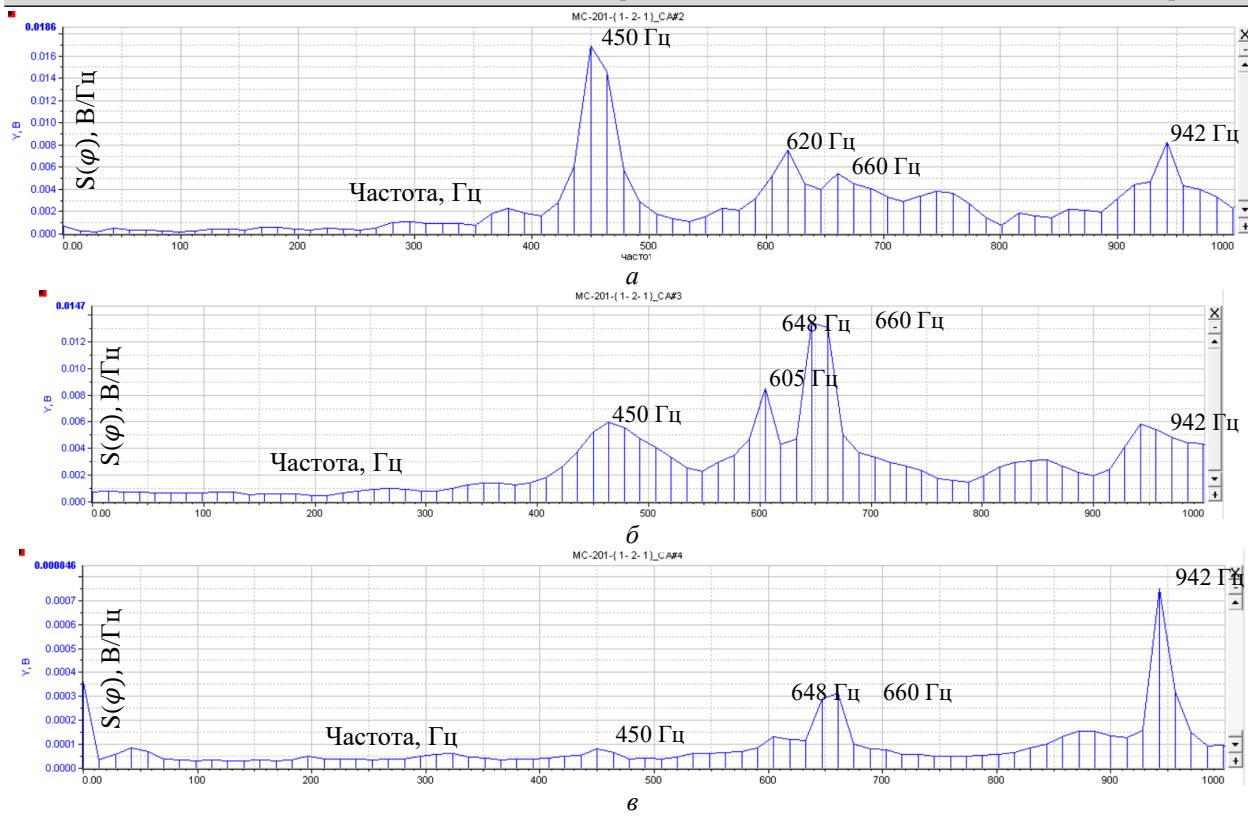


Рис. 7. Спектр собственных колебаний цилиндрического резервуара объемом 20 л, зафиксированный экспериментально:

а – удар сбоку; *б* – удар сверху; *в* – удар с торца

Fig. 7. The spectrum of natural vibrations of a cylindrical tank with a volume of 20 L, recorded experimentally:
a – side impact; *b* – top impact; *c* – end impact

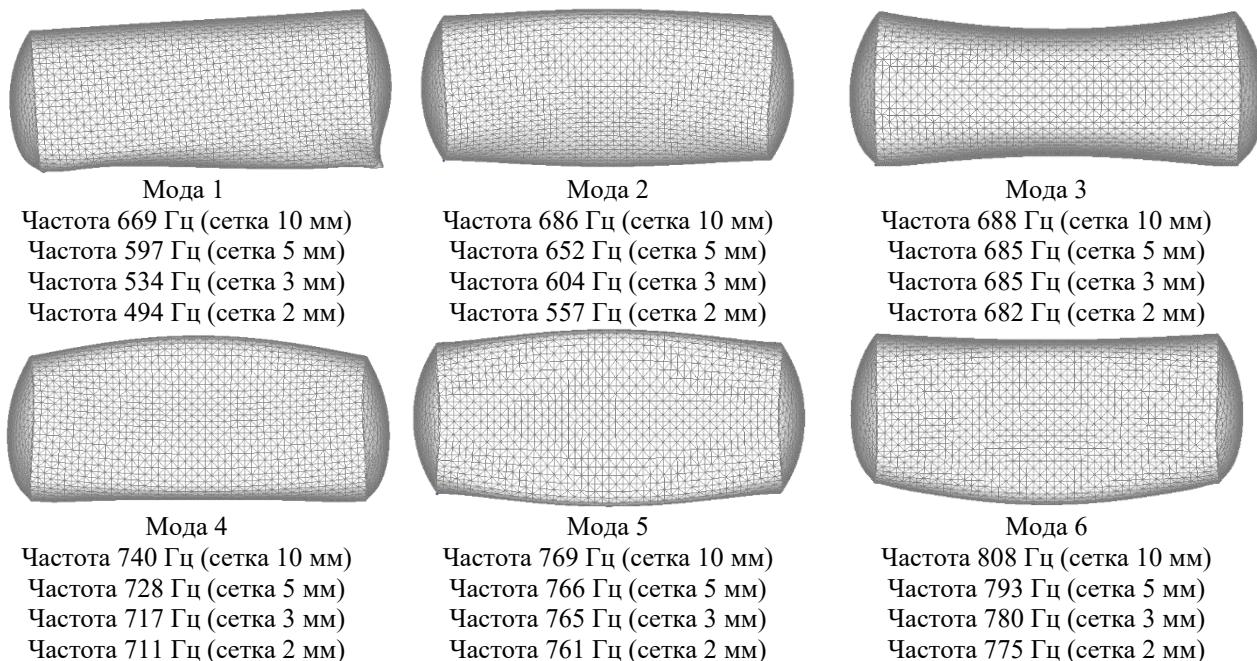


Рис. 8. Моды колебаний и их частоты для цилиндрического резервуара объемом 20 л при различных сетках

Fig. 8. Modes of oscillations and their frequencies for a 20 L cylindrical tank at different meshes

МКЭ предполагает разбиение сложной геометрической области на конечное количество элементов, что позволяет упростить расчет сложных физических процессов. Однако при наложении сетки на сложные формы, такие как остов ТЭД НБ-514, возникает необходимость в тщательном выборе и упрощении геометрии.

Сложные узлы и элементы на расчетной модели приводят к несоответствиям в наложении сетки, что, в свою очередь, вызывает концентрацию напряжений и деформаций в переходных сопряжениях. Это отрицательно сказывается на сходимости расчетов. Упрощение геометрии модели позволяет решить данную проблему, позволяя эффективно разбить мо-

дель на элементы с одинаковыми размерами и формой, что минимизирует погрешности вычислений и обеспечивает сходимость расчетов.

Простая геометрическая форма математической модели остова ТЭД НБ-514 представлена на рис. 9 в виде оболочки. Экспериментальное измерение собственных колебаний на остове ТЭД приведено на рис. 10. Параметры материала остова ТЭД НБ-514 при моделировании представлены на рис. 11, а заданный анализ расчета для моделирования собственных колебаний – на рис. 12. Полученный в результате эксперимента спектр собственных колебаний изображен на рис. 13, а моды колебаний и их частот при моделировании – на рис. 14.

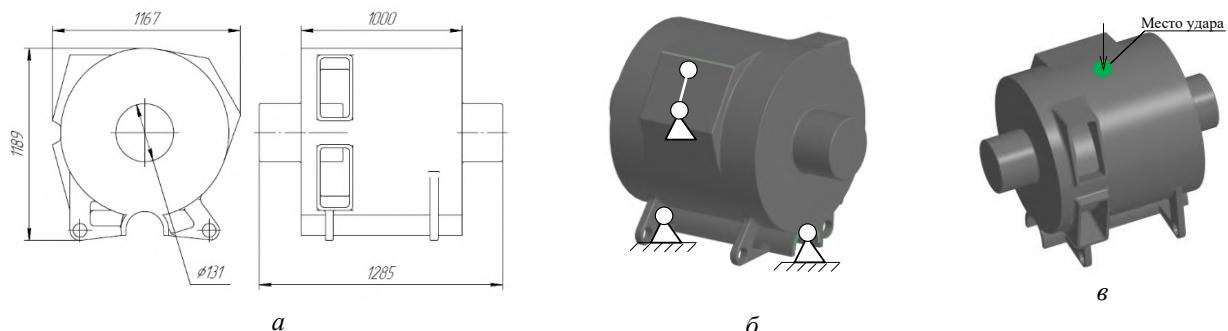


Рис. 9. Остов тягового электродвигателя НБ-514:
 а – габаритные размеры; б – присоединение тягового электродвигателя к земле при моделировании;
 в – место удара при экспериментальном определении спектра собственных колебаний

Fig. 9. Body of traction motor NB-514:
 a – overall dimensions; б – connection of the traction motor to the ground during modelling;
 в – impact point during experimental determination of the spectrum of natural vibrations

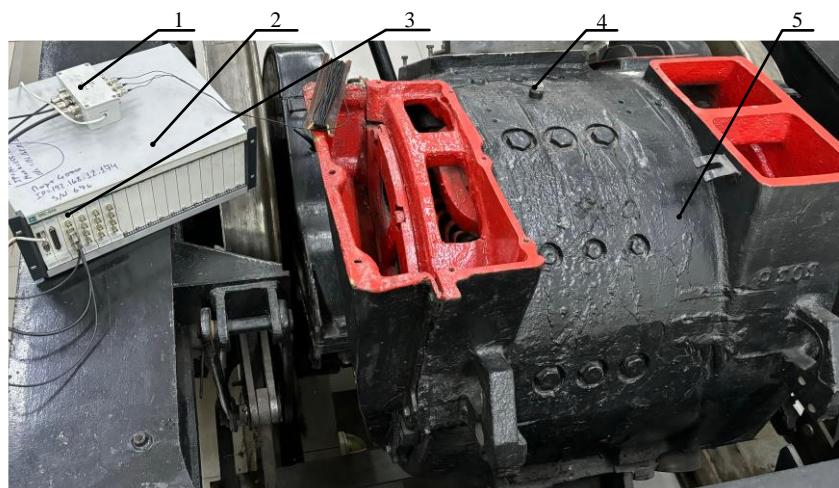


Рис. 10. Измерение собственных колебаний на остове тягового электродвигателя НБ-514:
 1 – согласующее устройство AG01-8; 2 – измерительно-вычислительный комплекс MIC-036;
 3 – измерительная плата MC-201; 4 – датчик вибрации AR2038-10 с магнитом;
 5 – остов тягового электродвигателя НБ-514

Fig. 10. Measurement of natural vibrations on the traction motor NB-514 base:
 1 – AG01-8 matching device; 2 – measuring-computing complex MIC-036; 3 – measuring board MC-201;
 4 – sensor vibration sensor AR2038-10; 5 – frame of NB-514 traction motor

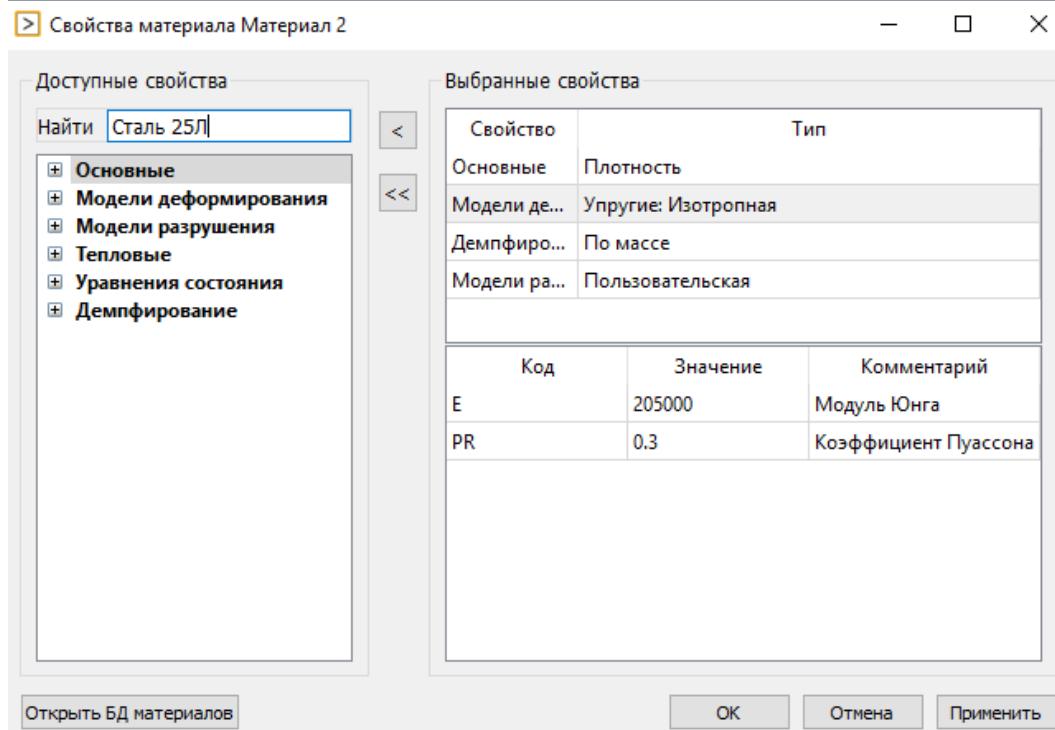


Рис. 11. Заданные параметры материала остова (сталь 25Л) тягового электродвигателя НБ-514

Fig. 11. Set parameters of the NB-514 traction motor frame material

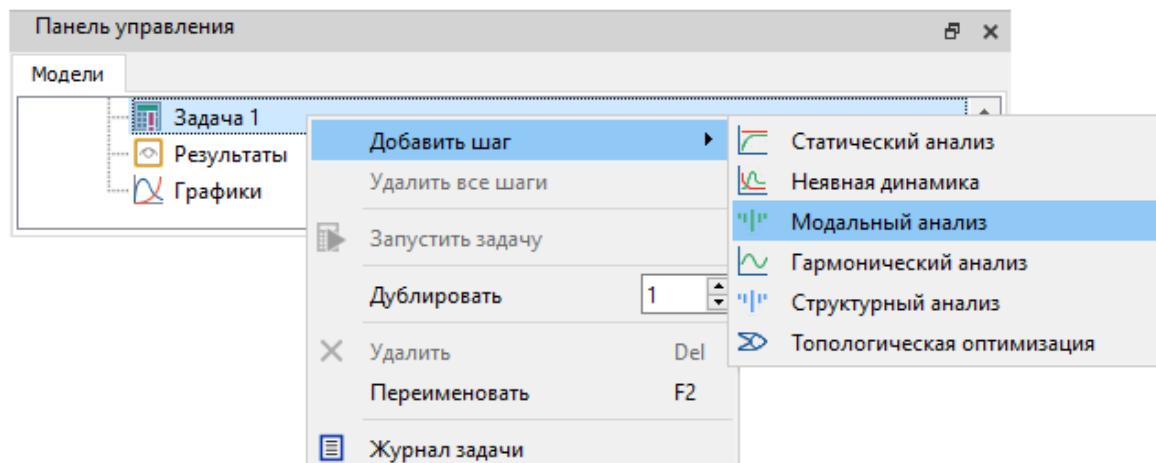


Рис. 12. Заданный анализ расчета остова тягового электродвигателя для моделирования собственных колебаний

Fig. 12. Defined analysis of traction motor frame calculation for modelling of natural vibrations

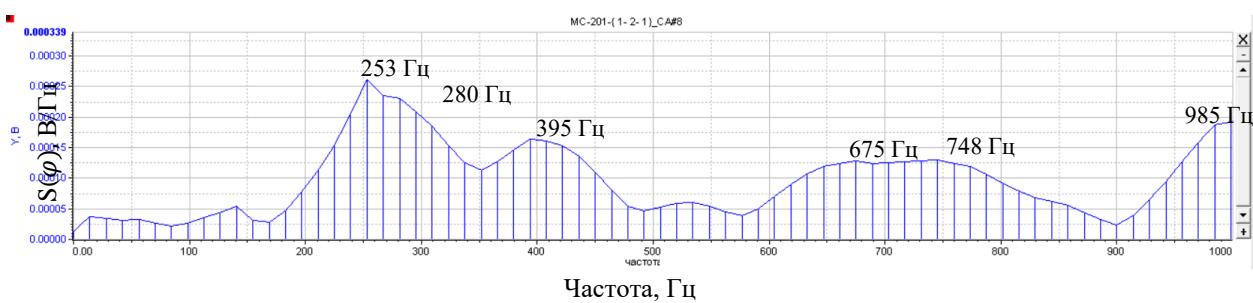


Рис. 13. Спектр собственных колебаний остова тягового электродвигателя

Fig. 13. Spectrum of natural vibrations of the traction motor frame

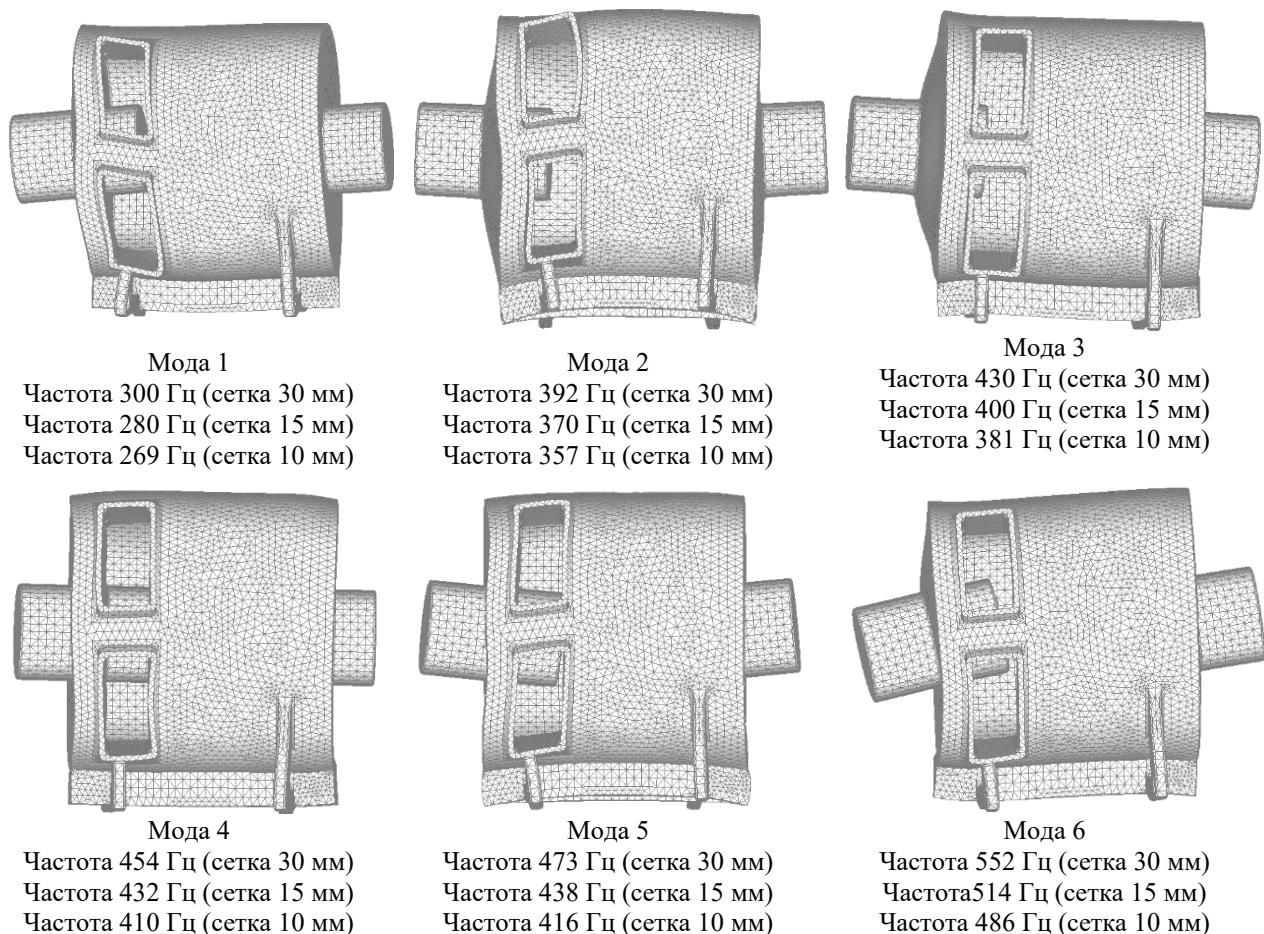


Рис. 14. Моды колебаний остова тягового электродвигателя НБ-514
Fig. 14. Modes of vibrations of the frame of traction motor NB-514

Из результатов, представленных на рис. 5, 8, 14, видно, что при моделировании колебаний оболочки с уменьшением шага сетки погрешность моделирования частоты колебаний уменьшается. Так, при шаге сетки примерно в 3 раза меньшем, чем толщина оболочки, погрешность моделирования частоты колебаний первой моды достигает 10 %, что может рассматриваться как технически обоснованный результат, подтверждающий адекватность модели. Уменьшение шага сетки при моделировании частоты колебаний неизбежно приводит к проблеме вычислительных мощностей памяти на жестком диске компьютера. В дальнейшем представляется перспективным применение оболочечных и твердотельных гибридных элементов для повышения точности моделирования в условиях сложной геометрии.

Данные результаты подчеркивают важность выбора оптимального шага сетки для

адекватного моделирования, а также демонстрируют потенциал применения МКЭ для анализа других конструкций с аналогичными характеристиками.

Заключение

В проведенной работе выполнен анализ моделирования собственных частот колебаний оболочек с использованием МКЭ. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало, что при уменьшении шага сетки до значений, составляющих примерно одну треть минимальной толщины оболочки, достигается достаточная сходимость результатов с погрешностью не более 10 %. С опорой на полученные результаты и погрешности, выявленные в ходе физического и математического моделирования, был разработан инструмент в программной среде, который позволяет переходить от натурных испытаний

к виртуальным. Это, как правило, характеризуется значительно меньшей трудоемкостью и позволяет за счет множества итераций на модели получать решения актуальных задач в эксплуатации, например, формирование трещин в остовах ТЭД локомотивов и др.

Результаты исследования имеют практическую значимость и подтверждаются данными моделирования: при использовании шага сетки, равного одной трети толщины стенки, погрешность первой моды не превышает 10 % (напри-

мер, 295 Гц в эксперименте и 325 Гц в модели). Это позволяет переходить от физического тестирования к численному анализу, снижая затраты времени и ресурсов.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в разработке более высокоточных моделей, оптимизации алгоритмов моделирования, а также применении более производительных вычислительных систем. Эти меры позволяют снизить погрешность и расширить границы применения численных методов.

Список литературы

1. Об утверждении Стратегии развития транспортного машиностроения Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17.08.2017 № 1756-р (ред. 13.10.2022). Доступ из справ.-правов. системы КонсультантПлюс в локал. сети.
2. Об утверждении паспорта инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей (второй этап)» : распоряжение Правительства Рос. Федерации от 28.04.2021 г. № 1100-р (ред. 04.05.2023). Доступ из справ.-правов. системы КонсультантПлюс в локал. сети.
3. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Введ. 2022-01-01. М. : Рос. ин-т стандартизации, 2021. 14 с.
4. Математическое моделирование механических напряжений, возникающих при неравномерном нагреве остова тягового электродвигателя НБ-514 / А.Ю. Портной, О.В. Мельниченко, К.П. Селедцов и др. // Молодая наука Сибири. 2021. № 1 (11). С. 90–100.
5. Портной А.Ю., Селедцов К.П., Мельниченко О.В. Математическое моделирование механических напряжений, возникающих при неравномерном нагреве остова тягового электродвигателя НБ-514 и совершенствование его конструкции // Известия Транссиба. 2021. № 2 (46). С. 13–23.
6. Заболотный В.В. Совершенствование оценки весовой нормы поезда с использованием уточненной модели нагревания тягового электродвигателя : дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 2024. 172 с.
7. An estimation of mechanical stresses in the stator of the NB-514 motor of an electric locomotive / O. Mel'nicchenko, A. Portnoi, P. Grigorenko et al. // Territory Development and Sustainability : XIV International Conference on Transport Infrastructure (TITDS-XIV-2023). Bukhara, 2023. Vol. 471. DOI 10.1051/e3sconf/202447102007.
8. О вибрации колесно-моторного блока вследствие взаимодействия колеса с рельсом и работы зубчатой передачи электровоза 3ЭС5К в условиях горно-перевального участка / А.Ю. Портной, О.В. Мельниченко, К.П. Селедцов и др. // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2020. Т. 24. № 3. С. 527–547.
9. Андриевский А.Г., Москвичев В.В., Чабан Е.А. Расчетно-экспериментальное определение динамических характеристик кожуха тяговой зубчатой передачи электровоза // Известия Транссиба. 2020. № 3 (43). С. 47–57.
10. Некоторые вопросы статического анализа собственной корпсуной вибрации элементов колесно-моторных блоков (КМБ) локомотивов для целей диагностики / З.Г. Гиоев, Д.А. Наумов, В.И. Гончаренко и др. // Повышение качества и надежности машин : межвуз. сб. науч. тр. Ростов-на-Дону, 1994. С. 129–134.
11. Каменев С.В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях. Оренбург : ОГУ, 2019. 110 с.
12. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975. 541 с.
13. Секулович М. Метод конечных элементов. М. : Стройиздат, 1993. 660 с.
14. Ашайчик А.А., Полонский В.Л. Расчет деталей машин методом конечных элементов. СПб : СПбПУ, 2016. 242 с.
15. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. М. : ДМК Пресс, 2013. 784 с.
16. Рычков С.П. MSC.visual NASTRAN для Windows. М. : НТ Пресс, 2004. 552 с.
17. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. М. : ДМК Пресс, 2003. 446 с.
18. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К): руководство по эксплуатации (в 2 т.). Новочеркасск : НЭВЗ, 2007. Т. 1. 635 с. Т. 2. 640 с.
19. Электровоз ВЛ-85 : руководство по эксплуатации / Б.А. Тушканов, Н.Г. Пушкарев, Л.А. Позднякова и др. М. : Маршрут, 1992. 480 с.
20. Руководство по эксплуатации БЛИЖ.401250.001 РЭ. Комплексы измерительно-вычислительные МИС. Мытищи : Мера, 2016. 144 с.
21. Руководство по эксплуатации на датчик АБКЖ.433642.019.РЭ. Вибропреобразователь АР2038. Руководство по эксплуатации. М. : ООО «ГлобалТест», Б.г.
22. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб. : Питер, 2003. 604 с.

References

1. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 17.08.2017 g. № 1756-р «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya transportnogo mashinostroeniya Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda» (red. 13.10.2022) [Decree of the Government of

the Russian Federation dated August 17, 2017 No 1756-r «On approval of the Strategy for the Development of Transport Engineering in the Russian Federation for the period up to 2030» (ed. October 13, 2022).

2. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 28.04.2021 g. № 1100-r «Ob utverzhdenii pasporta investitsionogo proekta «Modernizatsiya zheleznodorozhnoi infrastruktury Baikalo-Amurskoi i Transsibirskoi zheleznodorozhnykh magistralei s razvitiem propusknykh i provoznykh sposobnostei (vtoroi etap)» (red. 04.05.2023) [Decree of the Government of the Russian Federation dated April 28, 2021 No 1100-r «On approval of the passport of the investment project «Modernization of the railway infrastructure of the Baikal-Amur and Trans-Siberian Railway with the development of throughput and carrying capacity (second stage)» (ed. May 4, 2023)].

3. GOST R 57700.37-2021 Komp'yuternye modeli i modelirovaniye. Tsifrovye dvoyniki izdelii. Obshchie polozheniya [State Standard R 57700.37-2021 Computer models and simulation. Digital twins of products. General provisions]. Moscow: Rossiiskii institut standartizatsii Publ., 2021. 14 p.

4. Portnoi A.Yu., Mel'nicenko O.V., Seledtsov, K.P., Ivanov V.N. Matematicheskoe modelirovaniye mekhanicheskikh napryazhenii, voznikayushchikh pri neravnomernom nagreve ostova tyagovogo elektrosvigatelya NB-514 [Mathematical modeling of mechanical stresses arising from uneven heating of the core of a traction electric motor NB-514]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2021, no 1 (11), pp. 90–100.

5. Portnoi A.Yu., Seledtsov K.P., Mel'nicenko O.V. Matematicheskoe modelirovaniye mekhanicheskikh napryazhenii, voznikayushchikh pri neravnomernom nagreve ostova tyagovogo elektrosvigatelya NB-514 i sovershenstvovaniye ego konstruktsii [Mathematical modeling of mechanical stresses arising from uneven heating of the core of the NB-514 traction electric motor and improvement of its design]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2021, no 2 (46), pp. 13–23.

6. Zabolotnyi V.V. Sovershenstvovaniye otsenki vesovoi normy poezda s ispol'zovaniem utochnennoi modeli nagrevaniya tyagovogo elektrosvigatelya [Improving the estimation of the weight norm of a train using a refined model of heating a traction electric motor]. Ph.D.' theses. Khabarovsk, 2024. 172 p.

7. Mel'nicenko O., Portnoi A., Grigorenko P., Shramko S., Mishchenkov M. An estimation of mechanical stresses in the stator of the NB-514 motor of an electric locomotive // XIV International Conference on Transport Infrastructure «Territory Development and Sustainability (TITDS-XIV-2023)». Bukhara, 2023. Vol. 471. DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447102007>.

8. Portnoi A.Yu., Mel'nicenko O.V., Seledtsov K.P., Lin'kov A.O., Yagovkin D.A., Shramko S.G., Gruzin G.G. O vibratsii kolesno-motornogo bloka vsledstviye vzaimodeistviya kolesa s rel'som i raboty zubchatoi peredachi elektrovoza 3ES5K v usloviyakh gorno-pereval'nogo uchastka [On the vibration of the wheel-motor unit due to the interaction of the wheel with the rail and the operation of the electric transmission 3ES5K in the conditions of the mining area]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University], 2020, Vol. 24, no 3, pp. 527–547.

9. Andrievskii A.G., Moskvichev V.V., Chaban E.A. Raschetno-eksperimental'noe opredelenie dinamicheskikh kharakteristik kozhukha tyagovoi zubchatoi peredachi elektrovoza [Computational and experimental determination of dynamic characteristics of a traction gear transmission casing of an electric locomotive]. *Izvestiya Transsiba* [Bulletins of Transsib], 2020, no 3 (43), pp. 47–57.

10. Gioev Z.G., Naumov D.A., Goncharenko V.I., Chmelev I.E. Nekotorye voprosy staticheskogo analiza sobstvennoi korpusnoi vibratsii elementov kolesno-motornykh blokov (KMB) lokomotivov dlya tselei diagnostiki [Some issues of static analysis of intrinsic body vibration of elements of wheel-motor blocks (WMB) of locomotives for diagnostic purposes]. *Mezhevuzovskii sbornik nauchnykh trudov «Povyshenie kachestva i nadezhnosti mashin»* [Interuniversity proceedings «Improving the quality and reliability of machines»]. Rostov-on-Don, 1994, pp. 129–134.

11. Kamenev S.V. Osnovy metoda konechnykh elementov v inzhenernykh prilozheniyakh [Fundamentals of the finite element method in engineering applications]. Orenburg: OGU Publ., 2019. 110 p.

12. Zienkiewicz O.C. Metod konechnykh elementov v tekhnike [The finite element method in engineering science]. Moscow: Mir Publ., 1975. 541 p.

13. Sekulovich M. Metod konechnykh elementov [The finite element method]. Moscow: Stroizdat Publ., 1993. 660 p.

14. Asheichik A.A., Polonskii V.L. Raschet detalei mashin metodom konechnykh elementov [Calculation of machine parts by the finite element method]. Saint Petersburg: SPbPU Publ., 2016. 242 p.

15. Rychkov S.P. Modelirovaniye konstruktsii v srede Femap with NX Nastran [Modeling of structures in the Femap environment with NX Nastran]. Moscow: DMK Press Publ., 2013. 784 p.

16. Rychkov S.P. MSC.visual NASTRAN dlya Windows [MSC.visualNASTRAN for Windows]. Moscow: NT Press Publ., 2004. 552 p.

17. Shimkovich D.G. Raschet konstruktsii v MSC/NASTRAN for Windows [Calculation of structures in MSC/NASTRAN for Windows]. Moscow: DMK Press Publ., 2003. 446 p.

18. Elektrovoz magistral'nyi 2ES5K (3ES5K): rukovodstvo po ekspluatatsii (v 2 t.) [Mainline electric locomotive 2ES5K (3ES5K): operation manual (in 2 vol.)]. Novocherkassk: NEVZ Publ., 2007. Vol. 1. 635 p. Vol. 2. 640 p.

19. Tushkanov B.A., Pushkarev N.G., Pozdnyakova L.A., Yarosh V.P., Sobolev Yu.V., Matlakhov A.A., Ukrainskii E.V., Andryushchenko T.F., Krivun A.A., Strel'tsov A.I., Mikheev B.K., Orlov Yu.A., Parichenko N.A., Zakis' E.A., Shtepenko P.K., Shestakov E.F. Elektrovoz VL-85: rukovodstvo po ekspluatatsii [VL-85 electric locomotive: operation manual]. Moscow: Marshrut Publ., 1992. 480 p.

20. Rukovodstvo po ekspluatatsii BLIZh.401250.001.RE. Kompleksy izmeritel'no-vychislitel'nye MIC [Instruction manual BLIZH.401250.001.RE. Measuring and computing complexes MIC]. Mytishchi: Mera Publ., 2016. 144 p.

21. Rukovodstvo po ekspluatatsii na datchik ABKZh.433642.019.RE. Vibropreobrazovatel' AR2038. Rukovodstvo po ekspluatatsii [Operating instructions for the sensor PKZH.433642.019.RE. Vibration converter AR2038. User manual].

22. Sergienko A.B. Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital signal processing]. Saint Petersburg: Piter Publ., 2003. 604 p.

Информация об авторах

Мельниченко Олег Валерьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olegmelnval@mail.ru.

Портной Александр Юрьевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики, механики и приборостроения, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: portnoy_alexander@mail.ru.

Линьков Алексей Олегович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: linkovalex@mail.ru.

Коновалов Алексей Владимирович, аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: aleksei-konovalov2016@mail.ru.

Кахаев Семен Александрович, аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: vip.kakhaev@mail.ru.

Information about the authors

Oleg V. Mel'nicenko, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Head of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: olegmelnval@mail.ru.

Alexander Yu. Portnoi, Doctor of Physical and Mathematical Science, Associate Professor, Professor of the Department of Physics, Mechanics and Instrument Engineering, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: portnoy_alexander@mail.ru.

Alexei O. Lin'kov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: linkovalex@mail.ru.

Alexei V. Konovalov, Ph.D. Student of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: aleksei-konovalov2016@mail.ru.

Semen A. Kakhaev, Ph.D. Student of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: vip.kakhaev@mail.ru.

Современные технологии

Системный анализ

Моделирование

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION TECHNOLOGY

Системный подход к моделированию работ по устранению инцидентов информационной безопасности применительно к корпоративной информационной системе

Ю.М. Krakovskii✉, В.П. Kirgizbaev

Иркутский государственный университет путей сообщения, г Иркутск, Российская Федерация

✉yuri.krakovskiy@yandex.ru

Резюме

В статье рассмотрен системный подход к моделированию работ по устранению инцидентов информационной безопасности для корпоративной информационной системы. С целью повышения эффективности выполнения работ по защите информации предложено использовать денежный фонд, в котором накапливаются необходимые финансовые средства и затем расходуются. Безопасность корпоративной информационной системы обеспечивается при ограничении финансовых средств, необходимых для нее, поэтому предложены новые показатели в виде однофакторных финансовых рисков. В денежном фонде происходит взаимодействие финансовых потоков по накоплению и расходам. Наличие сложных связей приводит к системному эффекту, который называют эмерджентностью. В нашем случае процесс, описывающий состояние фонда, получается нестационарным, хотя взаимодействующие потоки являются либо регулярными, либо стационарными. Для моделирования этого процесса разработано специальное алгоритмическое обеспечение, основанное на календаре событий. Моделирование происходит от события к событию. Для каждого кода события создается подпрограмма по его обработке. Важным компонентом этих подпрограмм является планирование следующего события с таким же кодом. Предложенное математическое обеспечение с учетом новых показателей эффективности реализовано в виде программного обеспечения, ядром которого является моделирующая программа на основе дискретно-имитационного моделирования. Программное обеспечение разработано с использованием языка программирования Python версии 3.12. В созданном обеспечении используются модули из библиотеки Python (csv, random, sys, time, math и др.). В целях моделирования значений случайных величин, характеризующих интервалы между инцидентами и затраты на их устранение, моделирующая программа поддерживает различные законы распределения, выбор которых обусловлен их применимостью в теории рисков, имитационном моделировании и страховой математике. Проведена апробация созданного программно-алгоритмического обеспечения, показавшая его работоспособность, получены научные и практические рекомендации.

Ключевые слова

имитационное моделирование, денежный фонд, информационная безопасность, показатели эффективности, корпоративная информационная система, календарь событий, двухфакторные риски

Для цитирования

Краковский Ю.М. Системный подход к моделированию работ по устранению инцидентов информационной безопасности применительно к корпоративной информационной системе / Ю.М. Краковский, В.П. Киргизбаев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 116–126. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).116-126.

Информация о статье

поступила в редакцию: 17.12.2024 г.; поступила после рецензирования: 25.03.2025 г.; принята к публикации 26.03.2025 г.

A systems approach to modeling incident response work in information security for a corporate information system

Yu.M. Krakovskii✉, V.P. Kirgizbaev

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉yuri.krakovskiy@yandex.ru

Abstract

The paper discusses a systematic approach to modeling incident response processes for information security in a corporate information system. To increase the effectiveness of information protection efforts, it is proposed to utilize a budget fund that accumulates and then disburses necessary financial resources. Corporate information system security is ensured under a financial constraint, making the introduction of new indicators in the form of single-factor financial risks essential. The budget fund manages the interaction of financial flows for accumulation and expenditure. Complex interconnections create a systemic effect known as emergence. In this case, the process describing the fund's state becomes non-stationary, although the interacting flows are either regular or stationary. For modeling this process, specialized algorithmic support has been developed based on an event calendar.

The simulation progresses from event to event, with each event code having a dedicated subroutine created for handling it. A crucial component of these subroutines is the scheduling of the next event with the same code. The proposed mathematical support, accounting for new performance indicators, is implemented as software, with a simulation program based on discrete-event modeling as its core. The software was developed using the Python programming language, version 3.12. The system utilizes various Python modules (csv, random, sys, time, math, etc.). To simulate random variable values representing incident intervals and response costs, the simulation program supports various probability distributions, chosen for their applicability in risk theory, simulation modeling, and actuarial mathematics. Testing of the developed software and algorithmic framework confirmed its functionality, yielding both scientific and practical recommendations.

Keywords

simulation modeling, cash fund, information security, performance indicators, corporate information system, events calendar, two-factor risks

For citation

Krakovskii Yu.M., Kirgizbaev V.P. Sistemnyi podkhod k modelirovaniyu rabot po ustraneniyu intsidentov informatsionnoi bezopasnosti primeitelnno k korporativnoi informatsionnoi sisteme [A systems approach to modeling incident response work in information security for a corporate information system]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. No. 1(85). Pp. 116–126. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).116-126.

Article Info

Received: December 17, 2024; Revised: March 25, 2025; Accepted: March 26, 2025.

Введение

В условиях стремительного развития цифровых технологий и внедрения искусственного интеллекта все большее внимание уделяется защите информации в различных системах и организациях. Основным объектом защиты становятся корпоративные информационные системы (КИС), включая распределенные решения, использующие различные каналы связи. Важность информационной безопасности растет, так как она направлена на обеспечение целостности и конфиденциальности различных данных от множества угроз, что способствует устойчивой работе бизнеса и минимизации рисков [1, 2].

Дополнительно отметим, что в связи с цифровизацией экономики и наличия внешних факторов в нашей стране в последние годы активизировалось развитие различных отраслей промышленности [3–5], стали реализовываться программы импортозамещения [6–8], создаваться российские варианты информационных технологий и искусственного интеллекта [9–13], а это также влияет на необходимость совершенствовать технологии информационной безопасности КИС.

Информационная безопасность защищает информацию от широкого диапазона угроз с целью обеспечения уверенности в непрерывности бизнеса, минимизации риска бизнеса, получения максимальной отдачи от инвестиций, а также реализации потенциальных возможностей бизнеса [14].

Безопасность КИС обеспечивается при ограничении финансовых средств, необходи-

мых для нее, поэтому большое значение имеют вопросы экономики информационной безопасности [15–17].

Информационная безопасность достигается путем реализации соответствующего комплекса мер и средств контроля и управления, которые могут быть представлены политиками, процессами, процедурами, организационными структурами, а также функциями программных и аппаратных средств. Процесс обеспечения информационной безопасности включает в себя как правовые и организационные меры, так и технические, в которых выделяют технические, криптографические, программные и аппаратные средства [14]. Такой подход позволяет предотвращать различные инциденты, которые могут нанести ущерб организации.

Инцидентам информационной безопасности посвящено большое число нормативных документов. Приведем следующее определение: «...это следствие одного или нескольких нежелательных или неожиданных событий информационной безопасности, которые имеют значительную вероятность компрометации операций бизнеса или создания угрозы информационной безопасности» [14]. В свою очередь событие информационной безопасности – «это какое-либо событие, идентифицируемое появлением определенного состояния системы, сервиса или сети, указывающее на возможное нарушение политики информационной безопасности или отказ защитных мер, или возникновение неизвестной ранее ситуации, которая может иметь отношение к безопасности».

Таким образом, современные стандарты информационной безопасности подчеркивают важность защиты информации как одного из активов предприятия. Любая информация, имеющая ценность для бизнеса, должна быть защищена от возможных угроз, как внешних, так и внутренних.

Данная статья является развитием работ авторов [18, 19]. В этих работах при реализации информационной безопасности КИС учитывается важный фактор – ограниченные финансовые ресурсы, выделяемые на ее защиту от различных угроз. Для решения данной задачи предлагается использовать денежный (бюджетный) фонд (ДенФ) для выполнения двух функций:

1. По мере необходимости производится оплата работ, связанных с устранением инцидентов, когда для каждого вида работ определяется периодичность использования фонда (сут.) и стоимость этих работ (тыс. р.).

2. Необходимо проводить накопление платежей с какой-то периодичностью (сут.) и величиной стоимости этих платежей (тыс. р.). Таким образом, в этом фонде происходит взаимодействие двух денежных потоков.

Поступления в фонд предлагается описывать неслучайными величинами как для интервалов, так и для размеров поступлений. В условиях неопределенности интервалы времени между инцидентами и затраты для их устранения являются случайными величинами с известными вероятностными моделями в виде двухпараметрических функций распределений с точностью до значений математических ожиданий и коэффициентов вариации.

Целью данной работы является обоснование необходимости системного подхода к моделированию работ по устранению инцидентов информационной безопасности для КИС.

При реализации этой цели предложены новые (относительно работ [18, 19]) показатели, характеризующие эффективность организации работ по защите информации.

Математическое обеспечение для моделирования состояния денежного фонда и оценки показателей эффективности

Состояние ДенФ предлагается описать случайным нестационарным процессом вида:

$$F_S(t) = F_{S_0} + \sum_{l=1}^L Y_l(t) - \sum_{j=1}^m Z_j(t), \text{ тыс. р., (1)}$$

где F_{S_0} – начальное значение процесса $F_S(t)$, тыс. р.; $Y_l(t)$ – суммарная величина доходов по платежам l -го вида за время t , тыс. р.; L – число видов платежей по пополнению фонда; $Z_j(t)$ – суммарная величина расходов для j -й работы за время t , тыс. р.; m – число видов работ по устранению инцидентов информационной безопасности.

Суммарная величина:

$$Z_j(t) = \sum_{q=1}^{N_j(t)} z_{qj}, \text{ тыс. р., (2)}$$

где z_{qj} – величина q -го расхода для j -й работы; $N_j(t)$ – число этих расходов за время t .

Суммарная величина:

$$Y_l(t) = Y_{0l} \cdot N_{0l}(t), \text{ тыс. р., (3)}$$

где Y_{0l} – значение единичного платежа l -го вида при пополнении фонда, тыс. р. (эти величины рассчитываются); $N_{0l}(t)$ – число платежей l -го вида за время t .

Величину F_{S_0} предлагается задавать в долях от величины средних расходов:

$$F_{S_0} = g \cdot X, \text{ тыс. р., (4)}$$

где X – средние финансовые средства (тыс. р.), необходимые для выполнения годового объема всех работ (расходы); g – коэффициент, равный 0,05 или 0,10.

Финансовые средства (тыс. р.), необходимые для выполнения годового объема работ (расходы) для j -го вида работ в среднем равны:

$$X_{0j} = Tg \cdot (mz_j / mt_j), \text{ тыс. р., (5)}$$

где Tg – число суток в году; mt_j , mz_j – математические ожидания вероятностных моделей интервалов времени и величин затрат.

С учетом (5) суммарные средства по всем видам работ в среднем равны:

$$X = \sum_{j=1}^m X_{0j}, \text{ тыс. р. (6)}$$

Средний размер платежа l -го вида равен:

$$P_{0l} = c_l \cdot X, \sum_{l=1}^L P_{0l} = X, \sum_{l=1}^L c_l = 1, \text{ (7)}$$

где c_l – доли платежей l -го вида при пополнении ДенФ.

Исходя из (7), средняя суммарная величина доходов за год должна быть равна средней суммарной величине расходов за год.

Чтобы учесть рекомендации теории рисков [20, 21], вводится величина F_{S_0} . В этом

случае доход превышает расход.

Значение единичного платежа l -го вида при пополнении ДенФ:

$$Y_{0l} = P_{0l} / N_l = (c_l \cdot h_l \cdot X) / Tg, \quad (8)$$

где $N_l = Tg/h_l$ – среднее число l -ых платежей за год; h_l – значение интервала времени между поступлениями платежей l -го вида при пополнении ДенФ, сут.

Пусть s – время, когда первый раз $Fs(t) < 0$ (время, когда в фонде закончились деньги на оплату работ), сут. Назовем его временем «обнуления» ДенФ:

$$s = \min_t (t: Fs(t) < 0), \text{ сут.}, \quad (9)$$

S – случайная величина, для которой определяется время s ; $(S < S_t)$ – случайное негативное событие, заключающееся в том, что произошло «обнуление» фонда за время S_t , сут.

При имитационном моделировании для времени s образуется упорядоченная по возрастанию выборка объема n :

$$Ts = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n), \quad (10)$$

где i – номер элемента выборки.

В качестве показателей, характеризующих эффективность организации работ по защите информации, предлагаются риски вида:

– вероятность негативного события:

$$p_t = P(S < S_t); \quad (11)$$

– коэффициент вариации для величины S на интервале $(0, S_t)$, %:

$$c_S = (\sigma/\mu) \cdot 100. \quad (12)$$

Здесь σ – значение среднеквадратического отклонения на интервале $(0, S_t)$; μ – значение математического ожидания на этом интервале.

При имитационном моделировании величины (11) и (12) оцениваются через точечные и интервальные оценки, полученные по выборке (10) за время S_t :

– \tilde{R}_t – точечная оценка величины (11);

– (τ_1, τ_2) – интервальная оценка величины (11);

– \tilde{c}_t – точечная оценка величины (12);

– (v_1, v_2) – интервальная оценка величины (12).

При этом

$$\tilde{R}_t = k_t/n_0, \quad (13)$$

где k_t – количество реализаций процесса, когда случайное событие $(S < S_t)$ существует;

$$\tilde{c}_t = (\sigma_t/\mu_t) \cdot 100, \%, \quad (14)$$

где μ_t – оценка математического ожидания на этом интервале:

$$\mu_t = \sum_{i=1}^{k_t} s_i / k_t;$$

σ_t – оценка среднеквадратического отклонения величины S на интервале $(0, S_t)$:

$$\sigma_t = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{k_t} s_i^2 - k_t \mu_t^2 \right) / (k_t - 1)}.$$

Интервальные оценки (τ_1, τ_2) приведены в работе [16]. Приведем интервальные оценки (v_1, v_2) [19]:

$$v_1 = \exp \left(\ln(\tilde{c}_t) - z_\gamma \sqrt{\frac{1 + (\ln(\tilde{c}_t))^2}{k_t - 1}} \right), \quad (\%)$$

$$v_2 = \exp \left(\ln(\tilde{c}_t) + z_\gamma \sqrt{\frac{1 + (\ln(\tilde{c}_t))^2}{k_t - 1}} \right), \quad (\%)$$

где $z_\gamma = 1,96$ – критическое значение статистики Z при доверительной вероятности $\gamma = 0,95$.

Введем дополнительные показатели эффективности в виде рисков, которые измеряются в рублях:

– финансовый риск по расходам из ДенФ на выполнение работ –

$$RD = M[Dr], \text{ тыс. р.}, \quad (15)$$

где Dr – случайная величина, характеризующая итоговые расходы фонда до времени его «обнуления»; $M[Dr]$ – математическое ожидание этой величины;

– финансовый риск по поступлениям в ДенФ –

$$RU = M[Du], \text{ тыс. р.}, \quad (16)$$

где Du – случайная величина, характеризующая итоговые поступления в фонд до времени его «обнуления»; $M[Du]$ – математическое ожидание этой величины.

При имитационном моделировании риски (15) и (16) заменим на точечные (21), (24) и интервальные оценки (22), (23), (25), (26).

Для этого введем две упорядоченные по возрастанию выборки:

$$D = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_n), \quad (17)$$

где d_i – итоговое значение расходов по всем работам до времени s_i ; s_i – выборочное значение (10).

$$d_i = \sum_{j=1}^m Z_j(s_i), \quad (18)$$

где $Z_j(s_i)$ – величина (2), когда число расходов определяется до времени s_i включительно.

$$U = (u_1, \dots, u_i, \dots, u_n), \quad (19)$$

где u_i – итоговое значение поступлений по всем платежам до времени s_i :

$$u_i = F_{S_0} + \sum_{l=1}^L Y_l(s_i), \quad (20)$$

где $Y_l(s_i)$ – величина (3), когда число поступлений определяется до времени s_i включительно; F_{S_0} – начальное значение процесса $Fs(t)$ (1).

Используем для точечных и интервальных оценок величин (15) и (16), полученных за время S_t по выборкам (17) и (19) соответственно, следующие обозначения:

– RD_0 – точечная оценка величины RD (15) на интервале $(0, S_t)$:

$$RD_0 = \sum_{i=1}^{k_t} d_i / k_t, \quad (21)$$

где d_i – величина (18); RD_1 , RD_2 – интервальная оценка величины RD :

$$RD_1 = RD_0 - (z_\gamma \cdot \sigma_d) / \sqrt{k_t}; \quad (22)$$

$$RD_2 = RD_0 + (z_\gamma \cdot \sigma_d) / \sqrt{k_t}, \quad (23)$$

где σ_d – оценка среднеквадратического отклонения величины Dr на интервале $(0, S_t)$;

– RU_0 – точечная оценка величины RU (16) на интервале $(0, S_t)$:

$$RU_0 = \sum_{i=1}^{k_t} u_i / k_t, \quad (24)$$

где u_i – величина (20); RU_1 , RU_2 – интервальная оценка величины RU :

$$RU_1 = RU_0 - (z_\gamma \cdot \sigma_u) / \sqrt{k_t}; \quad (25)$$

$$RU_2 = RU_0 + (z_\gamma \cdot \sigma_u) / \sqrt{k_t}, \quad (26)$$

где σ_u – оценка среднеквадратического отклонения величины Du на интервале $(0, S_t)$.

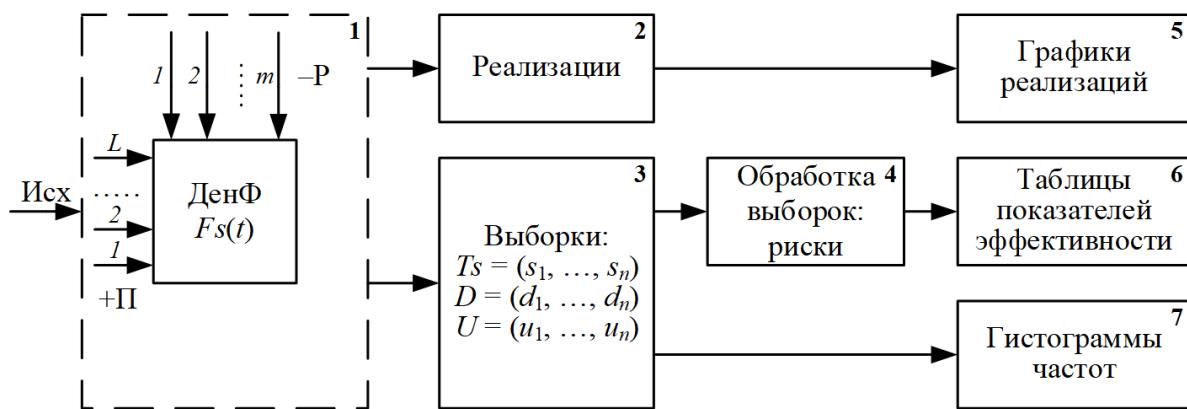


Рис. 1. Схема процесса моделирования работ

Fig. 1. Work modeling process diagram

Для вариантов с хорошей организацией работ по устранению инцидентов информационной безопасности риск (11) должен уменьшаться, а риск в виде коэффициента вариации (14) и финансовые риски (15) и (16) увеличиваться.

Обоснование системного подхода при моделировании работ по устранению инцидентов информационной безопасности

На рис. 1 приведена схема процесса моделирования работ, дадим ее описание.

В первый блок поступают исходные данные (Исх), приведенные ранее. Дополнительно используются такие данные: Tm – максимальное время моделирования, сут.; kvt_j , kvz_j – коэффициенты вариации вероятностных моделей интервалов времени и величины затрат для j -й работы.

К исходным данным также относятся виды вероятностных моделей интервалов времени и величины затрат.

В ДенФ поступают платежи для выполнения работ (+П), число потоков платежей равно L , эти потоки регулярные. Из фонда забираются финансовые средства для оплаты работ (–Р). Число таких потоков равно m , эти потоки случайные и стационарные.

В ДенФ происходит взаимодействие $(m + L)$ денежных потоков. Наличие сложных связей приводит к системному эффекту, который называют эмерджентностью, а именно – появление у системы свойств, не присущих ее компонентам по отдельности. В нашем случае процесс (1), описывающий состояние фонда, получается нестационарным, хотя взаимодействующие потоки являются либо регулярными,

либо стационарными. Этот системный эффект надо учитывать.

Учитывая нестационарность процесса (1), величины (9) существуют не для всех реализаций:

$$P(S < \infty) < 1. \quad (27)$$

Для того чтобы повысить точность дискретно-имитационного моделирования в данном исследовании число реализаций $n_0 = 20\,000$.

На рис. 2 и 3 приведены реализации процесса (1), полученные дискретно-имитационным моделированием (масштаб по оси $у$ носит условный характер). На рис. 2 реализация процесса пересекает ось времени, таким образом величина (9) создается (происходит «обнуление» фонда), а на рис. 3 реализация процесса не пересекает ось времени, таким образом величина (9) не создается (не происходит «обнуление» фонда за время моделирования). Учитывая (27), такие реализа-

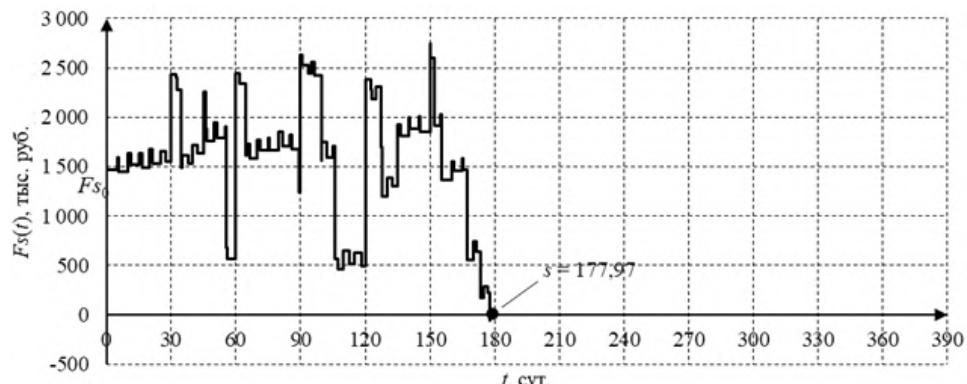


Рис. 2. График реализации с «обнулением» денежного фонда за время моделирования T_m
Fig. 2. Graph of implementation with «zeroing» of the monetary fund during the simulation time T_m

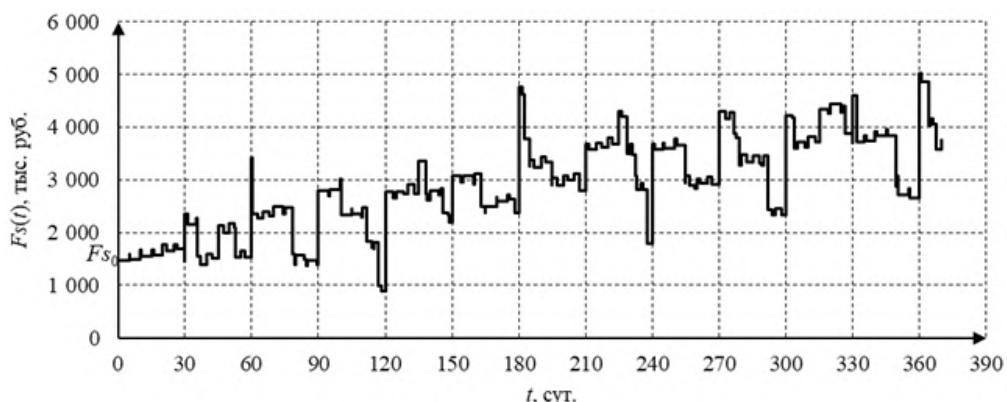


Рис. 3. График реализации без «обнуления» денежного фонда за время моделирования T_m
Fig. 3. Graph of implementation without «zeroing» of the monetary fund during the simulation time T_m

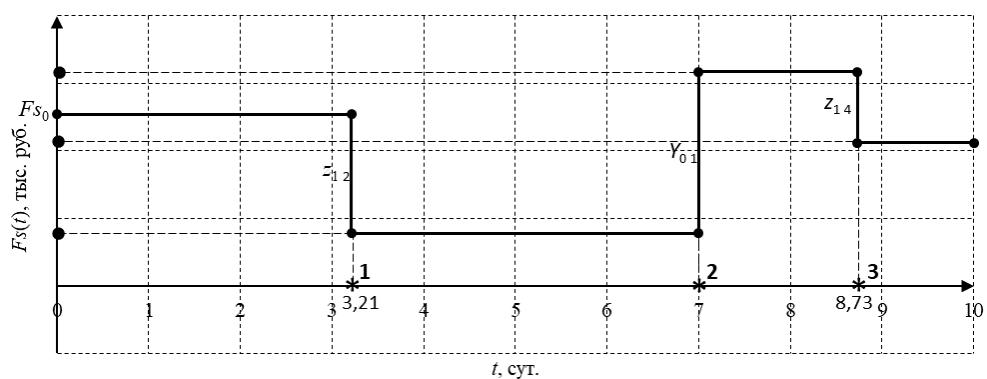


Рис. 4. Фрагмент реализации процесса (1)
Fig. 4. Process implementation fragment (1)

ции будут присутствовать независимо от продолжительности времени моделирования.

Второй блок (см. рис. 1) создает реализации процесса (1), а пятый – представляет их в виде графиков. Третий блок создает выборки (10), (17), (19). Для этого создано специальное алгоритмическое обеспечение, основанное на календаре событий. Это «ядро» дискретно-имитационного моделирования. Календарь событий содержит $(m + L)$ пар чисел: первое число – это код события (КодС); второе число – это время, когда это событие происходит (ТС). Моделирование происходит от события к событию. Всегда выбирается событие, время совершения которого минимально (свершившееся событие удаляется из календаря).

Для каждого кода события создается подпрограмма по его обработке. Важным компонентом этих подпрограмм является планирование следующего события с таким же кодом.

В предлагаемой моделирующей программе первые m кодов $(1, 2, \dots, m)$ – это коды по расходам, а следующие L кодов $(m + 1, m + 2, \dots, m + L)$ – это коды по доходам.

На рис. 4 приведен фрагмент реализации процесса (1), который поясняет работу календаря событий: 1) первым произошло событие, связанное с расходом, например, КС = 2, расход равен z_{12} , ТС = 3,21 сут.; 2) далее произошло событие, связанное с поступлением, например, КС = 6 ($m = 5$), Y_{01} – значение единичного платежа 1-го вида, ТС = 7 сут.; 3) далее произошло событие, связанное с расходом, например, КС = 4, расход равен z_{14} , ТС = 8,73 сут. и т.д.

Четвертый блок обрабатывает выборки, создает точечные и интервальные оценки предложенных показателей эффективности.

Шестой блок формирует значения этих показателей в виде таблиц и графиков, а седьмой – создает по выборкам гистограммы частот.

Апробация созданного программного обеспечения по моделированию работ для устранения инцидентов

Предложенное математическое обеспечение с учетом новых показателей эффективности (15)–(26) реализовано в виде программного обеспечения, ядром которого является моделирующая программа на основе дискретно-имитационного моделирования [21, 23].

Программное обеспечение разработано с использованием языка программирования Py-

thon версии 3.12 [24]. В созданном обеспечении используются модули из библиотеки Python (csv, random, sys, time, math и др.).

Для моделирования значений случайных величин, характеризующих интервалы между инцидентами и затраты на их устранение, моделирующая программа поддерживает следующие законы распределения: равномерное (Равн.), нормальное (Норм.), логнормальное (Логнорм.), бета, гамма, Парето с нулевой точкой (Парето), Бирнбаума-Саундерса (Б.-С.). Выбор этих распределений обусловлен их применимостью в теории рисков, имитационном моделировании и страховой математике [21, 22, 25].

Апробацию созданного программно-математического обеспечения проведем для пяти видов работ ($m = 5$):

1) поддержка и модернизация программных средств защиты информации;

2) восстановление работоспособности технических и программно-аппаратных средств защиты информации;

3) резервное копирование важной информации (облачное хранение, зеркалирование и т.д.);

4) поддержка, восстановление и модернизация средств защиты информации для сложных сетевых инфраструктур (Dallas Lock и т.д.);

5) поддержка и модернизация криптографических средств защиты информации, включая программно-аппаратные комплексы [18].

В табл. 1 приведены исходные данные для этих работ [19] (вероятностные модели и их числовые характеристики): В. м. для интер. – вероятностные модели для интервалов; В. м. для затрат – вероятностные модели для затрат. Другие исходные данные описаны ранее.

Учитывая формулу (6) и значения из табл. 1, общие средние расходы, необходимые для выполнения годового объема всех работ, равны $X = 29\ 440$ тыс. р. Начальное значение (4) вычисляется при $g = 0,05$ или $g = 0,10$.

В данной статье при апробации рассматривается три вида платежей ($L = 3$) для двух вариантов по интервалам: доли платежей l -го вида: $c_1 = 0,333$; $c_2 = 0,333$; $c_3 = 0,334$; В1: интервалы между платежами: $h_1 = 7$ сут., $h_2 = 13$ сут., $h_3 = 25$ сут. Учитывая формулу (8), значения единичных платежей $Y_{01} = 190,62$ тыс. р.; $Y_{02} = 354,02$ тыс. р.; $Y_{03} = 682,84$ тыс. р.; В2: интервалы между платежами: $h_1 = 3$ сут., $h_2 = 9$ сут., $h_3 = 17$ сут. Значения единичных пла-

тежей $Y_{01} = 81,70$ тыс. р.; $Y_{02} = 245,09$ тыс. р.; $Y_{03} = 464,33$ тыс. р.

Варианты В1 и В2 отличаются величиной интервалов между платежами, в варианте В2 они меньше.

В табл. 2 и 3 приведены результаты моделирования (значения однофакторных показателей эффективности), V – варианты моделирования с учетом значения коэффициента g .

Таблица 1. Вероятностные модели и их числовые характеристики

Table 1. Probabilistic models and their numerical characteristics

j	1	2	3	4	5
В. м. для интер.	Норм.	Бета	Равн.	Бета	Норм.
mt_j , сут.	30,0	60,0	30,0	5,0	45,0
kvt_j	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
В. м. для затрат	Логнорм.	Б.-С.	Парето	Логнорм.	Гамма
mz_j , тыс. р.	700,0	1 000,0	200,0	120,0	500,0
kvz_j	0,25	0,25	1,25	0,30	0,15

Таблица 2. Результаты моделирования 1: значения показателей эффективности

Table 2. Simulation results 1: values of performance indicators

V, g	S_t , сут.	k_τ	\tilde{R}_τ	τ_1	τ_2	$\tilde{c}_\tau, \%$	$v_1, \%$	$v_2, \%$
B1 0,05	90	689	0,0345	0,0324	0,0366	19,80	17,17	22,82
	180	2 416	0,1208	0,1170	0,1247	34,45	32,50	36,52
	270	4 043	0,2021	0,1975	0,2069	39,60	37,97	41,30
	360	5 446	0,2723	0,2671	0,2775	43,99	42,51	45,53
B2 0,05	90	370	0,0185	0,0170	0,0201	20,34	16,79	24,64
	180	1 570	0,0785	0,0754	0,0817	33,26	30,90	35,80
	270	2 948	0,1474	0,1433	0,1516	36,75	34,92	38,68
	360	4 120	0,2060	0,2013	0,2108	40,93	39,29	42,65
B1 0,10	90	18	0,0009	0,0006	0,0013	23,36	10,10	54,06
	180	140	0,0070	0,0061	0,0080	27,58	21,03	36,17
	270	423	0,0211	0,0195	0,0229	26,59	22,70	31,16
	360	829	0,0415	0,0392	0,0438	28,35	25,41	31,63
B2 0,10	90	16	0,0008	0,0005	0,0012	19,90	7,61	52,02
	180	85	0,0043	0,0035	0,0051	31,29	22,55	43,43
	270	276	0,0138	0,0125	0,0152	27,71	22,86	33,59
	360	583	0,0291	0,0272	0,0312	28,32	24,85	32,28

Таблица 3. Результаты моделирования 2: значения показателей эффективности

Table 3. Simulation results 2: values of performance indicators

V, g	S_t , сут.	k_τ	RD_0	RD_1	RD_2	RU_0	RU_1	RU_2
B1 0,05	90	689	6 165,8	6 089,3	6 242,3	5 931,4	5 856,5	6 006,2
	180	2 416	10 405,7	10 275,9	10 535,5	10 173,0	10 043,8	10 302,2
	270	4 043	13 888,8	13 730,7	14 046,9	13 656,9	13 499,1	13 814,7
	360	5 446	17 095,7	16 907,4	17 284,1	16 863,3	16 675,1	17 051,4
B2 0,05	90	370	6 254,4	6 151,9	6 356,9	5 999,2	5 894,5	6 104,0
	180	1 570	11 053,6	10 891,9	11 215,2	10 809,6	10 648,1	10 971,0
	270	2 948	14 934,6	14 752,7	15 116,5	14 689,5	14 507,9	14 871,2
	360	4 120	18 375,2	18 161,1	18 589,2	18 134,2	17 920,1	18 348,2
B1 0,10	90	18	7 745,8	7 254,7	8 236,8	7 411,2	6 872,4	7 950,1
	180	140	13 627,5	13 127,7	14 127,3	13 314,4	12 811,4	13 817,3
	270	423	18 517,9	18 113,2	18 922,7	18 254,1	17 847,3	18 660,9
	360	829	23 187,1	22 788,9	23 585,3	22 932,6	22 533,6	23 331,6
B2 0,10	90	16	7 792,0	7 247,0	8 337,0	7 400,3	6 915,6	7 885,1
	180	85	13 324,8	12 622,2	14 027,4	13 040,2	12 328,9	13 751,4
	270	276	18 769,8	18 244,3	19 295,2	18 501,5	17 974,9	19 028,1
	360	583	23 982,7	23 494,2	24 471,2	23 730,5	23 241,3	24 219,7

Для варианта В2 точечные оценки риска (13) значимо (доверительные интервалы не пересекаются) меньше, чем для варианта В1 для обоих случаев ($g = 0,05$ и $g = 0,10$). Точечные оценки финансовых рисков (21), (24) для варианта В2 значимо больше, чем для варианта В1 для обоих случаев. Таким образом, можно сделать вывод, что интервалы между платежами желательно уменьшать.

Риск в виде точечной оценки коэффициента вариации (12) также подтверждает этот вывод, но не всегда значимо (доверительные интервалы иногда пересекаются). Это связано с тем, что оценки коэффициента вариации достаточно чувствительны к объему выборки из-за необходимости оценки среднеквадратического отклонения.

Заключение

Проведено обоснование системного подхода при моделировании работ по устранению инцидентов информационной безопасности.

Показано, что при использовании денежного фонда процесс, описывающий его состояние, имеет нестационарный характер, хотя взаимодействующие денежные потоки являются либо регулярными, либо стационарными.

Предложены дополнительно к существующим два однофакторных финансовых риска в виде математических ожиданий случайных величин. При имитационном моделировании они вычисляются через точечные и интервальные оценки.

С учетом изменения математического обеспечения доработано программное обеспечение, ядром которого является моделирующая программа на основе дискретно-имитационного моделирования. Программное обеспечение разработано с использованием языка программирования Python версии 3.12.

Проведена апробация предложенного программно-алгоритмического обеспечения, получены научные и практические рекомендации.

Список литературы

1. Кондауров С.Н., Бунина А.В., Митрофанов А.В. Проблемы обеспечения информационной безопасности в корпоративных сетях // Современные информационные технологии и информационная безопасность : сб. науч. ст. III Всерос. науч.-техн. конф. Курск, 2024. С. 69–72.
2. Краковский Ю.М. Методы защиты информации. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 236 с.
3. Ким В.В., Белан Л.С. Экономический рост и перспективы инновационного развития России // Вестн. Тул. филиала Финуниверситета. 2023. № 1. С. 244–245.
4. Стародубова А.А., Исхакова Д.Д. Инновационные стратегии цифровых предприятий для достижения устойчивого развития в регионах // π-Economy. 2023. Т. 16. № 1. С. 39–50.
5. Руднева Л.Н. Тенденции инновационного развития российской экономики // Фундаментальные исследования. 2023. № 2. С. 50–56.
6. Тебекин А.В. Анализ проблем и перспектив реализации планов импортозамещения в отраслях промышленности // Транспортное дело России. 2022. № 2. С. 159–165.
7. Абдиев Н.М. Импортозамещение в высокотехнологичных отраслях промышленности в условиях внешних санкций // Управленческие науки. 2022. Т. 12. № 3. С. 53–69.
8. Ковалева Н.Д., Гузич Ю.В. Применение корпоративных информационных систем в условиях импортозамещения // Актуальные проблемы развития современной экономики : сб. тез. студентов и магистров III межвуз. студен. науч.-теорет. конф. Ростов-на-Дону, 2015. Т. IV. С. 96–102.
9. Верещагин И.Ю. Современные угрозы и риски информационной безопасности корпоративных систем в условиях импортозамещения // Вестник Евразийской науки. 2024. Т. 16. № S4. URL: <https://esj.today/PDF/28FAVN424.pdf> (Дата обращения 01.02.2025).
10. Алиева М.М. Изменение бизнес-модели корпоративной информационной системы логистической компании в условиях новой реальности // Молодежь и ее роль в современной экономике и обществе: проблемы и перспективы взаимодействия : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. М., 2022. С. 103–107.
11. Ашихмин Р.С., Борисова О.В. Искусственный интеллект: реальный потенциал для повышения эффективности бизнеса и государства // Вызовы цифровой экономики: технологический суперенитет и экономическая безопасность : сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Брянск, 2023. С. 45–48.
12. Авдеенко Е.Е., Шитый А.Д. Использование искусственного интеллекта в целях повышения эффективности развития бизнеса и государства // Вызовы цифровой экономики: технологический суперенитет и экономическая безопасность : сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Брянск, 2023. С. 14–18.
13. Сивицкий Д.А. Анализ опыта и перспектив применения искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ. 2021. № 2 (57). С. 33–41.
14. Краковский Ю.М. Методы и средства защиты информации. СПб. : Лань, 2024. 272 с.
15. Оганесян Л.Л., Козырь Н.С. Проектное управление в информационной безопасности // Вестник Академии знаний. 2023. № 4 (57). С. 207–209.

16. Сизов В.А., Дрожкин А.А. Моделирование экономики информационной безопасности субъекта экономической деятельности на основе симплекс-метода // Вестн. Рос. экон. ун-та им. Г.В. Плеханова. 2021. Т. 18. № 1 (115). С. 173–178.
17. Ефимов Е.Н., Лапицкая Е.М. Оценка эффективности мероприятий информационной безопасности в условиях неопределенности // Бизнес-информатика. 2015. № 1 (31). С. 51–57.
18. Krakovskiy Ю.М., Kirgizbaev B.P. Влияние вероятностных моделей работ, связанных с защитой информации, на значения показателей эффективности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2024. № 3 (35). С. 112–119.
19. Krakovskiy Ю.М., Kirgizbaev B.P. Программно-математическое обеспечение для исследования показателей эффективности экономики информационной безопасности // System Analysis and Mathematical Modeling. 2024. Т. 6. № 2. С. 209–220.
20. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории рисков. М. : Физматлит, 2011. 620 с.
21. Krakovskiy Ю.М., Хоанг Н.А. Моделирование ремонтных работ оборудования на основе случайного процесса риска // Прикладная информатика. 2020. Т. 15. № 6. С. 5–15.
22. Холлендер М., Вулф Д.А. Непараметрические методы статистики. М. : Финансы и статистика, 1983. 518 с.
23. Кельтон В.Д., Лоу А.М. Имитационное моделирование. СПб. : Питер, 2004. 847 с.
24. Лутц М. Изучаем Python. Т. 1. СПб. : Диалектика, 2019. 832 с.
25. Мак Т. Математика рискового страхования. М. : Олимп-Бизнес, 2005. 432 с.

References

1. Kondaurov S.N., Bunina A.V., Mitrofanov A.V. Problemy obespecheniya informatsionnoi bezopasnosti v korporativnykh setyakh [Problems of ensuring information security in corporate networks]. *Sbornik nauchnykh statei III Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii «Sovremennye informatsionnye tekhnologii i informatsionnaya bezopasnost'»* [Proceedings of Scientific Articles of the III All-Russian Scientific and Technical Conference «Modern Information Technologies and Information Security»]. Kursk, 2024, pp. 69–72.
2. Krakovskiy Y.M. Metody zashchity informatsii [Methods of Information Protection]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2021. 236 p.
3. Kim V.V., Belan L.S. Ekonomicheskii rost i perspektivy innovatsionnogo razvitiya Rossii [Economic growth and prospects for innovative development of Russia]. *Vestnik Tul'skogo filiala Finuniversiteta* [Bulletin of the Tula Branch of the Financial University], 2023, no 1, pp. 244–245.
4. Starodubova A.A., Iskhakova D.D. Innovatsionnye strategii tsifrovyykh predpriyatiy dlya dostizheniya ustochivogo razvitiya v regionakh [Innovative strategies of digital enterprises for achieving sustainable development in the regions], π-Economy, 2023, Vol. 16, no 1, pp. 39–50.
5. Rudneva L.N. Tendentsii innovatsionnogo razvitiya rossiiskoi ekonomiki [Trends in the innovative development of the Russian economy]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2023, no 2, pp. 50–56.
6. Tebekin A.V. Analiz problem i perspektiv realizatsii planov importozameshcheniya v otrazlyakh promyshlennosti [Analysis of the problems and prospects of implementing import substitution plans in industry]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business of Russia], 2022, no 2, pp. 159–165.
7. Abdikeev N.M. Importozameshchenie v vysokotekhnologichnykh otrazlyakh promyshlennosti v usloviyakh vneshnikh sanktsii [Import substitution in high-tech industries under external sanctions]. *Upravlencheskie nauki* [Management Sciences], 2022, Vol. 12, no. 3, pp. 53–69.
8. Kovaleva N.D., Guzich Yu.V. Primenenie korporativnykh informatsionnykh sistem v usloviyakh importozameshcheniya [The use of corporate information systems under import substitution conditions]. *Sbornik tezisov studentov i magistrantov III mezhvuzovskoi nauchno-teoreticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy razvitiia sovremennoi ekonomiki»* [Proceedings of the III Interuniversity Student Scientific and Theoretical Conference «Actual Issues of Modern Economic Development»]. Rostov-on-Don, 2015, Vol. 4, pp. 96–102.
9. Vereshchagin I.Yu. Sovremennye ugrozy i riski informatsionnoi bezopasnosti korporativnykh sistem v usloviyakh importozameshcheniya [Modern threats and risks to information security of corporate systems under import substitution conditions]. *Vestnik Evraziiskoi nauki* [Bulletin of Eurasian Science], 2024, Vol. 16, iss. S4. Available at: <https://esj.today/PDF/28FAVN424.pdf> (Accessed February 1, 2025).
10. Alieva M.M. Izmenenie biznes-modeli korporativnoi informatsionnoi sistemy logisticheskoi kompanii v usloviyakh novoi real'nosti [Changing the business model of a corporate information system of a logistics company under the new reality]. *Sbornik nauchnykh trudov ezhegodnoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Molodezh' i ee rol' v sovremennoi ekonomike i obshchestve: problemy i perspektivy vzaimodeistviya»* [Proceedings of the Annual International Scientific-Practical Conference of Students and Young Scientists «Youth and Its Role in the Modern Economy and Society: Problems and Prospects for Interaction»]. Moscow, 2022, pp. 103–107.
11. Ashikhmin R.S., Borisova O.V. Iskusstvennyi intellekt: real'nyi potentsial dlya povysheniya effektivnosti biznesa i gosudarstva [Artificial intelligence: the real potential for improving the efficiency of business and the state]. *Sbornik statei VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezdunarodnym uchastiem «Vyzovy tsifrovoi ekonomiki: tekhnologicheskii suverenitet i ekonomicheskaya bezopasnost'»* [Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation «Challenges of the digital economy: technological sovereignty and economic security»]. Bryansk, 2023, pp. 45–48.
12. Avdeenko E.E., Shityi A.D. Ispol'zovanie iskusstvennogo intellekta v tselyakh povysheniya effektivnosti razvitiya biznesa i gosudarstva [The use of artificial intelligence in order to improve the efficiency of business and government development]. *Sbornik statei VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezdunarodnym uchastiem «Vyzovy tsifrovoi ekonomiki: tekhnologicheskii suverenitet i ekonomicheskaya bezopasnost'»* [Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation «Challenges of the digital economy: technological sovereignty and economic security»]. Bryansk, 2023, pp. 14–18.

13. Sivitskii D.A. Analiz opyta i perspektiv primeneniya iskusstvennykh neironnykh setei na zheleznodorozhnom transporte [Analysis of the experience and prospects of using artificial neural networks in railway transport]. *Vestnik Sibirsogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Siberian State Transport University], 2021, no 2 (57), pp. 33–41.
14. Krakovskii Y.M. Metody i sredstva zashchity informatsii [Methods and Means of Information Protection]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2024. 272 p.
15. Oganesian L.L., Kozyr' N.S. Proektnoe upravlenie v informatsionnoi bezopasnosti [Project management in information security]. *Vestnik Akademii znanii* [Bulletin of the Academy of Knowledge], 2023, no 4 (57), pp. 207–209.
16. Sizov V.A., Drozhkin A.A. Modelirovaniye ekonomiki informatsionnoi bezopasnosti sub'ekta ekonomicheskoi deyatel'nosti na osnove simpleks-metoda [Modeling the economics of information security of an economic entity based on the simplex method]. *Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova* [Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics], 2021, Vol. 18, no 1 (115), pp. 173–178.
17. Efimov E.N., Lapitskaya E.M. Otsenka effektivnosti meropriyatiy informatsionnoi bezopasnosti v usloviyakh neopredelennosti [Evaluation of the effectiveness of information security measures under conditions of uncertainty]. *Biznes-informatika* [Business Informatics], 2015, no 1 (31), pp. 51–57.
18. Krakovskii Y.M., Kirgizbaev V.P. Vliyanie veroyatnostnykh modelei rabot, svyazannykh s zashchitoi informatsii, na znacheniya pokazatelei effektivnosti [The influence of probabilistic models of work related to information protection on the values of efficiency indicators]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v naune i upravlenii* [Information and Mathematical Technologies in Science and Management], 2024, no 3 (35), pp. 112–119.
19. Krakovskii Y.M., Kirgizbaev V.P. Programmnno-matematicheskoe obespechenie dlja issledovaniya pokazatelei effektivnosti ekonomiki informatsionnoi bezopasnosti [Software and mathematical support for studying the efficiency indicators of the information security economy]. *System Analysis and Mathematical Modeling*, 2024, Vol. 6, no 2, pp. 209–220.
20. Korolev V.Yu., Bening V.E., Shorgin S.Ya. Matematicheskie osnovy teorii riskov [Mathematical Foundations of Risk Theory]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2011. 620 p.
21. Krakovskii Y.M., Khoang N.A. Modelirovaniye remontnykh rabot oborudovaniya na osnove sluchainogo protsessa riska [Modeling of equipment repair works based on a random risk process]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics], 2020, Vol. 15, no 6, pp. 5–15.
22. Hollander M., Wolfe D.A. Neparametricheskie metody statistiki [Nonparametric Statistical Methods]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1983. 518 p.
23. Law A.M., Kelton W.D. Imitatsionnoe modelirovaniye [Simulation Modeling and Analysis]. Saint Petersburg: Piter Publ., 2004. 847 p.
24. Lutz M. Izuchae Python. T. 1 [Learning Python. Vol. 1]. Saint Petersburg: Dialektika Publ., 2019. 832 p.
25. Mack T. Matematika riskovogo strakhovaniia [Mathematics of Risk Insurance]. Moscow: Olimp-Biznes Publ., 2005. 432 p.

Информация об авторах

Краковский Юрий Мечеславович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: yuri.krakovskiy@yandex.ru.

Киргизбаев Владислав Павлович, аспирант кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: v.p.kirgizbaev@gmail.com.

Information about the authors

Yuriii M. Krakovskii, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: yuri.krakovskiy@yandex.ru.

Vladislav P. Kirgizbaev, Postgraduate Student of the Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: v.p.kirgizbaev@gmail.com.

Моделирование тонкостенных металлических уплотнений пониженной жесткости

Ю.И. Белоголов[✉]

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

[✉]belogolov_yi@irgups.ru

Резюме

В статье рассматриваются вопросы снижения нагрузки на тонкостенное уплотнение затвора клапана и, как следствие, минимизации требуемого усилия герметизации создаваемого движущейся частью затвора («золотником») на тонкостенное металлическое уплотнение («седло»), выполненное в виде осесимметричной оболочки. Уменьшение нагрузки со стороны привода может быть достигнуто за счет компенсации («разгрузки») затвора от давления герметизируемой среды, а также за счет снижения приведенной жесткости уплотнения (оболочки). В последнем случае тонкостенная оболочка может быть размещена на пластине (наиболее технологически рациональное исполнение). Такие конструктивные решения будем называть тонкостенными металлическими уплотнениями пониженной жесткости. Расчет и анализ тонкостенных уплотнений пониженной жесткости более сложной геометрической формы, по сравнению с указанной выше, следует проводить с использованием специализированных программных комплексов САЕ моделирования, например APM WinMachine. Моделирование тонкостенных уплотнений выполнено в модуле конечно-элементного анализа APM Structure 3D. При нагружении тонкостенных уплотнений, составляющая давления герметизируемой (рабочей) среды не учитывалась, так как процесс нагружения происходит достаточно быстро. По итогам расчетов были получены «Карты» эквивалентных напряжений SVM и «Карты» перемещений. Результаты этого исследования сравниваются с ранее полученными данными для тонкостенной осесимметричной оболочки и оболочечно-пластинчатого «седла». Можно говорить о том, что для тонкостенных уплотнений пониженной жесткости имеется возможность уменьшения рациональных размеров (толщины) оболочки и есть необходимости увеличения рациональных размеров (толщины) пластины при принятых исходных геометрических параметрах.

Ключевые слова

трубопроводная арматура, APM WinMachine, тонкостенное уплотнение (упрагая кромка), APM Structure 3D, конечно-элементное моделирование, уплотнения пониженной жесткости

Для цитирования

Белоголов Ю.И. Моделирование тонкостенных металлических уплотнений пониженной жесткости / Ю.И. Белоголов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 127–141. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).127-141.

Информация о статье

поступила в редакцию: 04.03.2025 г.; поступила после рецензирования: 11.03.2025 г.; принята к публикации: 13.03.2025 г.

Modeling of thin-walled metal seals with reduced rigidity

Yu. I. Belogolov[✉]

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

[✉]belogolov_yi@irgups.ru

Abstract

The article considers the issues of reducing the dynamic (impact) load and, as a consequence, the required sealing force exerted by the moving part of the gate («spool») on the thin-walled metal seal («seat»), made in the form of an axisymmetric shell. The reduction of dynamic loads from the drive side can be achieved by compensating («unloading») the gate from the pressure of the sealed medium, or by lowering the reduced rigidity of the seal (shell). In the latter case, the thin-walled shell can be placed on a plate - the most technologically rational design. Such design solutions will be called thin-walled metal seals of low rigidity. The calculation and analysis of thin-walled seals of low rigidity of a more complex geometric shape, as compared to the above, should be carried out using specialized CAE modeling software packages, for example, APM WinMachine. Modeling of thin-walled seals is performed in the finite element analysis module APM Structure 3D. When loading thin-walled seals, the pressure component of the sealed (working) medium was not taken into account, assuming that the loading process occurs quickly enough. As a result of the calculations, «Maps» of equivalent SVM stresses and «Maps» of «saddle» displacements were obtained. In addition, the obtained results are compared with the results of studies conducted earlier for a thin-walled axisymmetric shell and a shell-plate «saddle». The results obtained for thin-walled seals of reduced rigidity indicate the possibility of reducing the rational dimensions (thickness) of the shell and the need to increase the rational dimensions (thickness) of the plate with the adopted initial geometric parameters.

Keywords

pipeline valves, APM WinMachine, thin-walled seal (elastic lip), APM Structure 3D, finite element modeling, low-stiffness seals

For citation

Belogolov Yu.I. Modelirovaniye tonkostennnykh metallicheskikh uplotnenii ponizhennoi zhestkosti [Modeling of thin-walled metal seals with reduced rigidity]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. No. 1 (85). Pp. 127–141. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).127-141.

Article Info

Received: March 4, 2025; Revised: March 11, 2025; Accepted: March 13, 2025.

Введение

Исследования, представленные в работах [1–7], показали, что использование тонкостенных металлических уплотнений в качестве неподвижной части затвора клапана, получило широкое распространение в уплотнительной технике. В таких соединениях перекрытие потока рабочей среды происходит в затворе, ответные части которого выполнены из металла (рис. 1). Неподвижная часть соединения – тонкостенное уплотнение («седло») – имеет форму цилиндрической осесимметричной оболочки [8], как технологически наиболее простого в производстве, подвижная часть затвора – «золотник» – коническую форму, что позволяет компенсировать отклонения формы «седла».

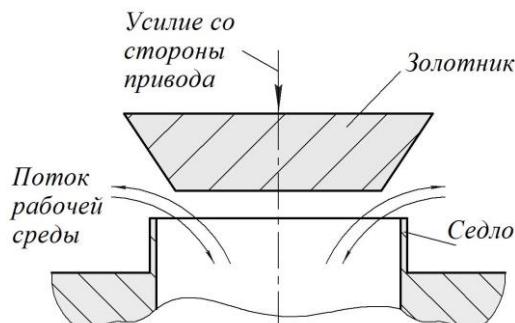


Рис. 1. Затвор уплотнительного соединения
Fig. 1. Sealing joint shutter

В уплотнительных соединениях типа «металл – металл» имеется ряд преимуществ по сравнению с соединениями «полимер – полимер» и «металл – полимер» [9–11], основными из которых являются:

- снижение массо-габаритных характеристик конструкции;
- снижение необходимого усилия со стороны привода, обеспечивающего герметичность затвора;
- равномерное распределение усилия по периметру в зоне контакта «золотник – седло»;

– высокий ресурс работы уплотнительно-го соединения.

Применение тонкостенных металлических уплотнений в конструкциях затворов целеобразно и в тех случаях, когда по условиям эксплуатации (давление, температура, химический состав рабочей среды и др.) использование полимерных невозможно.

При всех положительных свойствах тонкостенных металлических уплотнений существует и ряд ограничений. Основным недостатком таких уплотнений является чувствительность к условиям силового (ударного) нагружения со стороны привода, в результате которого возникают пластические деформации «седла» и происходит его разрушение.

Одним из направлений совершенствования затворов с тонкостенными металлическими уплотнениями является снижение приведенной жесткости «седла» [12, 13]. Отметим, что при снижении динамической (ударной) нагрузки, действующей на оболочечный элемент, его можно сделать более тонкостенным, что приведет к снижению энергии, необходимой для выбора отклонений формы «седла» и, как следствие, снижению требуемого усилия привода, что, в свою очередь, улучшит массогабаритные характеристики изделия в целом.

Принимая квазистатическое нагружение тонкостенного элемента, действие распределенной нагрузки от давления герметизируемой среды не учитываем, так как за время быстро-протекающего ударного нагружения одностороннее давление герметизируемой среды не проявляется.

Простейшие варианты снижения приведенной жесткости уплотнительного соединения могут быть предложены с использованием оболочечного элемента сильфонного типа, торoidalного или оболочечно-пластинчатого типа. Рассмотрение вариантов снижения приведенной жесткости, расчет и анализ полученных результатов составляют цель научной статьи.

Снижение приведенной жесткости уплотнения

Как уже отмечалось, в научных работах рассматривался затвор клапана, «седло» которого выполнено в виде тонкостенной оболочки, расположенной на упругой пластине (рис. 2).

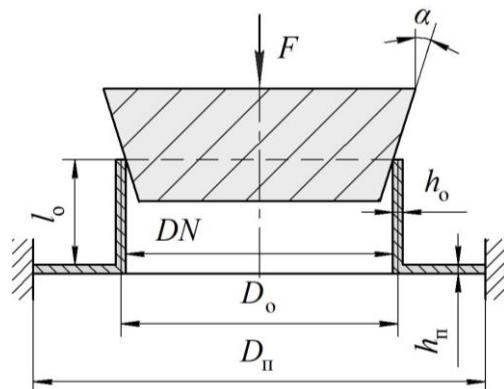


Рис. 2. Расчетная модель:

DN – диаметр условного прохода; h_0 – толщина оболочки; $h_{\text{п}}$ – толщина пластины; l_0 – высота оболочки; D_0 – диаметр оболочки; $D_{\text{п}}$ – диаметр пластины; F – нагрузка со стороны привода; α – угол при вершине конуса

Fig. 2. Calculation model:

DN – nominal bore diameter; h_0 – shell thickness; $h_{\text{п}}$ – plate thickness; l_0 – shell height; D_0 – shell diameter; $D_{\text{п}}$ – plate diameter; F – drive-side load; α – cone apex angle

Модель «седла» была принята в качестве расчетной и рассмотрена в научных исследованиях автора.

Расчет и анализ тонкостенных металлических уплотнений более сложной геометрической формы (рис. 3) проведем с использованием

метода конечных элементов (МКЭ) в программном продукте APM WinMachine, который был разработан научно-техническим центром «Автоматизированное проектирование машин».

Построение моделей и оценка напряженно-деформированного состояния «седла» затвора клапана выполняется непосредственно в модуле APM Structure 3D [14].

Учет геометрических параметров, разбиение на КЭ, а также приложение нагрузок к модели, производятся в соответствии с рекомендациями, указанными для модуля APM Structure 3D в [15, 16].

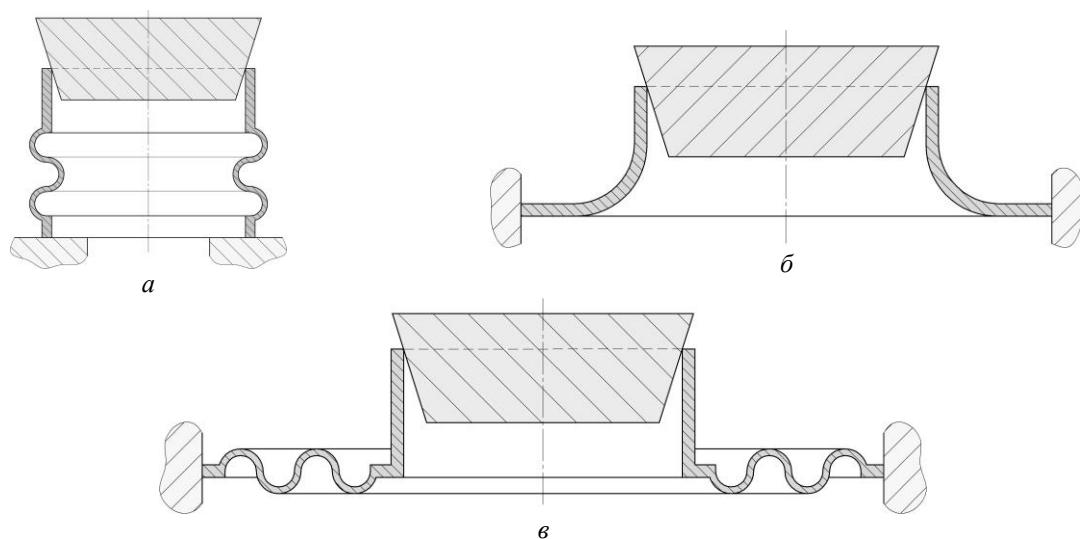
В табл. 1 представлены размеры «седла» затвора клапана, показанного на рис. 2.

Для форм «седла», представленных на рис. 3, геометрические размеры, не указанные в табл. 1, показаны на рис. 4 и приведены в табл. 2.

Моделирование «седла»

На рис. 5. показаны КЭ модели для конструктивных решений «седла» пониженной жесткости (см. рис. 2 и 3). Модели выполнены из четырехугольных КЭ в виде пластин. Учитывая, что толщина стенок «седла» одинакова, сначала выполняется построение поперечного сечения из стержней с применением операции «Полярный массив», а затем уже смоделированным пластинам присваивается толщина в соответствии с принятыми значениями.

При этом необходимо следить, чтобы в местах концентрации напряжений (углах, изгибах оболочки) разбиение на КЭ было более «мелким» [15, 17].



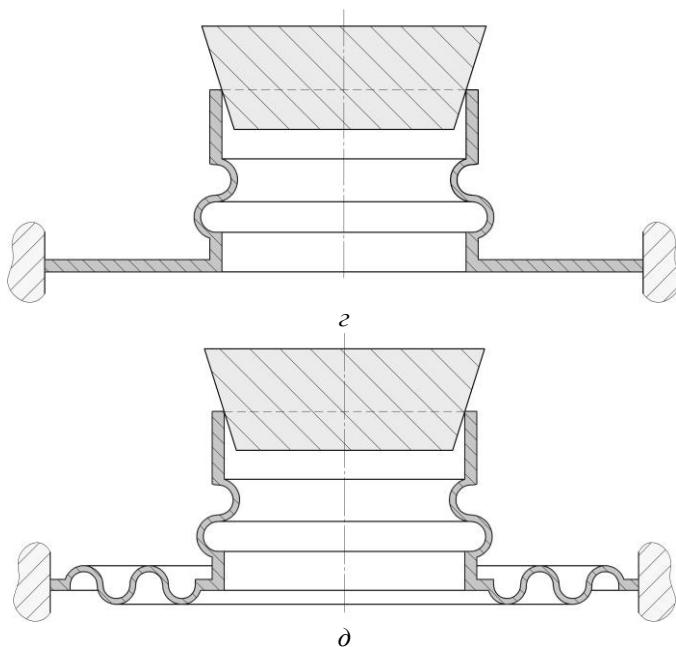


Рис. 3. Варианты снижения приведенной жесткости седла:

a, b – «седло» сильфонное; б – тороидальной «седло»; г, д – «седло» сильфонное пониженной жесткости

Fig. 3. Options for reducing the reduced rigidity of the seat:

a, b – bellows «seat»; б – toroidal «seat»; г, д – bellows «seat» of reduced rigidity

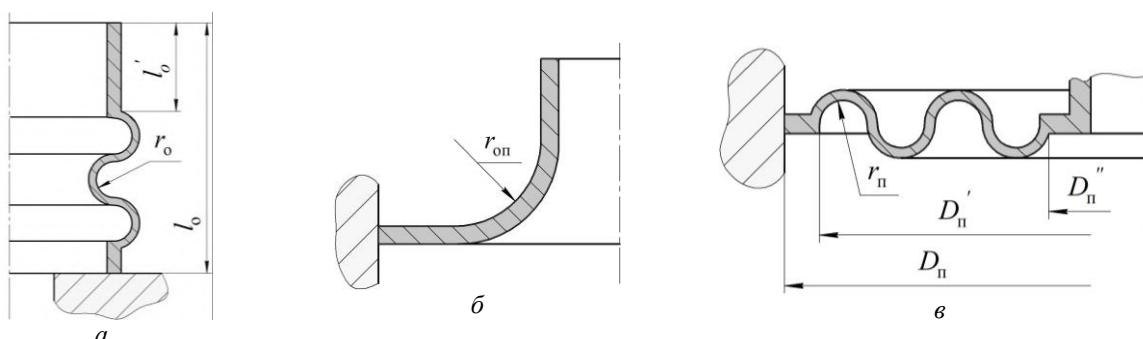


Рис. 4. Часть геометрических размеров «седла»

a – сильфонная оболочка; б – тороидальное «седло»; в – сильфонная пластина

Fig. 4. Part of the geometric dimensions of the «saddle»

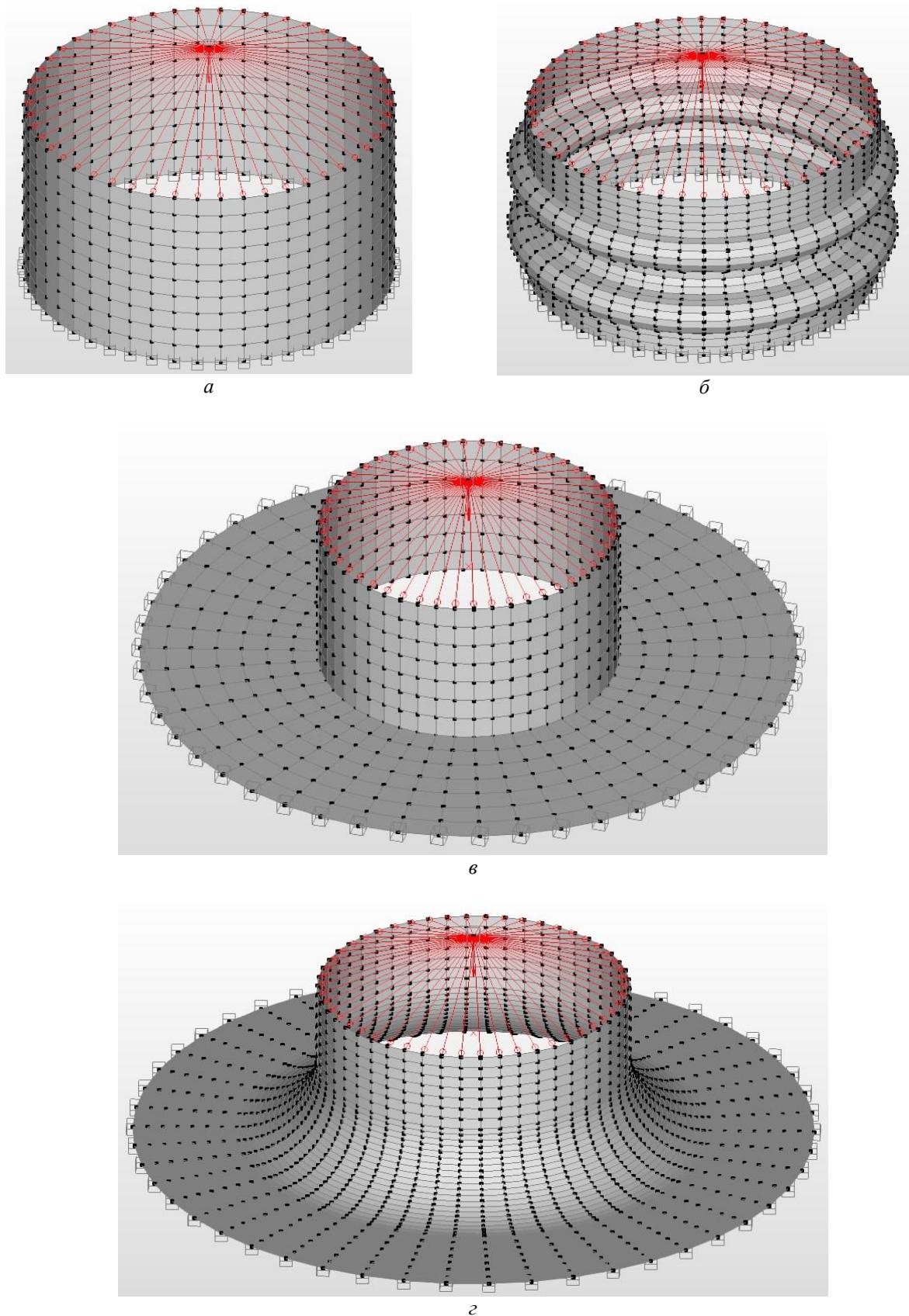
a – bellows shell; б – toroidal «saddle»; в – bellows plate

Таблица 1. Геометрические размеры «седла» клапана и нагрузка
Table 1. Geometric dimensions of the valve seat and load

Нагрузка Load $F, \text{Н}$	Толщина Thickness $h_o / h_n, \text{мм}$	Высота Height $l_o, \text{мм}$	Диаметр Diameter $D_o / D_n, \text{мм}$	Угол конуса Cone angle $\alpha, {}^\circ$	Угол трения Friction angle $f, {}^\circ$	Диаметр Diameter $DN, \text{мм}$
460	1/1	20	39/85	15	5	39

Таблица 2. Часть размеров «седла» клапана пониженной жесткости
Table 2. Part of the dimensions of the «seat» of the valve of reduced rigidity

Радиус $r_o, \text{мм}$	Радиус $r_n, \text{мм}$	Радиус $r_{on}, \text{мм}$	Высота $l'_o, \text{мм}$	Диаметр $D'_n, \text{мм}$	Диаметр $D''_n, \text{мм}$
2	2	10	5	79	47



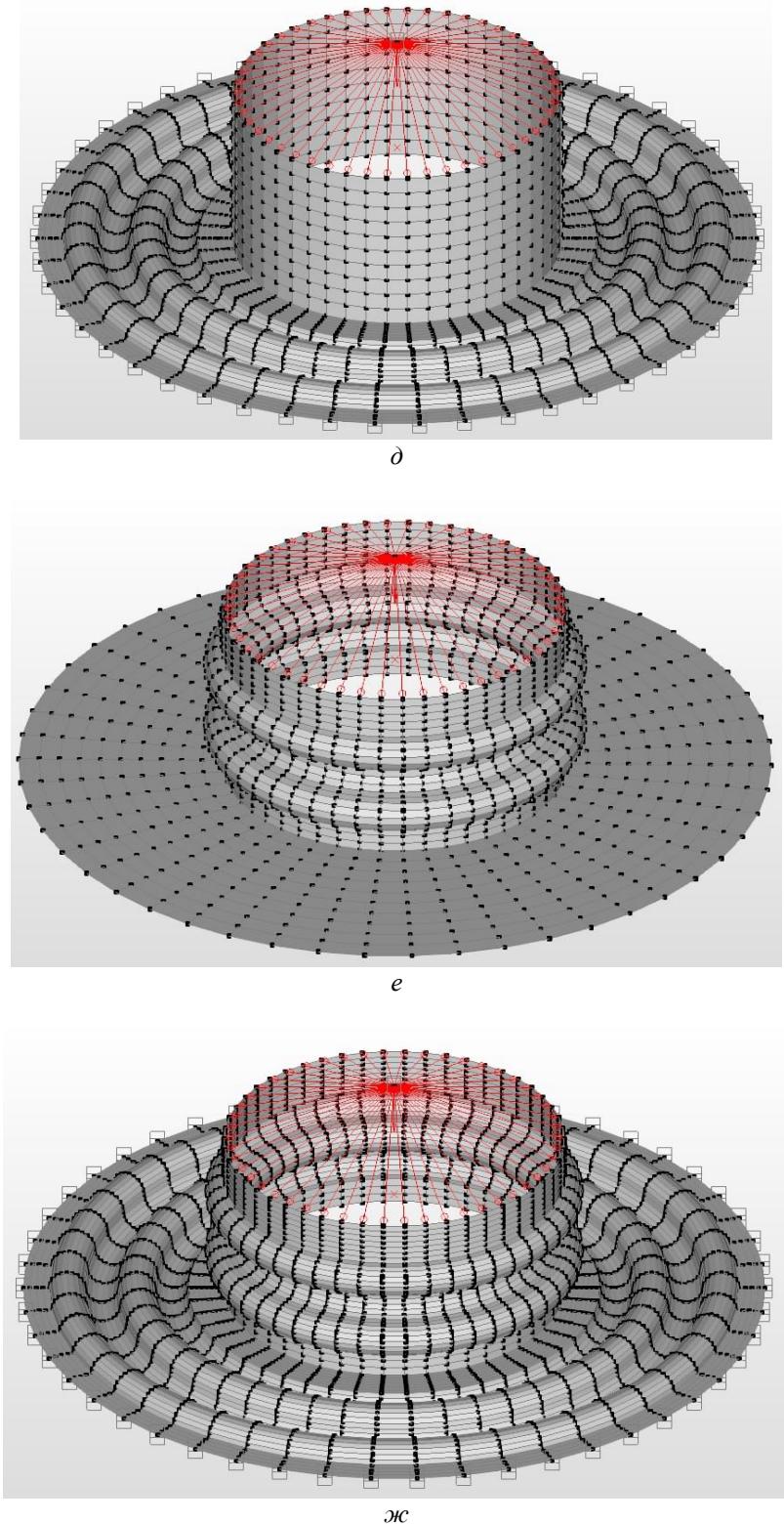


Рис. 5. Конечно-элементные модели «седла»:
 а – оболочечное «седло»; б – «седло» сильфонное; в – оболочечно-пластинчатое «седло»;
 г – торoidalное «седло»; д–ж – «седло» сильфонное пониженной жесткости

Fig. 5. Finite element models of the «saddle»:
 а – shell «saddle»; б – bellows «saddle»; в – shell-plate «saddle»; г – toroidal «saddle»;
 д–ж – bellows «saddle» of low rigidity

В качестве материала «седла» выбрана бронза БрО5Ц5С5, подгруппа – оловянная литейная с пределом текучести 90 МПа в соответствии с ГОСТ 613-79. Выбранный материал отличается малой чувствительностью к перегреву и газам, не дает искры при ударах, совмещая в себе высокую устойчивость к коррозии и долговечность.

Нагружение «седла» «золотником» клапана моделируется за счет приложения силы к узлу, соединенному через группу «вспомогательных» стержней с узлами торца оболочки. Угол приложения нагрузки соответствует половине угла при вершине конуса «золотника» с учетом коэффициента трения и составляет 20°.

Нагрузка на «седло» клапана со стороны «золотника» составляет 460 Н с учетом коэффициента запаса прочности ($k = 1,5$) и предела упругости для бронзы 260 МПа.

Достаточно важным этапом моделирования является освобождение связей на концах «вспомогательных» стержней (создание шарниров), в противном случае стержень и узел оболочки образуют жесткую связь и результаты расчетов становятся некорректными. Это достаточно хорошо видно, если проанализировать деформированную конструкцию «седла» без вывода «изообластей» для «карт» результатов.

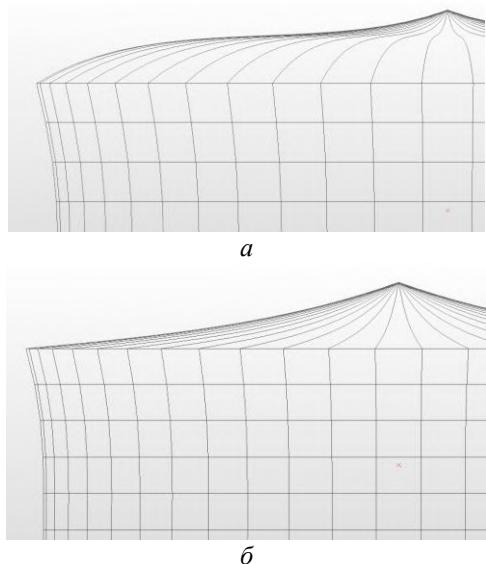


Рис. 6. Модель деформирования торца «оболочки»
а – жесткая связь «вспомогательных» стержней с узлами оболочки; б – шарнирная связь «вспомогательных» стержней с узлами оболочки

Fig. 6. Model of deformation of the end face of the «shell»:
a – rigid connection of the «auxiliary» rods with the nodes of the shell; б – hinged connection of the «auxiliary» rods with the nodes of the shell

Чтобы не утяжелять модель дополнительными массами и не вводить погрешность при расчетах, плотность материала «вспомогательных» стержней можно выбрать малой, но не нулевой [14]. Указанное условие было выполнено при моделировании «вспомогательных» стержней.

Отметим, что деформация «вспомогательных» стержней допустима и, согласно [15], если результаты расчета покажут, что максимальное напряжение возникает не в оболочке, а в стержнях жестких вставок, то это будет указывать на неверный выбор габаритного размера их поперечного сечения и в этом случае потребуется его увеличить. Следует также учитывать, что выбор значительных размеров поперечного сечения стержней приведет к появлению ошибок при моделировании и скажется на конечном результате расчета.

Закрепление для конструкций «седла» клапана на рис. 5, в–ж, производится по внешнему диаметру $D_{\text{п}}$ пластины в виде жесткой заделки, а для схем рис. 5, а и б выполнено по периметру оболочки.

Если после нагружения «седла» клапана силой F начинает действовать давление рабочей среды, то его можно задать при помощи распределенной нагрузки на пластины. Также следует учитывать, что давление рабочей среды действует и на «золотник», поэтому к величине силы F необходимо добавить/вычесть (зависит от направления потока среды) значение этого давления:

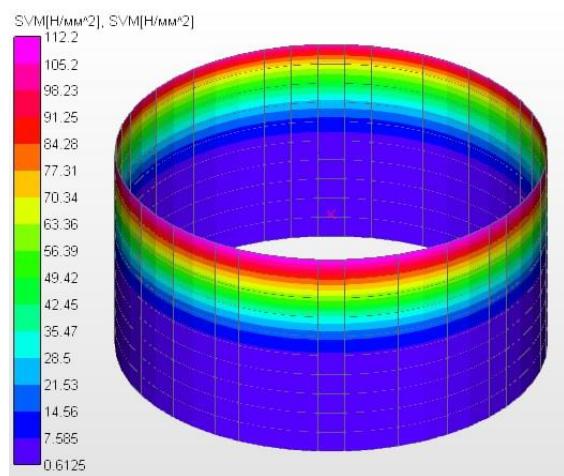
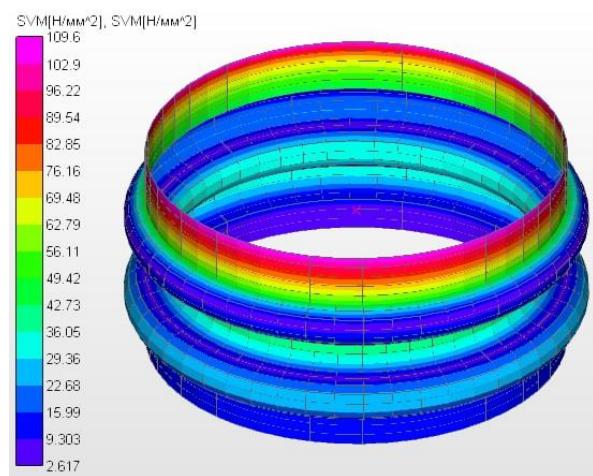
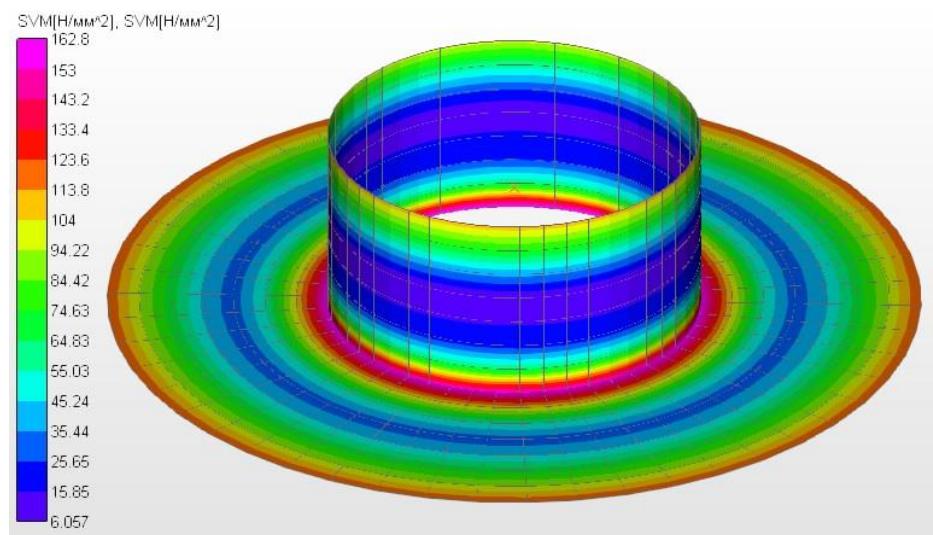
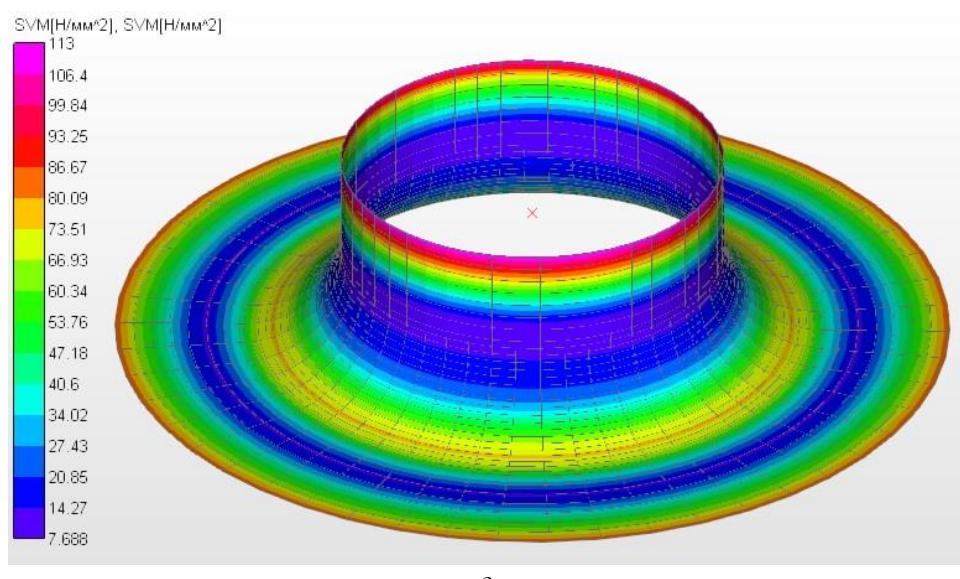
$$F_{\text{пр}} = F \pm \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_p,$$

где $F_{\text{пр}}$ – усилие привода с учетом давления рабочей (герметизируемой) среды; p_p – давление рабочей среды; d – диаметр.

Проведя расчет конструкций «седла» клапана в APM Structure 3D, рассмотрим «Карты» результатов, задав необходимые параметры для просмотра (рис. 7).

Эквивалентные напряжения (по Мизесу) обозначаются SVM и показываются на каждой из поверхностей тонкостенного «седла».

Для того чтобы сопоставить полученные результаты напряжений для «седла» пониженной жесткости с ранее проведенными исследованиями [12, 18, 19], выполнено моделирование тонкостенной оболочки, расположенной на жестком основании (рис. 5, а).

*a**б**в**г*

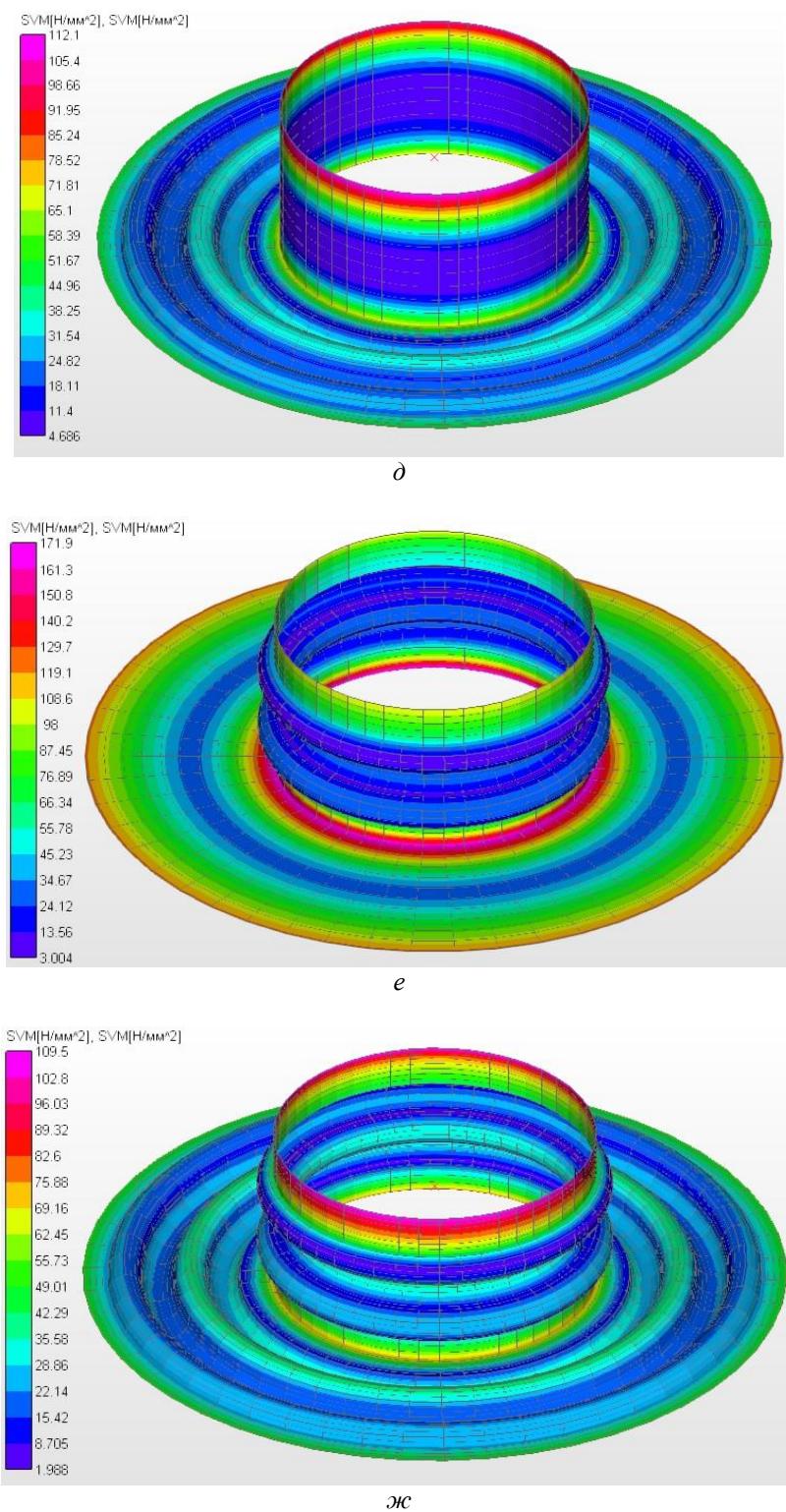


Рис. 7. Карты эквивалентных напряжений SVM для «седла»:
 а – оболочечное «седло»; б – «седло» сильфонное; в – оболочечно-пластинчатое «седло»;
 г – торoidalное «седло»; д–ж – «седло» сильфонное пониженной жесткости

Fig. 7. SVM equivalent stress maps for the «saddle»:

a – shell «saddle»; б – bellows «saddle»; в – shell-plate «saddle»;
 г – toroidal «saddle»; д–ж – bellows «saddle» of reduced rigidity

Из полученных «карт» результатов видно, что для конструктивных решений «седла» на схемах *a*, *b*, *г*, *д*, *ж* (см. рис. 7) максимальные напряжения возникают на торце оболочки в зоне контакта с «золотником» клапана, а для схем *в* и *е* в месте сопряжения оболочки с пластиной.

Следует также отметить, что для конструкций «седла» пониженной жесткости (см. рис. 7, *в*, *д–ж*) характерно наличие трех зон концентрации напряжений – на торце оболочки, в месте сопряжения оболочки и пластины и в заделке по внешнему диаметру пластины. Для торOIDального «седла» (см. рис. 7, *г*) переход из оболочки в пластину осуществляется по принятому в соответствии с табл. 2 радиусу, а возникающие напряжения на торце «седла» имеют самое большое значение среди всех конструкций пониженной жесткости.

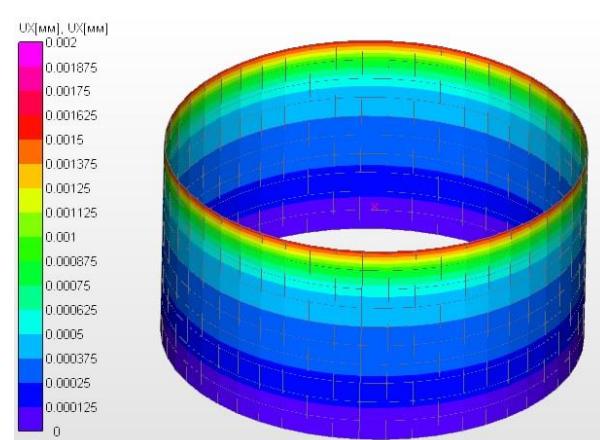
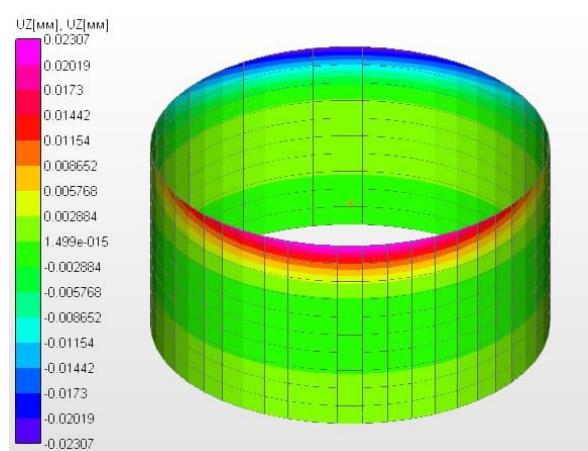
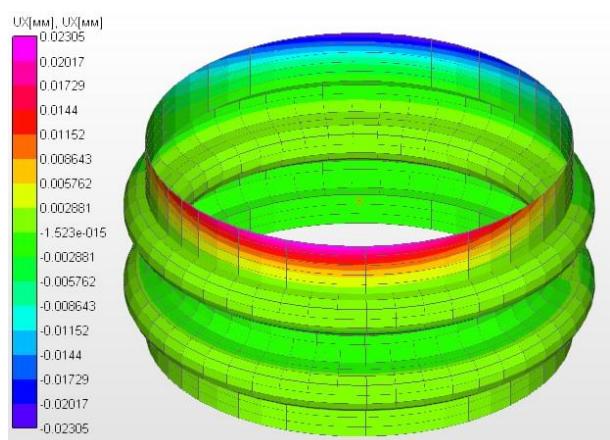
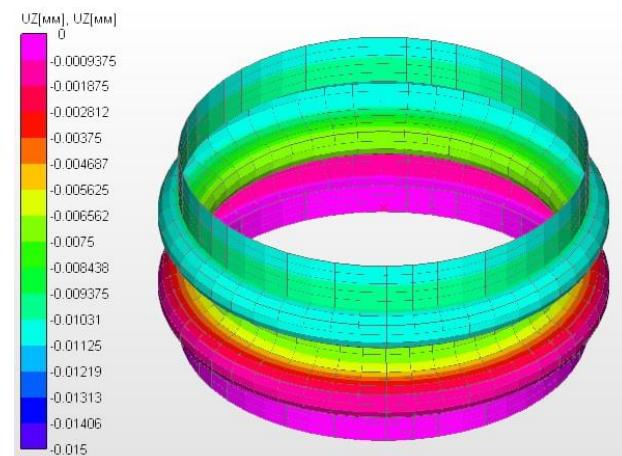
Изменяя форму пластины на сильфонную (см. рис. 7, *д*, *ж*) жесткость «седла» возрастает

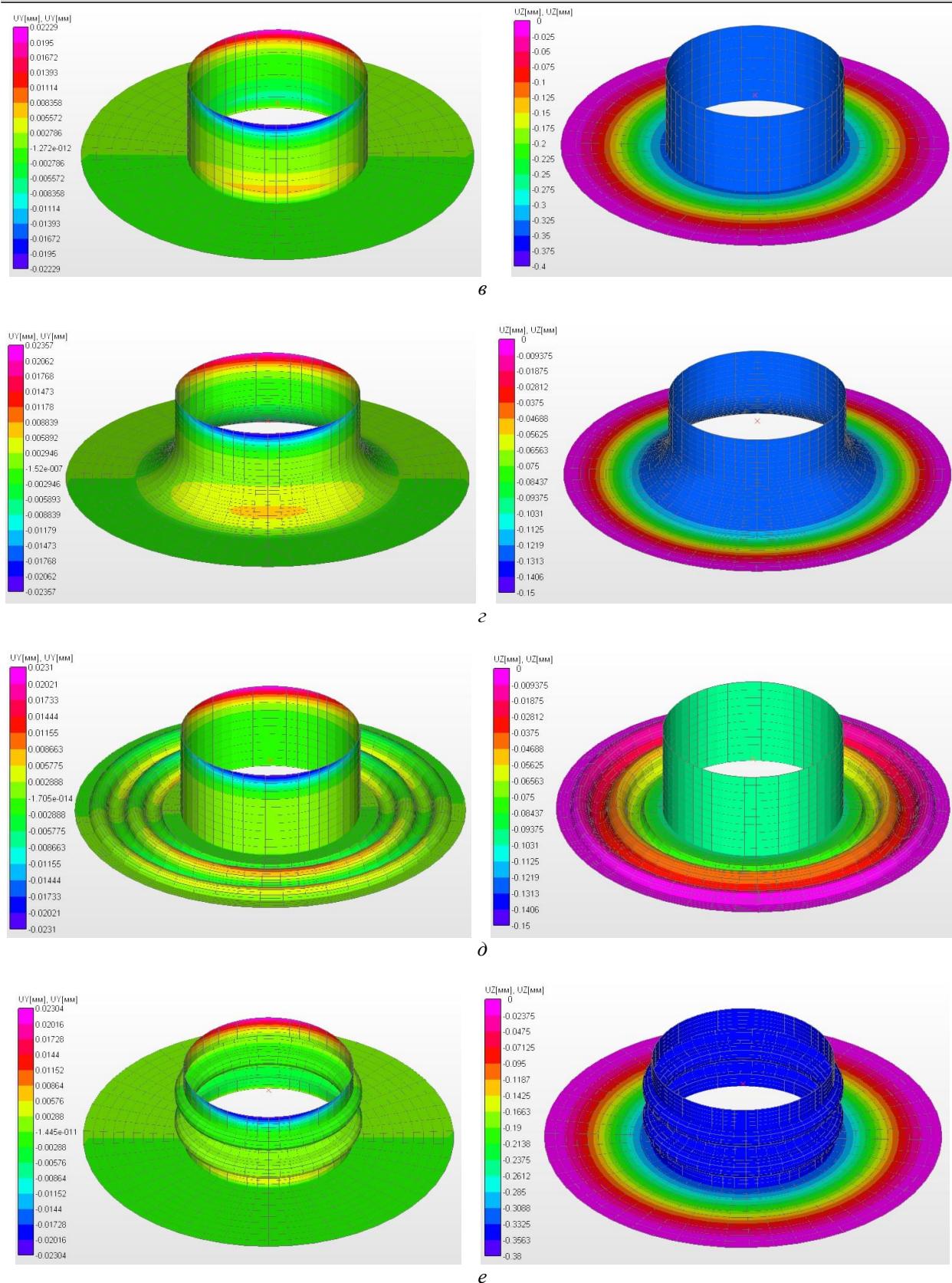
и напряжения на торце оболочки растут. В то же время меняя форму оболочки на сильфонную (см. рис. 7, *б*, *е*), напряжения на торце оболочки снижаются, а для конструкции «седла» на схеме *е* являются самыми наименьшими из всех рассматриваемых решений.

Рассматривая и сравнивая результаты для конструкции «седла» на рис. 7, *е* можно сделать вывод: при выполнении оболочки сильфонной формы, происходит снижение жесткости уплотнения и, как следствие, снижение затрачиваемой энергии для выбора отклонений формы «седла».

Рассмотрим «карты» перемещений для «седла» клапана, представленные на рис. 8.

Следует отметить, что вывод перемещения осуществлялся относительно глобальной системы координат для одной из осей, что видно на «картах» результатов.

*a**д*



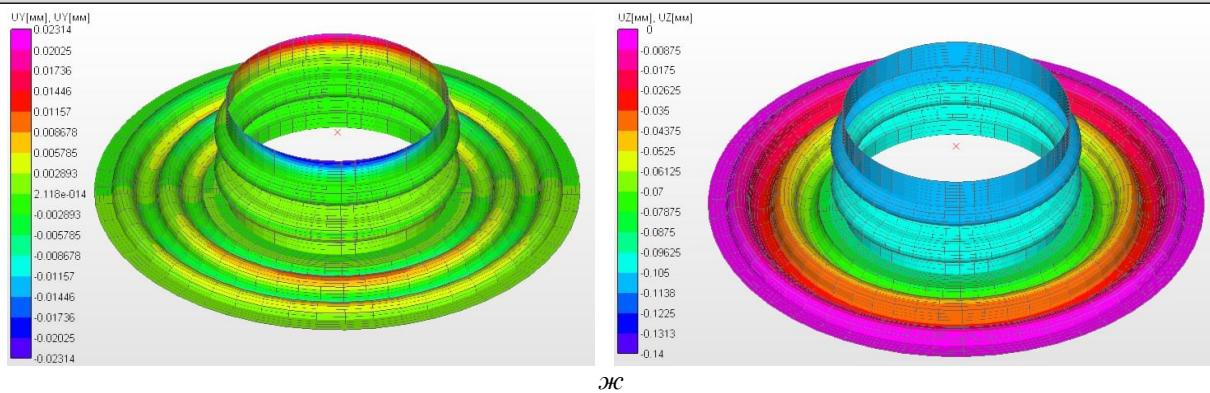


Рис. 8. Карты радиальных и осевых перемещений «седла»:
 а – оболочечное «седло»; б – «седло» сильфонное; в – оболочечно-пластинчатое «седло»;
 г – торoidalное «седло»; д–ж – «седло» сильфонное пониженной жесткости

Fig. 8. Maps of radial and axial displacements of the «saddle»:
 a – shell «saddle»; б – bellows «saddle»; в – shell-plate «saddle»;
 г – toroidal «saddle»; д–ж – bellows «saddle» of reduced rigidity

Значения радиальных перемещений для торца оболочки для всех конструктивных схем совпадают в отличие от осевых. Для оценки полученных результатов сведем их в таблицу, добавив к ним более ранние результаты.

В табл. 3 представлены результаты напряжений и перемещений для рассматриваемых

схем уплотнений. Наибольшее значение осевых перемещений получены для схемы *в* (см. рис. 8), что подтверждает полученные результаты по напряжениям и свидетельствует о снижении жесткости конструкции «седла» за счет придания оболочке сильфонной формы.

Таблица 3. Значения напряжений и перемещений для различных конструкций «седла»
Table 3. Stress and displacement values for different saddle designs

Параметр Parameter	Результаты моделирования Modeling results						
	рис. 5, а	рис. 5, б	рис. 5, в	рис. 5, г	рис. 5, д	рис. 5, е	рис. 5, ж
Эквивалентные напряжения на торце оболочки, МПа Equivalent stresses at the end of the shell, MPa	112,2	109,6	107,85	113	112,1	107,3	109,5
Радиальные перемещения торца оболочки, мм Radial displacements of the shell end, mm	0,023	0,023	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023
Осевые перемещения оболочки, мм Axial displacement of the shell, mm	0,002	0,011	0,342	0,128	0,099	0,345	0,107
Напряжения в заделке пластины, МПа Stresses in the plate seal, MPa	–	–	120,9	83,59	50,02	120,06	48,7
Напряжения в месте сопряжения пластины и оболочки, МПа Stresses at the junction of the plate and the shell, MPa	–	–	162,8	74	72,88	171,9	75,1

Таким образом с увеличением значения осевого перемещения «седла» напряжения в нем снижаются, кроме схемы на рис. 7, г.

Отметим, что большее снижение приведенной жесткости тонкостенного «седла» может быть достигнуто за счет определения рациональных геометрических размеров, а именно толщины оболочки и пластины, исходя из условий прочности для выбранного материала.

Аналитические исследования, связанные с определением рациональных геометрических размеров тонкостенного металлического уплотнения пониженной жесткости (см. рис. 2), проводились автором ранее и представлены в работе [12]. Аналитический расчет геометрически более сложных уплотнений требует пересмотра разработанной методики и выходит за рамки данной научной статьи.

Заключение

Программные продукты, в основу которых положено использование МКЭ, достаточно точно моделируют работу различных конструкций, имеют в своем распоряжении большую библиотеку конечных элементов (например, APM WinMachine и др.) и являются мощным инструментом для проведения анализа.

Необходимость использования таких программных продуктов обусловлена прежде всего достаточной сложностью решаемых задач. Кроме того, существует ряд задач, решить которые аналитически очень сложно или вообще не представляется возможным по причине отсутствия разработанных методик расчета. Рас-

матриваемая в научной статье задача расчета тонкостенного металлического уплотнения («седло» клапана) пониженной жесткости, упругое основание которого выполнено не в виде пластины, а, например, в виде сильфона или другой геометрической формы, как раз относится к таким.

Анализ напряженно-деформированного состояния оболочки в зоне контакта позволит обосновать новую конструкцию уплотнения [9, 20–22], для которой не требуется приработка для выхода на заявляемые параметры.

Герметизирующая способность уплотнения, как и его износ, во многом определяются законом распределения контактного давления по ширине уплотнительного пояска. Зависимость смещения торца оболочки от приложенной к конусу силы имеет нелинейный характер. Использование линейных моделей нагружения оболочки на участке фактической нелинейности может привести к значительным ошибкам (иногда в сотни процентов) в оценке прочности оболочки, вследствие чего необходимы дальнейшие исследования (разработка методов расчета, экспериментальные исследования и др.) уплотнений «сложной» геометрической формы. Следует также отметить, что постановка и решение задач оптимального выбора геометрических параметров (например, толщины) тонкостенного металлического уплотнения пониженной жесткости в программных продуктах – довольно сложный процесс, а в некоторых и невыполнимый.

Список литературы

1. Уплотнения и уплотнительная техника / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др. М. : Машиностроение, 1986. 464 с.
2. Уплотнения и уплотнительная техника / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.В. Гордеев и др. М. : Машиностроение, 1994. 448 с.
3. Кармутин Б.В., Стратиневский Г.Г., Мендельсон Д.А. Клапанные уплотнения пневмогидроагрегатов. М. : Машиностроение, 1983. 152 с.
4. Гуревич Д.Ф. Трубопроводная арматура. Л. : Машиностроение, 1981. 368 с.
5. Расчеты на прочность в машиностроении. Т. 2. Некоторые задачи прикладной теории упругости. Расчеты за пределами упругости. Расчеты на ползучесть / С.Д. Пономарев, В.Л. Бидерман, К.К. Лихарев и др. М. : Машгиз, 1958. 975 с.
6. Долотов А.М., Огар П.М., Чегодаев Д.Е. Основы теории и проектирования уплотнений пневмогидроарматуры летательных аппаратов. М. : Изд-во МАИ, 2000. 296 с.
7. Долотов А.М., Гозбенко В.Е., Белоголов Ю.И. Уплотнительные соединения с использованием тонкостенных элементов / Иркут. гос. ун-т путей сообщ. Иркутск, 2011. Деп. в ВИНИТИ РАН 22.11.2011, № 508-В2011. 72 с.
8. ГОСТ 24856-2014. Арматура трубопроводная. Термины и определения. Введ. 2015-04-01. М. : Стандартинформ, 2020. 90 с.
9. Долотов А.М. Разработка методов расчета и проектирование уплотнений с оболочечным элементом для летательных аппаратов : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1994. 280 с.
10. Долотов А.М., Ермашонок С.М., Федяев А.А. Управление жесткостью тонкостенного седла клапана // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 1 (1). С. 12–13.

11. Расчет седла уплотнительного соединения, нагруженного затвором и давлением герметизируемой среды / С.В. Герасимов, А.М. Долотов, Ю.И. Белоголов и др. // Механики XXI веку : сб. тр. XI Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участ. Братск, 2012. С. 106–111.
12. Белоголов Ю.И. Совершенствование конструкций уплотнительных соединений с тонкостенными элементами (упругой кромкой) : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2013. 178 с.
13. Огар П.М., Герасимов С.В., Глинов С.Н. Герметичность соединений с элементами пониженной жесткости // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ : межвуз. темат. сб. тр. Вып. 11. СПб., 2005. С. 271–275.
14. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure 3D. М. : АПМ, 2006. 287 с.
15. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure 3D. М. : АПМ, 2010. 375 с.
16. Руководство пользователя APM Structure. М. : Науч.-техн. центр «АПМ», 2010. 226 с.
17. Расчет машиностроительных конструкций методом конечных элементов / В.И. Мяченков, В.П. Мальцев, В.П. Майборода и др. М. : Машиностроение, 1989. 520 с.
18. Огар П.М., Тарасов В.А., Турченко А.В. Плотностьстыка приупругом контакте шероховатых поверхностей с учетом взаимного влияния неровностей // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4 (12). С. 35–40.
19. Огар П.М., Шеремета Р.Н., Лханаг Д. Герметичность металлополимерных стыков шероховатых поверхностей. Братск : БрГУ, 2006. 159 с.
20. Огар П.М. Контактные характеристики и герметичность неподвижных стыков пневмогидропливных систем двигателей летательных аппаратов : дис. ... д-ра техн. наук. Братск, 1997. 345 с.
21. Долотов А.М., Заборин О.М. Конструкционная контактная задача для уплотнения с оболочечным седлом при учете давления герметизируемой среды // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ : межвуз. темат. сб. тр. СПб., 2002. Вып. 8. С. 127–130.
22. Герасимов С.В., Долотов А.М., Белоголов Ю.И. Математическая модель динамического нагружения двухседельного клапана // Тр. Брат. гос. ун-та. Сер.: Естественные и инженерные науки. 2012. Т. 1. С. 126–129.

References

1. Kondakov L.A., Golubev A.I., Ovander V.B., Gordeev V.V., Furmanov B.A., Karmugin B.V. Uplotneniya i uplotnitel'naya tekhnika [Seals and sealing equipment]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1986. 464 p.
2. Kondakov L.A., Golubev A.I., Gordeev V.V., Ovander V.B., Furmanov V.A., Karmugin B.V. Uplotneniya i uplotnitel'naya tekhnika [Seals and sealing equipment]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1994. 448 p.
3. Karmugin B.V., Stratinevskii G.G., Mendel'son D.A. Klapannye uplotneniya pnevmogidroagregatov [Valve seals of pneumohydraulic units]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1983. 152 p.
4. Gurevich D.F. Truboprovodnaya armatura [Pipeline fittings]. Leningrad: Mashinostroenie Publ., 1981. 368 p.
5. Ponomarev S.D., Biderman V.L., Likharev K.K., Makushin V.M., Malinin N.N., Feodos'ev V.I. Raschety na prochnost' v mashinostroenii. T. 2. Nekotorye zadachi prikladnoi teorii uprugosti. Raschety za predelami uprugosti. Raschety na polzuchest' [Strength calculations in mechanical engineering. Vol. 2. Some problems of the applied theory of elasticity. Calculations beyond the limits of elasticity. Creep calculations]. Moscow: Mashgiz Publ., 1958. 975 p.
6. Dolotov A.M., Ogar P.M., Chegodaev D.E. Osnovy teorii i proyektirovaniya uplotnenii pnevmogidroarmatury letatel'nykh apparatov [Fundamentals of the theory and design of seals for aircraft pneumohydraulic fittings]. Moscow: MAI Publ., 2000. 296 p.
7. Dolotov A.M., Gozbenko V.E., Belogolov Yu.I. Uplotnitel'nye soedineniya s ispol'zovaniem tonkostennikh elementov [Sealing joints using thin-walled elements]. Deposited manuscript no 508-V2011 November 22, 2011. 72 p.
8. GOST 24856-2014. Armatura truboprovodnaya. Terminy i opredeleniya [State Standard 24856-2014. Pipeline valves. Terms and definitions]. Moscow: Standartinform Publ., 2020. 90 p.
9. Dolotov A.M. Razrabotka metodov rascheta i proyektirovaniya uplotnenii s obolochchnym elementom dlya letatel'nykh apparatov [Development of calculation methods and design of seals with a shell element for aircraft]. Doctor's theses. Moscow, 1994. 280 p.
10. Dolotov A.M., Ermashonok S.M., Fedyaev A.A. Upravlenie zhestkost'yu tonkostennogo sedla klapana [Control of the stiffness of a thin-walled valve seat]. Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2009, no 1 (1), pp. 12–13.
11. Gerasimov S.V., Dolotov A.M., Belogolov Yu.I., Saakyan K.G. Raschet sедла uplotnitel'nogo soedineniya, nagruzhenogo zatvorom i davleniem germetiziruemoi sredy [Calculation of the seat of a sealing joint loaded with a shutter and the pressure of the sealed medium]. Sbornik trudov XI Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Mekhaniki XXI veku» [Proceedings of the XI All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation «Mechanics of the XXI century»]. Bratsk, 2012, pp. 106–111.
12. Belogolov Yu.I. Sovrshennstvovanie konstruktsii uplotnitel'nykh soedinenii s tonkostennymi elementami (uprugoi kromkoi) [Improvement of the designs of sealing joints with thin-walled elements (elastic edge)]. Ph.D.'s theses. Irkutsk, 2013. 178 p.
13. Ogar P.M., Gerasimov S.V., Glinov S.N. Germetichnost' soedinenii s elementami ponizhennoi zhestkosti [Tightness of joints with elements of reduced rigidity]. Mezhvuzovskii tematicheskii sbornik trudov «Matematicheskoe modelirovaniye, chislennye metody i kompleksy programm» [Interuniversity Thematic Proceedings «Mathematical modeling, numerical methods and software packages»]. Saint Petersburg, 2005, pp. 271–275.
14. Zamrii A.A. Proyektirovaniye i raschet metodom konechnykh elementov trekhmernykh konstruktsii v srede APM Structure 3D [Design and calculation by the finite element method of three-dimensional structures in the APM Structure 3D environment]. Moscow: APM Publ., 2006. 287 p.

15. Zamrii A.A. Proektirovanie i raschet metodom konechnykh elementov trekhmernykh konstruktsii v srede APM Structure 3D [Design and calculation by the finite element method of three-dimensional structures in the APM Structure 3D environment]. Moscow: APM Publ., 2010. 375 p.
16. Rukovodstvo pol'zovatelya APM Structure [APM Structure User's Guide]. Moscow: APM Publ., 2010. 226 p.
17. Myachenkov V.I., Mal'tsev V.P., Maiboroda V.P., Petrov V.B., Frolov A.N., Zayakin S.P., Ol'shanskaya G.N., Gorlov V.B., Bondar' V.S., Gorshkov S.P., Korol'kov S.S., Zhukov Yu.V., Tsvelikh A.V. Raschet mashinostroitel'nykh konstruktsii metodom konechnykh elementov [Calculation of machine-building structures by the finite element method]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1989. 520 p.
18. Ogar P.M., Tarasov V.A., Turchenko A.V. Plotnost' styka pri uprugom kontakte sherokhovatых poverkhnostei s uchetom vzaimnogo vliyaniya nerovnostei [Joint density in elastic contact of rough surfaces taking into account the mutual influence of irregularities]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2011, no 4 (12), pp. 35–40.
19. Ogar P.M., Sheremeta R.N., Lkhanag D. Germetichnost' metallopolimernykh stykov sherokhovatых poverkhnostei [Tightness of metal polymer joints of rough surfaces]. Bratsk: BrGU Publ., 2006. 159 p.
20. Ogar P.M. Kontaktnye kharakteristiki i germetichnost' nepodvizhnykh stykov pnevmogidroplivnykh sistem dvigatelei leta-tel'nykh apparatov [Contact characteristics and tightness of fixed joints of pneumohydrofuel systems of aircraft engines]. Doctor's theses. Bratsk, 1997. 345 p.
21. Dolotov A.M., Zabrodin O.M. Konstruktionsnaya kontaktnaya zadacha dlya uplotneniya s obolochchnym sedlom pri uchete davleniya germetiziruyemoi sredy [Structural contact problem for a seal with a shell seat taking into account the pressure of the sealed medium]. *Mezhvuzovskii tematicheskii sbornik trudov «Matematicheskoe modelirovanie, chislennye metody i kompleksy program»* [Interuniversity thematic proceedings «Mathematical modeling, numerical methods and software packages»]. Saint Petersburg, 2002. Iss. 8, pp. 127–130.
22. Gerasimov S.V., Dolotov A.M., Belogolov Yu.I. Matematicheskaya model' dinamicheskogo nagruzheniya dvukhsedel'nogo klapana [Mathematical model of dynamic loading of a two-seated valve]. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki* [Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences], 2012, Vol. 1, pp. 126–129.

Информация об авторе

Белоголов Юрий Игоревич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления эксплуатационной работой, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: belogolov_yi@irgups.ru.

Author

Yuriii I. Belogolov, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Work Operation Management, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: belogolov_yi@irgups.ru.

Программный комплекс для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации

В.В. Кашковский¹✉, В.В. Устинов²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

²Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Иркутск, Российская Федерация

✉viktor.kashkovskij@mail.ru

Резюме

Эксперты по безопасности полетов сходятся во мнении, что причиной многих авиационных инцидентов является недостаточный уровень летной подготовки. Причина этого заключается в том, что благодаря цифровизации практически весь полет, кроме взлета и посадки, происходит при помощи системы автоматического управления. В результате даже летчики с большим стажем теряют навыки управления воздушным судном. Следовательно, как считают эксперты, капитанов воздушных судов нужно постоянно учить летать «на руках». Для повышения эффективности летной подготовки необходима объективная автоматическая оценка качества пилотирования. В данной работе представлен анализ предметной области, концепция оценки качества пилотирования и результаты применения разработанного программного комплекса для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации. В основе предложенной концепции оценки качества пилотирования лежит то, что в координированном посадочном маневре полетные параметры коррелированы между собой. С его помощью построены модели захода на посадку для параметров: барометрическая высота, приборная скорость, нормальная перегрузка, тангаж и крен. Практика показала, что комплекс объективно и достоверно выявляет полеты с отклонениями посадочного маневра от модели захода на посадку. Это делает его эффективным инструментом для авиакомпаний, поскольку оценка качества пилотирования – это информация, необходимая не только руководителям, отвечающим за качество летной подготовки, но и самим летчикам, чтобы им были видны их недостатки. Одной из наиболее перспективных областей применения разработанного комплекса программного обеспечения являются летные училища и центры по переучиванию на новую технику.

Ключевые слова

оценка качества пилотирования, модель захода на посадку, безопасность полетов, летная подготовка, статистическая обработка полетных данных

Для цитирования

Кашковский В.В. Программный комплекс для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации / В.В. Кашковский, В.В. Устинов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 142–151. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).142-151.

Информация о статье

поступила в редакцию: 05.11.2024 г.; поступила после рецензирования: 04.02.2025 г.; принята к публикации: 05.02.2025 г.

Software package for assessing the quality of piloting based on data from onboard flight data recording devices

В.В. Kashkovskii¹✉, В.В. Ustinov²

¹Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

²Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk, the Russian Federation

✉viktor.kashkovskiy@mail.ru

Abstract

Aviation safety experts agree that the reason for many aviation incidents is an insufficient level of flight training. The reason for this Aviation safety experts agree that the reason for many aviation incidents is an insufficient level of flight training. The reason for this phenomenon, in turn, is that thanks to digitalization, almost the entire flight, except for takeoff and landing, takes place using an automatic control system. As a result, even experienced pilots lose their aircraft control skills. Therefore, according to experts, captains of aircraft should be constantly "taught to fly «manually». To increase the effectiveness of flight training, an objective automatic assessment of the quality of piloting is necessary. This paper presents an analysis of the subject area, the concept of assessing the quality of piloting, and the results of using the developed software package to assess the quality of piloting based on data from onboard flight information recording devices. The proposed concept of assessing the quality of piloting is based on the fact that in a coordinated landing maneuver, flight parameters are correlated with each other. It is used to build approach models for the following parameters: barometric altitude, instrument speed, normal overload, pitch and roll. Practice has shown that the complex objectively

and reliably detects flights with deviations of the landing maneuver from the approach model. This makes it an effective tool for airlines, since assessing the quality of piloting is the information necessary not only for managers responsible for the quality of flight training, but also for the pilots themselves so that they can see their shortcomings. One of the most promising areas of application of the developed software package is flight schools and retraining centers for new equipment.

Keywords

piloting quality assessment, landing approach model, flight safety, flight training, statistical processing of flight data

For citation

Kashkovskii V.V., Ustinov V.V. Programmnyi kompleks dlya otsenki kachestva pilotirovaniya letchika po dannym bortovykh ustroistv registratsii poletnoi informatsii [Software package for assessing the quality of piloting based on data from onboard flight data recording devices]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. Vol. 85. No. 1. Pp. 142–151. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.1(85).142-151.

Article Info

Received: November 5, 2024; Revised: February 4, 2025; Accepted: February 5, 2025.

Введение

Существует такое понятие, как тейлстрайк – авиационный инцидент, связанный с касанием фюзеляжем воздушных судов взлетных полос.

Росавиация приводит такую статистику: в 2019 г. в авиации РФ было шесть тейлстрайков; в 2022 и 2023 гг. – по три подобных инцидента; за начальный период 2024 г. уже зарегистрировано шесть подобных случаев. Только в августе 2024 г. произошло два таких инцидента:

1. 12 августа 2024 г. в Сыктывкаре Boeing, принадлежащий оренбургской компании «Икар», коснулся взлетной полосы хвостовой частью фюзеляжа.

2. 18 августа 2024 г. Boeing-737 авиакомпании Smartavia ударился хвостом о полосу при посадке в Сочи, после чего Западное управление Следственного комитета России на транспорте возбудило уголовное дело по ч. 1 ст. 263 УК РФ (нарушение правил безопасности движения и эксплуатации воздушного транспорта) [1].

Другим распространенным авиационным инцидентом является грубая посадка [2–7].

Так, например, 31 августа 2018 г. из Внуково вылетел Boeing 737-800 Авиакомпании «ЮТэйр» (Utair) курсом на Адлер (Сочи). При посадке из-за неслаженных действий экипажа Boeing коснулся полосы на удалении 1 285 м от входного торца взлетно-посадочной полосы (ВПП), с перелетом 385 м от зоны точного приземления. Через 26 сек после приземления самолет на скорости 140 км/ч выкатился за пределы ВПП, пробил ограждение аэродрома и остановился в русле р. Мzymты. Затем произошло возгорание топлива, вытекающего из поврежденного топливного бака левого крыла. Экипажем была проведена эвакуация пассажи-

ров. Вскоре пожар был потушен прибывшими службами. На борту в результате происшествия пострадали 18 чел. Воздушное судно получило серьезные повреждения.

Среди способствующих факторов было выделено:

- использование автопилота и автомата тяги при сдвиге ветра;
- позднее включение реверса;
- недостаточная подготовка и психоэмоциональное состояние членов экипажа;
- недостаточная профилактическая работа в авиакомпании после выявления предыдущих случаев несвоевременной реакции экипажей на сигнализацию о сдвиге ветра;
- невыполнение аэродромной службой требований о необходимости проверки состояния ВПП после выпадения осадков [7, 8].

Все эксперты сходятся во мнении, что причиной этих и многих других авиационных инцидентов является недостаточный уровень летной подготовки. Причина этого явления в том, что благодаря цифровизации практически весь полет, кроме взлета и посадки, происходит при помощи системы автоматического управления (САУ). В результате даже летчики с большим стажем теряют навыки управления воздушным судном. Поэтому, по мнению экспертов, капитанов воздушных судов следует постоянно учить летать «на руках». Существует ряд документов, посвященных влиянию человеческого фактора на безопасность полетов [9–17].

Для принятия своевременных мер по обучению ручному пилотированию крайне актуальна и необходима оценка качества пилотирования по данным бортовых устройств регистрации полетной информации (БУРПИ). Ее невозможно сделать с помощью экспресс-анализа, потому

как экспресс-анализ выявляет факты авиационных инцидентов, когда учить уже поздно. Ручная оценка качества пилотирования крайне субъективна, исключительно трудоемка и не дает гарантии достоверности результатов. Поэтому целью данной работы является разработка алгоритмов и программного обеспечения для автоматической оценки качества пилотирования летчика по данным БУРПИ.

Анализ предметной области

В области оценки качества пилотирования существует множество различных методик. Ряд таких методик разработан и авторами [18–23].

Для практической реализации было найдено только одно подобное решение [24–26].

Суть методики оптимального полета такова:

1. Берется запись БУРПИ от предварительного старта до заруливания после пробега.
2. Выделяются точки контроля по всему профилю полета (всего 20–30 точек).
3. Точки контроля нормируются по трем уровням:
 - 0 – оптимальное управление (0 баллов);
 - 1 – отклонение (1 балл);
 - 2 – отклонение (3 балла);
 - 3 уровень – нарушение Руководства по

летной эксплуатации (РЛЭ) (6 баллов).

4. Производится расшифровка записи и определяется физическое значение параметров в контрольных точках полета. Далее вычисляются уровни отклонений и суммарный балл за полет.

5. В случае обнаружения сообщения по программе экспресс-анализа к суммарному баллу за полет добавляется 6 баллов за каждое подтвержденное сообщение.

По результатам анализа 412 полетов выявлен лучший полет с 46 баллами и наихудший полет с 58 баллами. Разница между этими полетами и есть тот доверительный интервал для анализа и принятия решения по качеству техники пилотирования. Результаты обработки показаны на рис. 1.

Несмотря на то, что программное обеспечение апробировано, методика вызывает некоторые нарекания. Главное из них в том, что это все тот же экспресс-анализ, но только с более жесткими границами, т.е. по сути программа оценивает точность пилотирования в контрольных точках без гарантии оценки того, кем достигнута эта точность – летчиком или САУ. Кроме того, из-за переменного числа контрольных точек представляется методически сложная сравнительная оценка разных полетов.

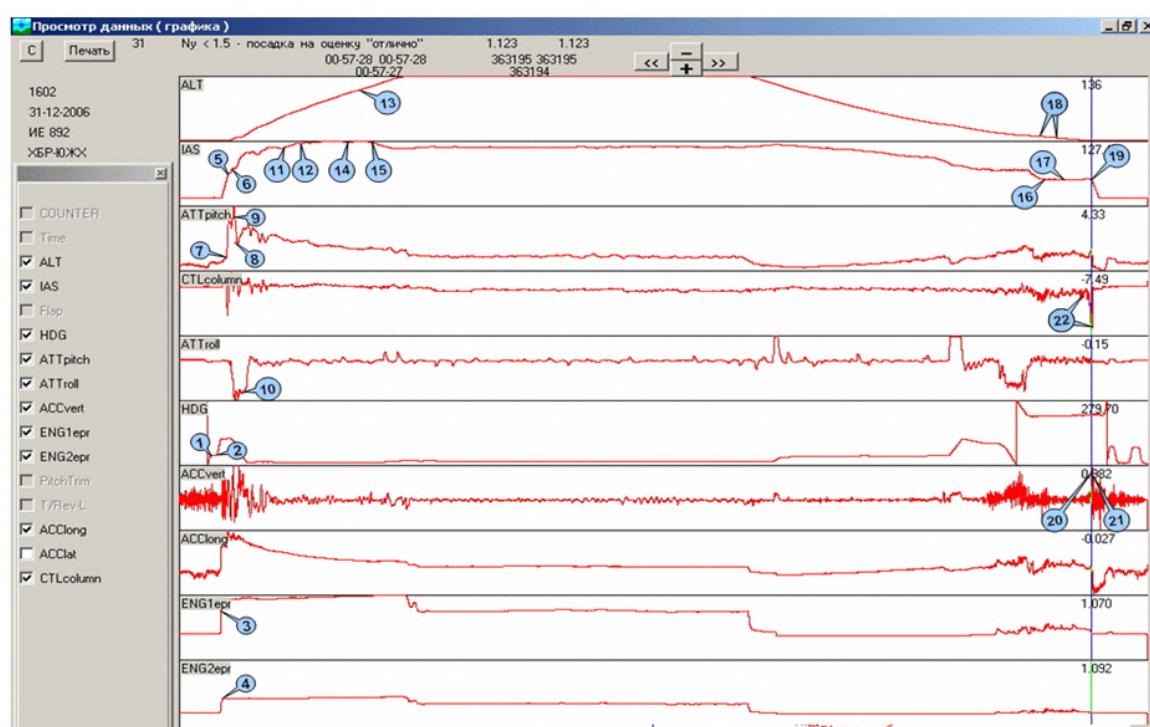


Рис. 1. Выбор контрольных точек
Fig. 1. Selecting the control points

Главный недостаток методик ([8–10]) в том, что даже выход одного параметра за пределы, заданные в РЛЭ, может быть нивелирован малыми отклонениями в остальных контрольных точках и может остаться незамеченным. Поэтому оценка в виде суммы баллов по всем контрольным точкам не очень продуктивна с практической точки зрения. Кроме того, в качестве эталонных значений выбраны значения математических ожиданий и среднеквадратические отклонения параметров оценивания для нормального закона распределения.

Однако анализ статистических данных, проведенный в авиакомпаниях, показал, что параметры не всегда подчинены данному закону, что может внести некоторые погрешности при оценке техники пилотирования, так как опытные пилоты имеют свою манеру пилотирования.

Концепция предлагаемой оценки качества пилотирования

Авторами реализована в программном обеспечении следующая концепция:

1. Оценка качества пилотирования – это многокритериальная задача, оценивающая качество пилотирования по двум и более аспектам. Основные аспекты оценивания – это точность пилотирования и коррелированность параметров при пилотировании. На базе этих ас-

пектов можно получить множество различных критериев оценки качества пилотирования. В разработанном программном комплексе реализованы три такие методики, дополняющие друг друга. Они отличаются методами оценки влияния вероятностных взаимосвязей параметров полета на качество пилотирования.

2. Число контрольных точек постоянно, определение прохождения контрольной точки в полете осуществляется по разовым командам БУРПИ. В качестве контрольных точек выбраны те точки, где самолет пилотируется летчиком. Для среднемагистрального воздушного судна было выбрано срабатывание разовых команд при заходе на посадку:

- команда на выпуск шасси;
- включение режима «Захват глиссады»;
- положение рычага управления закр./предкр. (полож. 2);
- положение рычага управления закр./предкр. (полож. 3);
- правая основная опора обжата.

В каждой из этих точек измеряются пять параметров: барометрическая высота, приборная скорость, крен, тангаж и нормальная перегрузка.

3. Для каждого аэродрома, в котором осуществляется контроль качества пилотирования, собирается выборка полетов по данным БУРПИ.

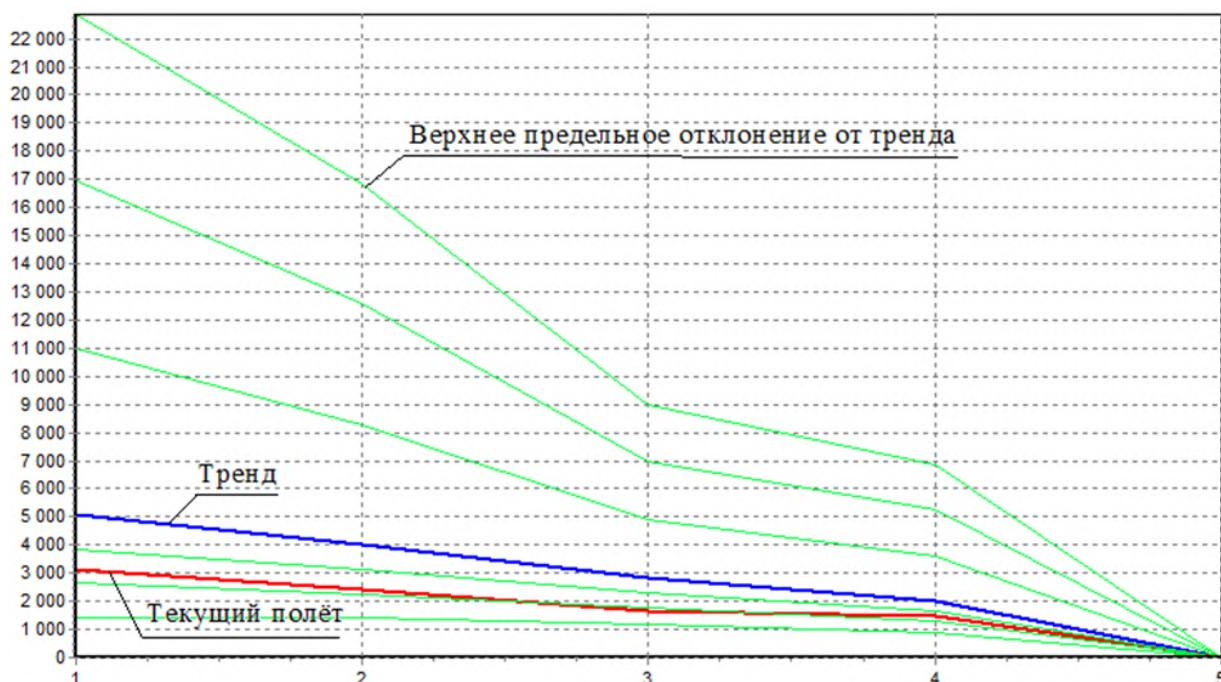


Рис. 2. Модель захода на посадку по параметру барометрическая высота (в футах)

Fig. 2. Approach model based on barometric altitude (in feet)

По данной выборке для каждого параметра строится модель посадочного маневра. В качестве примера на рис. 2 показана модель захода на посадку по барометрической высоте. Для этого по выборке измерений строится тренд (среднее значение).

Это идеальный посадочный маневр по данному параметру. По предельно большим положительным и отрицательным отклонениям от тренда строятся верхняя и нижняя границы предельных отклонений. В каждой контрольной точке интервал между трендом и границей разбивается на три равные по величине зоны. На рис. 2. подписаны верхнее предельное отклонение, тренд и текущий полет. Как видим из рисунка, текущий полет проходил ниже тренда.

4. Производится расшифровка записи и определяется физическое значение пяти полетных параметров в пяти контрольных точках полета. Всего за полет получается 25 измерений (параметров). Они образуют 25-мерный вектор измерений (наблюдения) B_{ii} . Параметры вектора наблюдения B_{ii} нормируются:

$$\overset{\circ}{x}_j = \frac{x_j - m_j}{\Delta x_j}; \quad j = \overline{1, 25},$$

где $\overset{\circ}{x}_j$ – центрированное нормализованное значение параметра j ; m_j – среднее значение измерения j по выборке из всех полетов (тренд j -го параметра); Δx_j – предельное отклонение параметра j от тренда m_j по выборке из всех полетов.

По пяти измерениям каждого параметра в каждой контрольной точке получим 25-мерный вектор измерений (наблюдения) B_{ii} .

5. На основе вектора B_{ii} вычисляются три интегрированные оценки качества пилотирования (по критериям E , K и M) и выполняется их нормирование по баллам: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «ниже (или выше) нормы». Оценка «неудовлетворительно» отсутствует по причине того, что отрицательная оценка качества пилотирования не является нарушением РЛЭ, поэтому на психологическом уровне может восприниматься летчиком как несправедливое наказание.

Балльные оценки можно выставлять для курсантов летных училищ, а для пилотов, имеющих классную квалификацию в виде качественных оценок, например, «хорошо, но с некоторыми погрешностями» и т.д.

Разработка программного комплекса для оценки качества пилотирования летчика по данным бортовых устройств регистрации полетной информации

Первая предложенная авторами методика – критерий E , оценивает точность реализации текущего полета относительно тренда на основе оценки эксцесса. В теории вероятностей эксцесс – это четвертый центральный момент [27]. Эксцесс характеризует степень крайних отклонений от математического ожидания, поэтому его оценка идеально подходит для оценки качества пилотирования. Она определена выражением:

$$\mu_4 = (B_{ii})^2 E[(B_{ii})^2]^T, \quad (1)$$

где E – единичная матрица.

Оценка μ_4 является интегрированной оценкой отклонения вектора B_{ii} от тренда. Недостаток такой оценки в том, что параметры вектора B_{ii} имеют разную значимость для анализа. Следовательно, не все отклонения от тренда одинаково опасны. Чтобы учесть этот недостаток, авторами предложено такое понятие, как «фактор риска». Для этого на основе корреляционного анализа вычислены веса параметров по значимости их влияния на координацию посадочного маневра. В табл. представлены веса параметров в порядке убывания и ранги этих параметров. Число в названии параметра – номер контрольной точки.

Веса значимости параметров в алгоритме оценки качества пилотирования
Weights of parameter significance in the piloting quality assessment algorithm

Ранг Rank	Параметр Parameter	Вес Weight
25	Высота 1 Height	4,0584
24	Высота 2	3,8952
23	Высота 3	3,6687
22	Тангаж 2 Pitch	3,3737
21	Тангаж 1	3,1861
20	Скорость 2 Speed	3,0867
19	Скорость 1	3,0578
18	Тангаж 3	2,5717
17	Скорость 4	2,4608
16	Скорость 3	2,2489

15	Высота 4	2,1612
14	Тангаж 4	2,0727
13	Скорость 5	2,0011
12	Перегрузка 4 Overload	1,9441
11	Перегрузка 1	1,7769
10	Крен 4 Bank	1,7593
9	Перегрузка 3	1,6895
8	Крен 5	1,5226
7	Тангаж 5	1,4813
6	Крен3	1,4498
5	Перегрузка 2	1,3633
4	Крен 2	1,1843
3	Крен1	1,0924
2	Перегрузка 5	0,8813
1	Высота 5	0,0000

Ранги трех параметров текущего полета с наибольшими отклонениями от тренда суммируются и нормируются. В результате получается коэффициент фактора риска, который может

изменяться в диапазоне 0,1–1,0. На основании практического опыта принято, что неудовлетворительная оценка по критерию E при фактуре риска менее 0,6 не опасна.

Оценка качества пилотирования по критерию K основана на том, что при выполнении координированного маневра параметры вектора B_i коррелированы между собой. Его математический аппарат аналогичен математическому аппарату критерия E . Для учета взаимосвязей параметров в выражении (1) для критерия K , матрица E заменена на матрицу весовых коэффициентов K такой же размерности.

На рис. 3 показана форма для вычисления оценок по критериям E и K .

На рис. 4. показана экранная форма для оценки качества пилотирования по критерию M . Идеология критерия M основана на том, что при высоком качестве пилотирования параметры вектора B_i будут в той или иной степени коррелированы между собой. Следовательно, отклонение оценки корреляции пары параметров вектора B_i в текущем полете от среднего значения оценки корреляции этой пары, полученной по выборке всех полетов, является оценкой качества пилотирования.

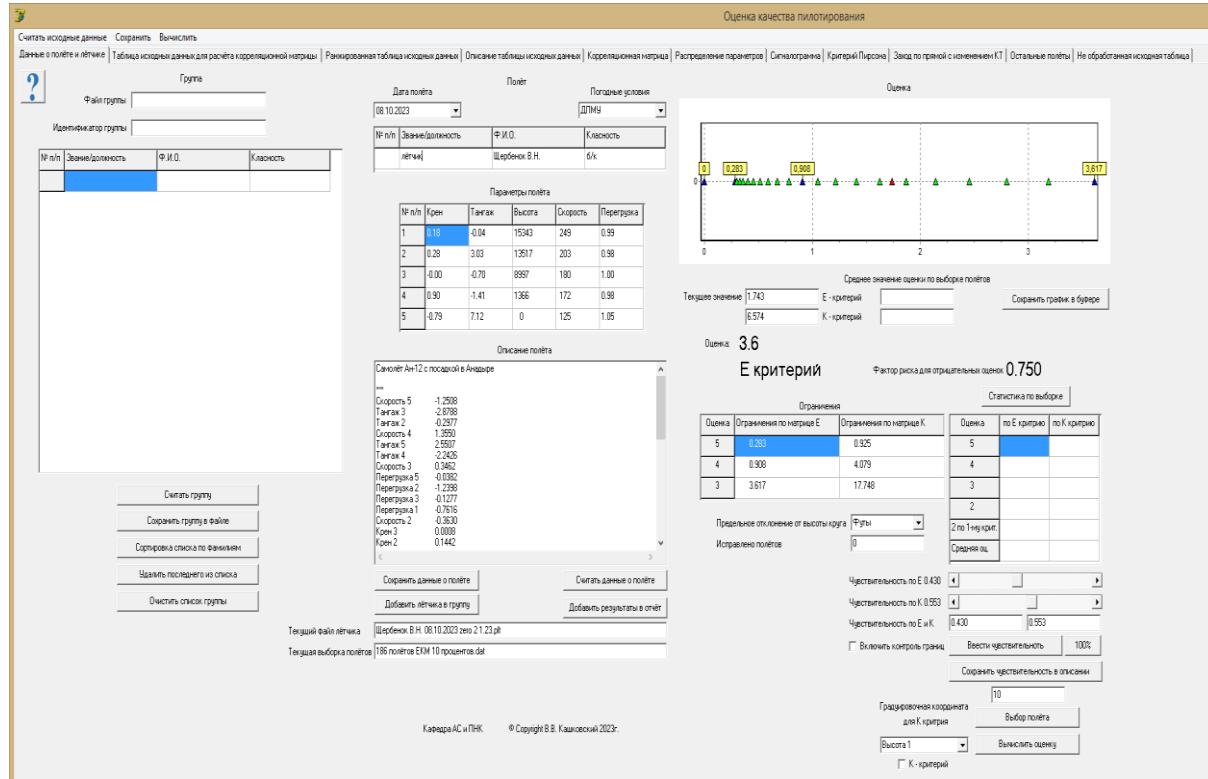


Рис. 3. Экранная форма для оценки качества пилотирования по критериям E и K
Fig. 3. Screen form for assessing the quality of piloting according to criteria E and K

Рис. 4. Экранная форма для оценки качества пилотирования по критерию *M*
Fig. 4. Screen form for assessing the quality of piloting according to the *M* criterion

Оценка коэффициента корреляции для пары параметров i и j определена выражением:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{(x_i - \tilde{m}_i) \cdot (x_j - \tilde{m}_j)}{\tilde{\sigma}_i \tilde{\sigma}_j}; \quad i = \overline{1, 25}; \quad j = \overline{1, 25}; \quad i \neq j,$$

где $\tilde{\sigma}_i$, $\tilde{\sigma}_j$ – оценки среднеквадратических отклонений i и j параметра, вычисленные по выборке полетов.

Размерность вектора наблюдения B_i равна 25. Отсюда следует, что всего имеется 276 неповторяющихся пар параметров вектора B_i .

Наиболее сильную корреляционную взаимосвязь имеют параметры «Высота 3» и «Высота 4». Их коэффициент корреляции равен 0,8914.

Наименее слабая зависимость между параметрами «Крен 1» и «Высота 2». Их коэффициент корреляции равен 0,0006. Эти параметры уже можно считать независимыми.

Параметры «Перегрузка 1» и «Перегрузка 3» независимы. Среднее значение оценки их коэффициента корреляции равно нулю, ее величина находится за рамками статистической погрешности.

Для оценки качества пилотирования используются только 12 пар параметров с наиболее сильными зависимостями. Наименьший ко-

эффициент корреляции в этой группе пар параметров – 0,4807.

На рис. 5 показан график нормированной взаимной корреляционной функции параметров «Тангаж 1» и «Скорость 1». Оценка их коэффициента корреляции – 0,6333. В данном полете элемент вероятности этой пары $\tilde{r}_{ij} = -11,52$ при нормативной границе для оценки «–3», равной –3,22. Знак минус в оценке говорит о нарушении в отрицательную сторону. Итоговая оценка, данная за полет, – «Ниже нормы».

Цель разработанного программного комплекса – автоматическое выявление полетов с нарушенной координацией посадочного маневра. При получении оценки за текущий полет «Ниже нормы» или «Выше нормы» проводится его полный (ручной) анализ с целью выявления причин нарушения координированности посадочного маневра. По результатам анализа принимается решение о необходимости выполнения дополнительных полетов на тренажере и задания по ним.

Критерии *E*, *K* и *M* взаимосвязаны. Если оценка за полет по критерию *E* с учетом фактора риска отрицательна, то это основание для полного (ручного) анализа полета. В оценке по критериям *K* и *M* в этом случае нет необходимости.

При положительной оценке по критерию E проводится анализ по критерию K . Если оценка за полет по критерию K отрицательна, то это основание для полного (ручного) анализа полета. В оценке по критерию M в этом случае нет необходимости. При положительной оценке по критериям E и K проводится анализ по критерию M .

Заключение

С помощью представленного комплекса программного обеспечения обработано 386 посадочных маневров среднемагистрального воздушного судна. Это позволило построить модели захода на посадку для пяти параметров полета: барометрическая высота, приборная скорость, нормальная перегрузка, тангаж и крен. Исследование данной выборки полетов показало, что комплекс объективно и достовер-

но выявляет полеты с отклонениями посадочного маневра от принятой модели захода на посадку. Это делает его эффективным инструментом для авиакомпаний, поскольку оценка качества пилотирования – информация, необходимая не только руководителям, отвечающим за качество летной подготовки, но и самим летчикам, чтобы им были видны их недостатки.

Одной из наиболее перспективных областей применения разработанного комплекса программного обеспечения являются летные училища и центры по переучиванию на новую технику. Учитывая сходство упражнений по выполнению посадочного маневра, комплекс также может быть рекомендован организациям, эксплуатирующим вертолеты.

Список литературы

1. «Чиркают задницей»: почему самолеты стали чаще биться хвостами о взлетные полосы // RTVI : сайт. URL : https://rtvi.com/news/chirkayut-zadniczej-pochemu-samolety-stali-chashhe-bitsya-hvostami-o-vzletnye-polosy/?utm_referrer=mirtesen.ru (Дата обращения: 21.10.2024).
2. Пилоту о предотвращении грубых посадок / В.М. Буряков, Г.С. Егоров, В.А. Еремин и др. М. : Транспорт, 1990. 47 с.
3. Сергин В.А. Анализ некоторых причин «грубых» посадок и повторных отделений // Научные исследования и современное образование : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2019. С. 129–131.
4. Стрелков В.В. Оценка значимости основных факторов риска авиационного происшествия на посадке на основании анализа результатов опроса пилотов гражданской авиации // Научн. вестн. Москов. гос. техн. ун-та гражд. авиации. 2024. Т. 27. № 1. С. 43–60.
5. Stabilized Approach And Flare Are Keys to Avoiding Hard Landings // Flight Safety Digest. 2004. Vol. 23. No 8. URL : https://flightsafety.org/fsd/fsd_aug04.pdf (Дата обращения 21.10.2024).
6. Почему иногда пилоты сажают самолет более резко и жестко, чем можно было бы? // dzen. ru : сайт. URL : <https://dzen.ru/a/ZKKwZm7tUQKwFL7V> (Дата обращения 22.10.2024).
7. «Дурака включим, зайдем?» Неудачная посадка Боинга 737 в Сочи // dzen. ru : сайт. URL : <https://dzen.ru/a/ZiE0N8gPeB31iOdP> (Дата обращения 22.10.2024).
8. Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. Циркуляр 329-AN/191. Монреаль : ИКАО, 2012. 92 с.
9. Человек и безопасность полетов. Научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора : сб. науч. тр. / под ред. В.А. Пономаренко и А.В. Чунтул. М. : Когито-Центр, 2013. 288 с.
10. Человеческий фактор, управление и организация. Циркуляр ИКАО 247-AN/148. Сб. материалов № 10. Монреаль : ИКАО, 1993. 50 с.
11. Человеческий фактор в системах CNS/ATM. Циркуляр ИКАО 249-AN/149. Сб. материалов № 11. Монреаль : ИКАО, 1994. 43 с.
12. Фролов М.В. Контроль функционального состояния человека-оператора. М. : Наука, 1990. 208 с.
13. Артемов А.Д., Лысаков Н.Д., Лысакова Е.Н. Человеческий фактор в эксплуатации авиационной техники. М. : МАИ, 2018. 156 с.
14. Кузнецов И.Б. Человеческий фактор в гражданской авиации. Санкт-Петербург : Политехника, 2019. 102 с.
15. Роль человеческого фактора при техническом обслуживании и инспекции воздушных судов. Циркуляр 253-AN/151. Сб. материалов № 12. Монреаль : ИКАО, 1995. 58 с.
16. Подготовка летного экипажа: оптимизация работы экипажа в кабине (CRM) и летная подготовка в условиях, приближенных к реальным (LOFT). Циркуляр 217-AN/132. Человеческий фактор. Сб. материалов № 2. Монреаль : ИКАО, 1989. 78 с.
17. Человеческий фактор в обеспечении безопасности в пассажирском салоне. Циркуляр 300-AN/173. Сб. материалов № 15. Монреаль : ИКАО, 2003. 80 с.
18. Устинов В.В., Кашковский В.В., Чобанян Л.Г. Методика, алгоритм и критерий количественного оценивания качества выполнения маневра захода на посадку и посадки среднемагистрального воздушного судна по данным средств объективного контроля // CREDE EXPERTO: транспорт, общество, образование, язык. 2022. № 1. С. 51–72.
19. Устинов В.В. Назаров П.С. Один из подходов к планированию подготовки курсантов летных училищ с учетом уровня натренированности и качества выполнения полетного задания // CREDE EXPERTO : транспорт, общество, образование, язык. 2020. № 1. С. 74–88.

20. Чобанян Л.Г., Назаров П.С. Методика, алгоритм и критерий количественного оценивания качества выполнения маневров и фигур пилотажа по данным средств объективного контроля // Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации : сб. тр. XIV Всерос. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов. Иркутск, 2021. Т. 1. С. 125–130.
21. Устинов В.В., Шишкун Ю.Н., Полуэктов С.П. Методика и алгоритм объективного оценивания уровня натренированности летного состава // Сб. рефератов деп. рукописей, вып. 82, серия Б, инф. Б. М. : ЦВНИ МО РФ, 2008.
22. Устинов В.В., Шишкун Ю.Н., Желтухин А.С. Методика объективного оценивания уровня обученности курсантов летных училищ и планирования их летной подготовки // Актуальные проблемы вузов ВВС : межвуз. сб. М., 2007. Вып. 23. С. 15–18.
23. Устинов В.В., Кашковский В.В. Методика объективной оценки профессиональной подготовленности летного состава маневренных самолетов // Науч. вестн. Москов. гос. техн. ун-та гражд. авиации. 2013. № 187. С. 161–163.
24. Бутырин О.А., Клещенко С.В. Методика количественной оценки качества техники пилотирования летчика в рейсовых условиях // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 9. С. 17–30.
25. Бутырин О.А., Клещенко С.В. Методика оптимального полета // Проблемы безопасности полетов. 2008. № 10. С. 23–30.
26. Бутырин О.А., Клещенко С.В. Продолжение исследований по методике параметрического мониторинга полета // Aviahumanfactor : сайт. URL : <https://www.aviahumanfactor.ru/bezopasnost/1/1485/prodolzhenie-issledovaniy-po-metodike-parametricheskogo-monitori.htm> (Дата обращения 22.10.2024).
27. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М. : Высшая школа, 2001. 576 с.

References

1. «Chirkayut zadnitsei»: pochemu samolety stali chashche bit'sya khvostami o vzletnye polosy (elektronnyi resurs) [«Scratching their ass»: why planes have become more likely to bang their tails on runways (electronic resource)]. Available at: https://rtvi.com/news/chirkayut-zadniczej-pochemu-samolety-stali-chashche-bitsya-hvostami-o-vzletnye-polosy/?utm_referrer=mirtesen.ru (Accessed October 21, 2024).
2. Buryakov V.M., Egorov G.S., Eremin V.A., Kofman V.D., Popov V.D., Poltavets V.A., Stradomskii O.Yu., Fitsner L.K. Pilotu o predotvratshchenii grubykh posadok [To the pilot about the prevention of rough landings]. Moscow: Transport Publ., 1990. 47 p.
3. Sergin V.A. Analiz nekotorykh prichin «grubykh» posadok i povtornykh otstrelivaniy [Analysis of some causes of «rough» landings and repeated detachments]. Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchnye issledovaniya i sovremennoe obrazovanie» [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Scientific research and modern education»]. Cheboksary, 2019, pp. 129–131.
4. Strelkov V.V. Otsenka znachimosti osnovnykh faktorov risika aviatsionnogo proishestviya na posadke na osnovanii analiza rezul'tatov oprosa pilotov grazhdanskoi aviatsii [Assessment of the significance of the main risk factors of an aviation accident on landing based on the analysis of the results of a survey of civil aviation pilots]. Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation], 2024, Vol. 27, no 1, pp. 43–60.
5. Stabilized Approach And Flare Are Keys to Avoiding Hard Landings // Flight Safety Digest. 2004. Vol. 23. No 8. Available at: https://flightsafety.org/fsd/fsd_aug04.pdf (Accessed October 21, 2024).
6. Pochemu inogda piloty sazhayut samolet bolee rezko i zhestko, chem mozhno bylo by? (elektronnyi resurs) [Why do pilots sometimes land the plane more abruptly and harshly than they could? (electronic resource)]. Available at: <https://dzen.ru/a/ZKKwZm7UQKwFL7V> (Accessed October 22, 2024).
7. «Duraka vklyuchim, zайдем?» Neudachnaya posadka Boinga 737 v Sochi (elektronnyi resurs) [«Let's turn on the fool, shall we go in?» The unsuccessful landing of the Boeing 737 in Sochi (electronic resource)]. Available at: <https://dzen.ru/a/ZiE0N8gPeB31iOdP> (Accessed October 22, 2024).
8. Tsirkulyar 329-AN/191. Sostoyanie poverkhnosti VPP: otsenka, izmerenie i predstavlenie dannykh [Cir 329 AN/191. Runway surface condition: assessment, measurement, and data presentation]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 2012. 92 p.
9. Sbornik nauchnykh trudov «Chelovek i bezopasnost' poletov. Nauchno-prakticheskie aspekty snizheniya aviatsionnoi avariinosti po prichine chelovecheskogo faktora» / pod red. Ponomarenko V.A. i Chuntul A.V. [Proceedings «Human and flight safety. Scientific and practical aspects of reducing aviation accidents due to the human factor». Ed. by V.A. Ponomarenko and A.V. Chuntul]. Moscow: Kogito-Tsentr Publ., 2013. 288 p.
10. Tsirkulyar 247-AN/148. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 10. Chelovecheskii faktor, upravlenie i organizatsiya [Circular 247-AN/148. Human factors digest No 10. Human factors, management and organization]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1993. 50 p.
11. Tsirkulyar 249-AN/149. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 11. Chelovecheskii faktor v sistemakh CNS/ATM [Circular 249-AN/149. Human factors digest No 11. Human factors in CNS/ATM systems]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1994. 43 p.
12. Frolov M.V. Kontrol' funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka-operatora [Control of the functional state of the human operator]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 208 p.
13. Artemov A.D., Lysakov N.D., Lysakova E.N. Chelovecheskii faktor v ekspluatatsii aviatsionnoi tekhniki [The human factor in the operation of aviation equipment]. Moscow: MAI Publ., 2018. 156 p.
14. Kuznetsov I.B. Chelovecheskii faktor v grazhdanskoi aviatsii [The human factor in civil aviation]. Saint Petersburg: Politehnika Publ., 2019. 102 p.

15. Tsirkulyar 253-AN/151. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 12. Rol' chelovecheskogo faktora pri tekhnicheskem obsluzhivaniyu i inspeksii vozduzhnykh sudov [Circular 253-AN/151. Human factors digest No 12. The role of the human factor in aircraft maintenance and inspection]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1995. 58 p.
16. Tsirkulyar 217-AN/132. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 2. Podgotovka letnogo ekipazha: optimizatsiya raboty ekipazha v kabine (CRM) i letnaya podgotovka v usloviyakh, priblizhennykh k real'nym (LOFT) [Circular 217-AN/132. Human factors digest No 2. Flight crew training: optimization of crew work in the cockpit (CRM) and flight training in conditions close to real (LOFT)]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 1989. 78 p.
17. Tsirkulyar 300-AN/173. Chelovecheskii faktor. Sbornik materialov № 15. Chelovecheskii faktor v obespechenii bezopasnosti v passazhirskom salone [Circular 300-AN/173. Human factors digest No 15. The human factor in ensuring safety in the passenger cabin]. Montreal': Mezhdunarodnaya organizatsiya grazhdanskoi aviatsii Publ., 2003. 80 p.
18. Ustinov V.V., Kashkovskii V.V., Chobanyan L.G. Metodika, algoritm i kriterii kolichestvennogo otsenivaniya kachestva vypolneniya manevra zakhoda na posadku i posadki srednemagistral'nogo vozduzhnogo sudna po dannym sredstv ob'ektivnogo kontrolya [Methodology, algorithm and criterion for quantifying the quality of the approach and landing maneuver of a medium-haul aircraft according to objective control data]. *CREDE EXPERTO: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk* [CREDE EXPERTO: transport, society, education, language], 2022, no 1, pp. 51–72.
19. Ustinov V.V. Nazarov P.S. Odin iz podkhodov k planirovaniyu podgotovki kursantov letnykh uchilishch s uchetom urovnya natrenirovannosti i kachestva vypolneniya poletnogo zadaniya [One of the approaches to planning the training of cadets of flight schools, taking into account the level of training and the quality of the flight task]. *CREDE EXPERTO: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk* [CREDE EXPERTO: transport, society, education, language], 2020, no 1, pp. 74–88.
20. Chobanyan L.G., Nazarov P.S. Metodika, algoritm i kriterii kolichestvennogo otsenivaniya kachestva vypolneniya manevrov i figur pilotazha po dannym sredstv ob'ektivnogo kontrolya [Methodology, algorithm, and criterion for quantifying the quality of maneuvers and aerobatics based on objective control data]. *Shornik trudov XIV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i aspirantov «Aktual'nye problemy razvitiya aviatsionnoi tekhniki i metodov ee ekspluatatsii»* [Proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates «Actual problems of the development of aviation technology and methods of its operation】. Irkutsk, 2021, Vol. 1, pp. 125–130.
21. Ustinov V.V., Shishkin Yu.N., Poluektov S.P. Metodika i algoritm ob'ektivnogo otsenivaniya urovnya natrenirovannosti letnogo sostava (deponirovannaya rukopis') [Methodology and algorithm of objective assessment of the level of flight personnel training (Deposited manuscript)].
22. Ustinov V.V., Shishkin Yu.N., Zheltukhin A.S. Metodika ob'ektivnogo otsenivaniya urovnya obuchennosti kursantov letnykh uchilishch i planirovaniya ikh letnoi podgotovki [Methodology of objective assessment of the level of training of cadets of flight schools and planning of their flight training]. *Mezhevuzovskii shornik «Aktual'nye problemy vuzov VVS»* [Interuniversity proceedings «Actual problems of Air Force universities】. Moscow, 2007, iss. 23, pp. 15–18.
23. Ustinov V.V., Kashkovskii V.V. Metodika ob'ektivnoi otsenki professional'noi podgotovlennosti letnogo sostava manevrennykh samoletov [Methods of objective assessment of the professional readiness of flight personnel of maneuverable aircraft]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii* [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation], 2013, no 187, pp. 161–163.
24. Butyrin O.A., Kleshchenko S.V. Metodika kolichestvennoi otsenki kachestva tekhniki pilotirovaniya letchika v reisovykh usloviyakh [Methodology for quantifying the quality of a pilot's piloting technique in flight conditions]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of flight safety], 2008, no 9, pp. 17–30.
25. Butyrin O.A., Kleshchenko S.V. Metodika optimal'nogo poleta [Optimal flight methodology]. *Problemy bezopasnosti poletov* [Problems of flight safety], 2008, no 10, pp. 23–30.
26. Butyrin O.A., Kleshchenko S.V. Prodolzhenie issledovaniy po metodike parametricheskogo monitoringa poleta (elektronnye resursy) [Continuation of research on the methodology of parametric flight monitoring (electronic resource)]. Available at: <https://www.aviahumanfactor.ru/bezopasnost/1/1485/prodolzhenie-issledovaniy-po-metodike-parametricheskogo-monitoringa-poleta.htm> (Accessed October 22, 2024).
27. Ventsel' E.S. Teoriya veroyatnostei [Theory of probability]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2001. 576 p.

Информация об авторе

Кашковский Виктор Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru.

Устинов Владимир Валентинович, старший преподаватель кафедры авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов, Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации, г. Иркутск; e-mail: ustinov_1956@mail.ru.

Author

Victor V. Kashkovsii, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Information Systems and Information Security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru.

Vladimir V. Ustinov, Assistant Professor of the Department of Aviation Electrical Systems and Pilot Navigation Systems, Irkutsk Branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk; e-mail: ustinov_1956@mail.ru.

Современные технологии
Системный анализ
Моделирование

№ 1 (85)

2 0 2 5

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор Ю.А. Трофимов
Ответственный за выпуск А.В. Димов

Подписано в печать 28.03.2025. Формат 60x84/8.

Дата выхода в свет 31.03.2025

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,79.

Уч.-изд. л. 12,44. Тираж 500 экз. Заказ № 3767

Подписной индекс по каталогу «Урал-Пресс»: 64556

ISSN: 1813-9108

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН.

Сведения о журнале ежегодно

публикуются в международной справочной системе

по периодическим и продолжающимся изданиям

«Ulrich's Periodicals Directory»

ИД №06506 от 26.12.01

Маркировка информационной продукции - не маркируется

Цена свободная

Адрес редакции, издательства и типографии

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

Иркутский государственный университет путей сообщения

Телефон: 8(3952) 63-83-74, E-mail: stsam@irgups.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство ПИ № ФС77-66109 от 20 июня 2016 г.

Учредитель: ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения
(664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15)