

Наука и Техника транспорта



Транспорт

Моделирование транспортных процессов

Безопасность деятельности человека

2025 1

Наука и Техника Транспорта



Научно-технический журнал

Входит в перечень изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по следующим научным специальностям:

- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);
 - 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки);
 - 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки);
 - 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог (технические науки);
 - 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки);
 - 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки);
 - 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки);
 - 2.10.3. Безопасность труда (технические науки).

Адрес редакции:

125315, Москва, Часовая ул., 22/2
Тел.: 8 (495) 281-45-20 доб. 385.
125315, Chasovaya Str., 22/2, Russia, Moscow
Tel.: 8 (495) 281-45-20 ext: 385 Fax: 8 (499) 151-18-37

E-mail: nttmag@mail.ru,
<http://ntt.rgotups.ru>

Подписной индекс
в каталоге агентства «Урал-Пресс» – 69960.

Издатель: РУТ (МИИТ)
Тел.: 8 (495) 649-19-00 доб. 385.
Журнал выходит 4 раза в год.
Свидетельство о регистрации выдано Роскомнадзором
ПИ №ФС77-82472 от 10 декабря 2021 г.
Выходит с 2002 года.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Редакция не несет ответственности за представленные материалы. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи рецензируются и не возвращаются. Использованы фотоматериалы из открытых источников. Обложка: фото паровоза (автор Д.Н. Тихонычев).

Отпечатано РУТ (МИИТ):
125315, Москва, З-й Балтийский пер, д.4, к.5

Подписано в печать 27.03.2025.

Усл. печ. л. 16,75 Тираж 60 экз.
Формат 60×90^{1/.} Тип. зак. 2

© Наука и техника транспорта, 2025

Редакционный совет:

д-р техн. наук, проф. Апатцев В.И. – председатель;
д-р техн. наук, проф. Бугреев В.А. – зам.председателя;
д-р техн. наук, проф. Аксенов В.А.;
д-р техн. наук, проф. Безродный Б.Ф.;
д-р экон. наук, проф. Белоусова Н.И.;
д-р техн. наук, проф. Горелик А.В.;
д-р техн. наук, проф. Космодамианский А.С.;
д-р ф.-м. наук, проф. Локтев А.А.;
д-р экон. наук, проф. Мирошниченко О.Ф.;
д-р техн. наук, проф. Mkртычев О.В.;
д-р техн. наук, проф. Мондрус В.Л.;
д-р техн. наук, проф. Никитин А.Б.;
д-р техн. наук, проф. Николайкин Н.И.;
д-р техн. наук, проф. Осьминин А.Т.;
д-р техн. наук, проф. Сачкова О.С.;
д-р техн. наук, проф. Сидоренко В.Г.;
д-р техн. наук, доц. Сычев В.П.;
д-р техн. наук, доц. Федок Р.С.;
д-р экон. наук, проф. Шкурина Л.В.

Главный редактор

В.И. Алатцев

Ответственный редактор

В.А. Бугреев

Ответственный секретарь

ВА Кочнев

В.А. Коновал
Редакторы

Л.Н. Тихонычев, В.К. Тихонычева

1' 2025

Содержание

Транспорт



А.Э. Горев, О.В. Попова

Повышение устойчивости пассажирских транспортных систем в городах

8



**С.П. Вакуленко, В.И. Апатцев, К.А. Калинин,
А.Д. Ершов**

Алгоритм определения размеров движения грузовых поездов в общих сечениях их проследования

16



Е.В. Щербинина

Построение графика оборота транспортных единиц в пассажирских перевозках

24



**Е.В. Сорокина, Д.А. Ромашов, О.С. Сачкова,
С.Л. Самошкин**

Методы оценки габаритно-весовых параметров пассажирского экскурсионного вагона с учетом особенностей несущей конструкции

32



В.А. Эсаулов, Е.В. Мединцев

Методика моделирования возврата подвижного состава с припортовых и пограничных станций на основе решения транспортной задачи линейного программирования

42



К.С. Яникеев

Формирование транспортных коридоров на железных дорогах с увеличенным транзитным движением

51



А.О. Петров

Анализ фактических зависимостей мгновенного значения коэффициента трения колодочного тормоза от скорости движения подвижного состава

61



**Г.А. Чернова, А.В. Попов, М.В. Великанова,
В.Е. Костин**

Эффективность государственного контроля при перевозке пассажиров автомобильным транспортом на примере города Волжского

69

Содержание



В.С. Кузьмин, Р.О. Рядчиков

О влиянии внешних электромагнитных полей силового оборудования на работу локомотивных устройств безопасности

79

В.С. Колокольников, Т.А. Фалалеева

Влияние распределенного бункера на пропускную способность полигона

84

Моделирование транспортных процессов



**В.Г. Сидоренко, Е.В. Копылова, М.А. Туманов,
В.А. Копылов**

Постановка задачи планирования текущего содержания и уборки остановочных пунктов с низким пассажиропотоком

92



А.Г. Отока, Р.Р. Икака, О.В. Холодилов

Применение нейронных сетей в распознавании индикаций при магнитопорошковом контроле деталей железнодорожного транспорта

98



В.В. Соловьев, С.В. Федорова

Мониторинг на строительных объектах: алгоритмы распознавания и предупреждение рисков

109

А.С. Филипченко

Применение ссылочного ранжирования при моделировании параллельных специализированных вычислительных систем на транспорте

114

Безопасность деятельности человека



В.А. Кочнев

Условия труда и риски бригад, обслуживающих экологически чистые туалетные комплексы подвижного состава железных дорог

119

Содержание



Д.С. Шульга

Оценка профессиональных рисков работников железнодорожного транспорта. Основные алгоритмы оценки

124



Л.А. Леванчук

Подходы к определению риска развития производственно-обусловленных заболеваний работников транспортной отрасли

130

CONTENTS

Transport

A.E. Gorev, O.V. Popova

Increasing Sustainability of Passenger Transportation Systems in Cities 8

The article is devoted to the balanced development of urban transportation systems, including the improvement of environmental friendliness of urban passenger transport. The paper presents the results of research into the effectiveness of replacing buses with electric buses with dynamic charging on the example of a number of routes in St. Petersburg. Such replacement gives a steady effect in the form of reduction of operating costs, which can be increased by increasing the service life of the battery.

Key words: electric bus with dynamic charging, autonomous trolleybus, balanced development

S.P. Vakulenko, V.I. Apattsev, K.A. Kalinin, A.D. Ershov

Algorithm for Determining the Size of Freight Train Traffic in Common Sections of Their Passage 16

The article describes the algorithm developed by the authors for determining the size of freight train traffic in various sections of railway junctions and the required number pool allocated in the normative train schedule. The algorithm takes into account the structure of a railway junction, the mutual location of stations open for freight work and tariff restrictions on the passage of freight trains on separate sections of the railway infrastructure of the junction.

Key words: traffic flows, freight transportation, railway junction, traffic dimensions, infrastructure operation

E.V. Scherbinina

Building a Schedule of Turnover of Transport Units in Passenger Transportation 24

The article proposes a unified methodology for building a schedule of turnover of transport units in passenger transportation, taking into account the idle time of rolling stock under technical inspection and different types of repairs. The methodology also allows to determine the required fleet of rolling stock and is applicable to any type of transportation.

Key words: transport unit (TU), turnover schedule, route, required rolling stock, passenger transportation

E.V. Sorokina, D.A. Romashov, O.S. Sachkova, S.L. Samoshkin

Methods of Estimation of Dimension-Weight Parameters of Passenger Excursion Car Taking into Account Peculiarities of Bearing Structure 32

The article is devoted to experimental determination of dimension-weight parameters of passenger excursion car model 61-941 created on the basis of serial passenger car model 61-4179 during overhaul-repair (CRR) by Tambov Car Repair Plant. Statistical processing of the test results has shown that the passenger car of model 61-941 meets all normative requirements by its dimensional and weight parameters.

Key words: passenger excursion car, dimensional-weight parameters, statistical processing

V.A. Esaulov, E.V. Medintsev

Methodology of Modeling the Return of Rolling Stock from Port and Border Stations on the Basis of Solving the Transport Problem of Linear Programming 42

The problem of optimizing the return of train traffic from port and border stations on the example of the Eastern polygon is solved. The solution of the problem makes it possible to normalize the transit and unloading train flows from the stations of mass origin when building the normative train schedule, as well as to redistribute the work on the formation of unloading train flow between the stations depending on the intensity of the predicted approach of cargo.

Key words: modeling, optimization, empty flow return, normative train schedule

K.S. Yanikeev

Formation of Transport Corridors on Railroads with Increased Transit Traffic 51

The article considers the system of wagon flow organization in the formation of transport corridors on the railroad network. The analysis of the car turnover indicators for 2021-2023 is carried out. The ways of increasing the transit wagon traffic on the section of the railway polygon are considered. The calculations proving the expediency of forming a transport corridor on a separate line are presented.

Key words: car turnover, transport corridors, car traffic, railroad lines, railroad polygon

CONTENTS

A.O. Petrov

- Analysis of Actual Dependences of Instantaneous Value of Friction Coefficient of Shoe Brake on the Speed of Rolling Stock **61**

The nature of dependence of friction coefficient on the speed of movement, revealed earlier, shows other features at a new consideration. In the course of the work the analysis of the parameters on which its instantaneous value depends is carried out, comparison with the characteristic for the disk brake is carried out.

Key words: car, brake system, brake pad, friction coefficient

G.A. Chernova, A.V. Popov, M.V. Velikanova, V.E. Kostin

- Efficiency of State Control in Passenger Transportation by Road Transport on the Example of the City of Volzhskiy **69**

The issues of state control of passenger transportation by buses are considered. The aim is to evaluate the efficiency of state control. The results of inspections of the activity of carriers and individual entrepreneurs concerning road traffic safety in passenger transportation on regular routes of Volzhsky city are given. Proposals for further improvement of the situation are given.

Key words: route network, buses, traffic safety, state control

V.S. Kuzmin, R.O. Ryadchikov

- About the Influence of External Electromagnetic Fields of Power Equipment on the Operation of Locomotive Safety Devices **79**

In this paper using computer modeling based on the finite element method, the characteristics of the external electromagnetic field formed during the operation of asynchronous traction motor in the area of suspension of the receiving coils are determined. The necessity of further study of the inductive coupling features of the receiving coils of the main safety devices and external electromagnetic fields formed by power equipment is pointed out.

Key words: electromagnetic compatibility, external electromagnetic field, asynchronous traction drive

V.S. Kolokolnikov, T.A. Falaleeva

- Influence of a Distributed Hopper on the Throughput Capacity of a Polygon **84**

The study of railroad sections and polygons on simulation models has shown a strong interrelation between station and section infrastructure, throughput capacity and train flow structure. A change in the latter with inadequate infrastructure inevitably leads to a reduction in the capacity of the section. The results of experiments that demonstrate this interaction are presented, and recommendations for its improvement are given.

Key words: infrastructure development, polygon, duplex with distributed capacity, heterogeneity

Modelling of transport processes

V.G. Sidorenko, E.V. Kopylova, M.A. Tumanov, V.A. Kopylov

- Setting the Task of Planning the Current Maintenance and Cleaning of Stopping Points with Low Passenger Traffic **92**

The article deals with the issues of current maintenance and cleaning of stopping points on railway transportation and other similar works, the quality of performance of which has a significant impact on the level of JSCo "Russian Railways" performance evaluation. The technology of maintenance of stopping points with low passenger flow by mobile brigades is proposed. The mathematical formulation of the corresponding optimization problem is performed.

Key words: stop point, mobile brigade, mobile brigade work schedule, current maintenance and cleaning

A.G. Otoka, R.R. Ikaka, O.V. Kholodilov

- Application of Neural Networks in Recognition of Indications in Magnetic Powder Inspection of Railway Transportation Parts **98**

The article deals with the application of convolutional neural networks for detection and classification of defects detected in magnetic powder inspection of parts and components of railroad rolling stock. A variant of



CONTENTS

the algorithm of building a neural network on the basis of the existing programming environment Google Colab, libraries Tensor Flow and Keras and programming language Python is offered.

Key words: magnetic particle inspection, parts of railway transportation, magnetic particle indications

V.V. Soloviev, S.V. Fedorova

Monitoring at Construction Sites: Algorithms for Recognition and Risk Prevention **109**

This publication analyzes machine vision algorithms for monitoring safety standards at construction sites. The process of algorithm creation is described: from image collection and augmentation to training an artificial intelligence model. In previous work, a model was developed to identify the danger zone around a crane and to monitor the movement of personnel with alerts.

Key words: structures, infrastructure, operations optimization, AI-technologies, information arrays, algorithm training

A.S. Filipchenko

Application of Reference Ranking in Modeling of Parallel Specialized Computing Systems on Transport **114**

Mathematical principles of the reference ranking algorithm based on the synthesis of linear algebra and graph theory are described. The adaptation of the algorithm to the graph model of the topology of parallel specialized computing systems is carried out. For approbation of the proposed method of modeling the weight characteristics of nodes of computing systems the oriented graph of the parallel specialized computing system «CDF 9/7» is used. The program realization of the adapted algorithm of link ranking in the form of a web-application with a graphical interface is demonstrated.

Key words: modeling, ranking, parallelization, topology, graphs, algorithm, processors

Safety of human activity

V.A. Kochnev

Working Conditions and Risks of Brigades Servicing Ecologically Clean Toilet Complexes of Railway Rolling Stock **119**

The article deals with working conditions and risks faced by brigades servicing ecologically clean toilet complexes (ECTC). Negative factors of working environment at maintenance and repair of ECTC are considered. A set of measures to ensure labor safety of workers is offered.

Key words: risks, labor conditions, workers, rolling stock, maintenance of ECTCs

D.S. Shulga

Assessment of Professional Risks of Railway Transportation Workers. Basic Algorithms of Assessment **124**

The article presents general principles and algorithms of assessment of professional risks, which may affect the workers of railway transportation when performing work in normal mode.

Key words: assessment of professional risks, danger, hazardous object, production process, railway transport workers

L.A. Levanchuk

Approaches to Determining the Risk of Development of Production-Related Diseases of Workers in the Transportation Industry **130**

To assess the impact of factors of the production process on the health risk indicators of workers, it is advisable to identify the share of the influence of age-related health changes on the risk. As a result of the research the dependences are determined, which are further used for determination of personalized indicators of health risk of workers in different conditions of transport industry without taking into account the influence of age changes.

Key words: working conditions, health risk, age-specific coefficients

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ГОРОДАХ



А.Э. Горев



О.В. Попова

Статья посвящена сбалансированному развитию транспортных систем городов, в том числе повышению экологичности городского пассажирского транспорта. Приводятся результаты исследования эффективности замены автобусов на электробусы с динамической зарядкой на примере ряда маршрутов Санкт-Петербурга. Подобная замена дает устойчивый эффект в виде снижения эксплуатационных затрат, который можно повысить за счет увеличения срока службы аккумуляторной батареи.

Ключевые слова: электробус с динамической зарядкой, троллейбус с автономным ходом, сбалансированное развитие

EDN: ALWGEU

Процессы развития городов в РФ ведут к увеличению доли городского населения и «городского» образа жизни и характеризуются концентрацией населения в крупнейших и крупных городах. Такое преобразование крупнейших городов в мегаполисы, где рост населения и числа автомобилей опережает развитие различных инфраструктурных и сервисных сфер, вызывает большое количество проблем, связанных с поддержанием комфортной среды для проживания, обеспечения современного уровня мобильности, экологии и т.п.

Увеличение численности населения в городах ведет к появлению серьезных проблем с обеспечением мобильности населения в связи с:

- повышением плотности населения, которая требует повышения пропускной способности улично-дорожной сети;

- увеличением расстояния перемещения населения, что повышает долю транспортного времени в суточном балансе.

Наиболее эффективным подходом к решению этих задач служит стремление к сбалансированному развитию городских территорий [1–4].

Устойчивое (сбалансированное) развитие (sustainable development) – это баланс перспективного развития территории, направленный в первую очередь на повышение качества жизни населения с учетом текущих и перспективных экономических

Горев Андрей Эдливич, доктор экономических наук, профессор, руководитель проектов отдела пассажирского транспорта Центра пассажирского транспорта Академии транспортного планирования Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов: повышение эффективности транспортных систем, цифровизация управления городским пассажирским транспортом. Автор более 150 научных работ, в том числе пяти учебников.

Попова Ольга Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, руководитель проектов отдела пассажирского транспорта Центра пассажирского транспорта Академии транспортного планирования Российской университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности работы транспорта общего пользования, цифровизация и инновации в транспортной отрасли. Автор более 40 научных работ, в том числе двух учебников и одного учебного пособия.

возможностей при улучшении экологической ситуации. Понятие устойчивого развития подразумевает взаимодействие и взаимодополнение экономических, социальных и экологических аспектов прогресса, как это показано на схеме (рис. 1).

Экономическая составляющая предопределяет оптимальное использование ограниченных ресурсов, использование сберегающих технологий и справедливое распределение совокупного дохода.

Социальная составляющая фокусируется на благо-получии человека и стремится поддерживать устойчивость общественных и культурных систем.

Экологическая составляющая направлена на поддержание целостности биологических и физических экосистем.

Залогом устойчивого развития городов является развитие сбалансированной транспортной системы, которая должна обеспечивать:

- современный уровень мобильности населения при высоком уровне территориальной и экономической доступности мультимодальных поездок;
- высокие экологические стандарты с перспективой «нулевых» выбросов от подвижного состава (полную электрификацию городского транспорта).

Повышение экологичности городского транспорта

Подвижной состав (ПС) городского пассажирского транспорта (ГПТ) с различным типом привода может проехать разное расстояние при одинаковом количестве потребляемой энергии¹ (рис. 2). Эти данные свидетельствуют о том, что электробусы на

аккумуляторных батареях экономят топливо почти в четыре раза больше, чем автобусы на компримированном природном газе, а самым экономичным является троллейбус за счет получения энергии из внешнего источника.

Представленные на рис. 2 данные показывают, что увеличение экологической и экономической эффективности ГПТ будет зависеть от перехода на электрический привод. Опыт показывает, что замена автобусов с дизельным двигателем на электробусы связана с увеличением затрат на сам ПС и зарядные станции. В то же время прогресс в технологиях и снижение стоимости тяговых аккумуляторных батарей позволил производителям троллейбусов обеспечивать им возможность движения с полной нагрузкой на участках маршрута без контактной сети – автономный ход.

Троллейбус с увеличенным автономным ходом – электробус с динамической подзарядкой типа ИМС (In-motion charging) за счет наличия тяговых аккумуляторных батарей обладает следующими преимуществами:

- может двигаться с пассажирами по участкам маршрута без контактной сети, что позволяет продлевать действующий маршрут, гибко вносить в него изменения при изменении спроса, авариях или дорожных работах;
- продолжает работать на маршруте при повреждениях отдельных участков контактной сети за счет автоматики опускания и подъема токоприемных штанг;
- оптимально использует аккумуляторные батареи, поскольку они заряжаются в процессе движения по маршруту (не допускается их глубокая разрядка),

¹ По данным Американской лаборатории по возобновляемым источникам энергии (National Renewable Energy Laboratory (NREL)).

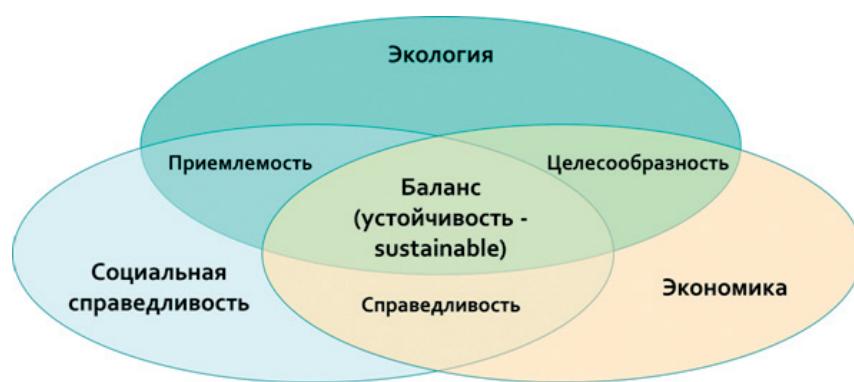


Рис. 1. Концепция сбалансированного развития

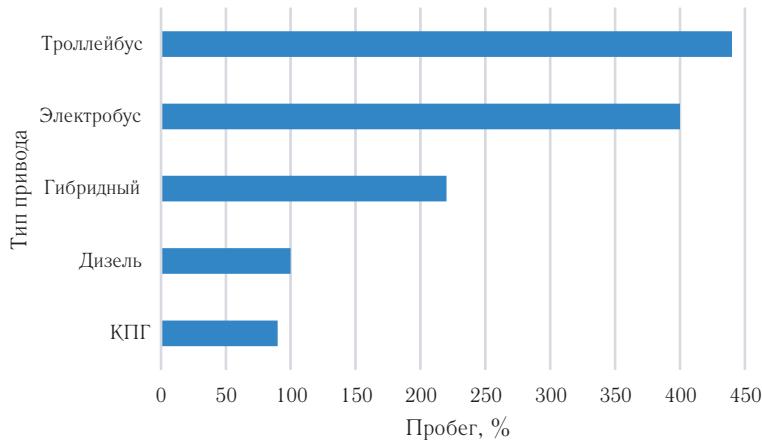


Рис. 2. Относительный пробег, совершаемый различными видами ПС ГПТ, при потреблении одинакового количества энергии

отсутствуют сверхнормативные простои на конечных станциях, что характерно для электробусов с быстрой зарядкой при существенной разрядке аккумуляторов;

- не требуется строительство дополнительной контактной сети на конечных станциях, разворотных площадках, в депо и парках, за счет возможности маневрировать с опущенными токоприемными штангами.

Протяженность участков без контактной сети должна составлять 30–40 % от протяженности участков с контактной сетью для возможности зарядки аккумуляторов, при этом контактная сеть должна выдерживать более значительные нагрузки, т.е. провода должны иметь большее сечение при достаточной мощности тяговых подстанций.

Эффективность использования электробусов с динамической зарядкой

Эффективность использования электробусов с динамической зарядкой позволяет ГПТ эволюционировать в направлении повышения сбалансированного развития, в том числе с улучшением экологичности по сравнению с автотранспортом [5;6]. В соответствии с этой тенденцией использование троллейбусов с большим (увеличенным) автономным ходом (ТУАХ) является возможной альтернативой замены автобусов, а также логическим развитием современных троллейбусных систем в направлении повышения гибкости работы и экологичности ГПТ [7;8]. В рамках данного исследования авторы остановились на оценке эффективности использования ТУАХ взамен использования автобусов в центральной части Санкт-Петербурга. Подобная замена позволит создать так называемую экозону, в которой преимущественно должен исполь-

зоваться электротранспорт. Создание экозоны будет стимулировать перевозчиков к приобретению экологически чистого подвижного состава и способствовать снижению загрязнения атмосферы, что позволит повысить качество жизни людей, проживающих и работающих в центре города, а также повысить его имидж как европейского города [9–13].

В рассматриваемой экозоне проходит более 50 автобусных маршрутов. Каждый маршрут анализировался на предмет возможности или невозможности использования на нем ТУАХ. На маршрутах, где протяженность участков с контактной сетью менее 45 % протяженности маршрута и протяженность участка без контактной сети более 10 км возможность использования электробусов с динамической зарядкой не рассматривалась.

При анализе автобусных маршрутов для рассмотрения возможности использования ТУАХ также учитывались особенности прохождения маршрута, расположение остановочных пунктов, количество и протяженность участков без контактной сети и величина парковых пробегов. В результате анализа для оценки эффективности замены автобусов с двигателем внутреннего сгорания на электробусы с динамической зарядкой, были выбраны четыре автобусных маршрута: 6, 47, 105 и 128.

Оценка эффективности использования электробусов с динамической зарядкой рассматривалась на основе сопоставления варианта замены автобусов на ТУАХ с вариантом отказа от реализации предлагаемого мероприятия.

Для этого в рамках проведенного исследования был произведен расчет затрат на эксплуатацию ПС по рассматриваемым маршрутам для двух сценариев:

1 сценарий. Замена автобусов на ТУАХ на четырех автобусных маршрутах (6, 47, 105 и 128). На маршрутах 6, 105 и 128 на момент проведения исследования работает ПС большого класса вместимости, который будет заменен на ТУАХ большого класса вместимости. На маршруте 47 работают автобусы среднего класса вместимости. С целью сохранения существующих интервалов движения представляется целесообразным произвести замену автобусов, работающих на маршруте 47, на ТУАХ большого класса вместимости в том же количестве.

2 сценарий. Существующий вариант, т.е. отказ от использования ТУАХ на автобусных маршрутах 6, 47, 105 и 128.

Затраты на эксплуатацию подвижного состава включают все расходы перевозчика на обслуживание маршрутов и поддержание ПС в исправном состоянии [14;15]. В основе проведенных расчетов по рассматриваемым сценариям учитывались требования Приказа Минтранса №351 [16].

При определении затрат на электроэнергию на движение ТУАХ учитывался коэффициент энергоэффективности K_s . Коэффициент K_s учитывает уменьшение потребления электроэнергии на маршруте, на котором работает ТУАХ, по сравнению с аналогичным маршрутом, на котором работает троллейбус, использующий контактную сеть на всем протяжении маршрута. Полагая, что потребление электроэнергии на маршруте за время движения ТУАХ в обоих направлениях при питании от контактной сети оценивается в 100% (коэффициент 1). Тогда, при движении ТУАХ на участке автономного хода, потребления электроэнергии нет (коэффициент 0), а на участке движения от контактной сети, равном протяженности автономного хода, происходит подзарядка аккумулятора (коэффициент 1,6, так как штатное движение на участке происходит с коэффициентом 1, а подзарядка происходит из двух источников – 60% от контактной сети и 40% от рекуперации энергии торможения). На оставшемся участке потребление в штатном режиме

(коэффициент 1). Таким образом, коэффициент энергоэффективности может быть рассчитан по следующей формуле:

$$K_s = (1,6L_{\text{бппрям}} + 1,6L_{\text{бпобр}} + (2L_m - 2L_{\text{бппрям}} - 2L_{\text{бпобр}})) / 2L_m,$$

где $L_{\text{бппрям}}$ – протяженность маршрута без проводов в прямом направлении, км; $L_{\text{бпобр}}$ – протяженность маршрута без проводов в обратном направлении, км; $2L_m$ – протяженность маршрута в обоих направлениях, км.

При определении амортизационных отчислений при использовании ТУАХ учитывалось, что срок полезного использования троллейбуса и аккумуляторного модуля имеет различное значение, что в расчетах учитывалось следующим образом:

$$A_{\text{акб}} = (C_t + C_a \cdot (T_t / T_a)) / T_t,$$

где $A_{\text{акб}}$ – сумма начисленной амортизации при использовании ТУАХ, руб.; C_t – стоимость троллейбуса, руб.; C_a – стоимость аккумуляторного модуля, руб.; T_t – срок полезного использования троллейбуса, лет; T_a – срок полезного использования аккумуляторного модуля, лет.

В табл. 1 приведены исходные данные для расчета эксплуатационных расходов перевозчика по рассматриваемым вариантам, а на рис. 3 результаты расчета для сравнения рассматриваемых сценариев (1 сценарий – использование на рассматриваемых маршрутах ТУАХ; 2 сценарий – автобусные маршруты без замены автобусов на ТУАХ).

В табл. 2 приведены сравнительные годовые эксплуатационные расходы и удельных эксплуатационных расходов для двух рассматриваемых сценариев. При расчете годовых эксплуатационных расходов и себестоимости для каждого из сценариев учитывались одинаковые значения рентабельности и коэффициента использования пробега.

Сравнивая результаты расчетов эксплуатационных расходов по двум рассматриваемым сценариям из рис. 3 и табл. 2 видно, что преимущество имеет

Таблица 1

Исходные данные для расчета эксплуатационных расходов перевозчика

Показатель	Сценарий 1		Сценарий 2	
	ТУАХ	Автобусы		
Класс ПС (средний – СК; большой – БК)	БК	СК	БК (ДТ*)	БК (СПГ**)
Количество ПС, ед.	62	6	44	12
Пробег, км	2985900,36	374621,28	1819103,52	792175,56

* – Автобусы, работающие на дизельном топливе. ** – Автобусы, работающие на сжиженном природном газе.

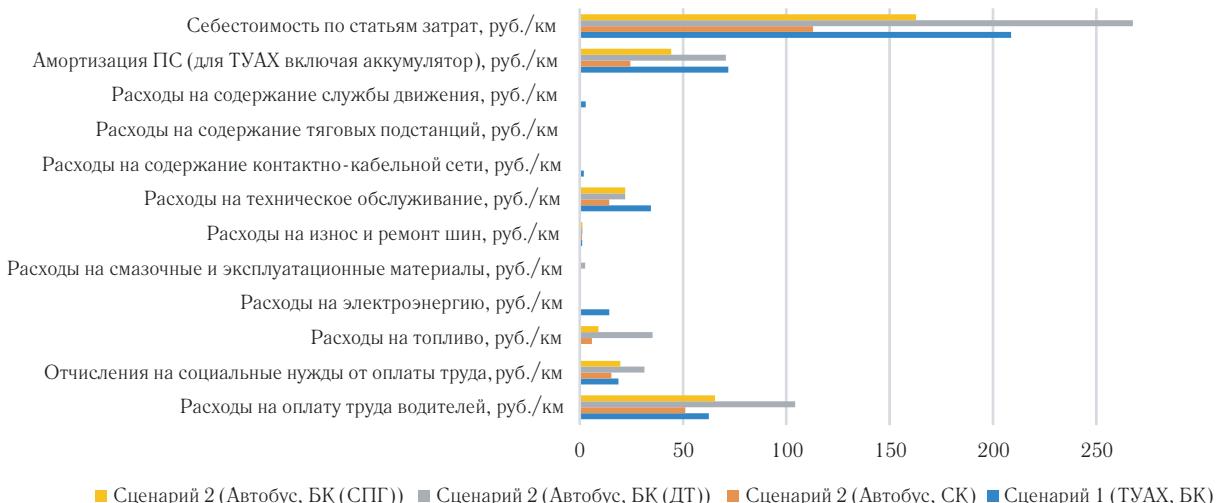


Рис. 3. Эксплуатационные расходы по статьям затрат для двух сценариев

Таблица 2

Сравнительная характеристика двух рассматриваемых сценариев

Показатель	Сценарий 1 (ТУАХ)	Сценарий 2 (Автобусы)
Годовые эксплуатационные расходы на весь ПС, млн руб.	759,22	801,67
Приведенные эксплуатационные расходы, руб./км	254,27	268,49
Приведенные эксплуатационные расходы, руб./место-км	2,83	3,16

ТУАХ. Так, при замене на четырех рассматриваемых маршрутах автобусов на ТУАХ, годовые эксплуатационные расходы снижаются на 5,3%, а себестоимость 1 место-км на 10,4%.

Из рис. 3 видно, что наибольшие затраты приходятся на дизельные автобусы большого класса вместимости, поэтому замена подобных автобусов на ТУАХ принесет еще большую выгоду. Так, если бы на четырех рассматриваемых маршрутах работали дизельные автобусы большого класса вместимости, то при замене их на ТУАХ большого класса вместимости, годовые эксплуатационные расходы составят 867,16 млн руб., что на 12,4% выше, чем при использовании электробусов с динамической зарядкой при равных условиях эксплуатации (одинаковом количестве используемого ПС большого класса вместимости и одинаковом пробеге).

При расчете затрат на эксплуатацию ТУАХ в сценарии 1 учитывался срок службы аккумуляторного модуля восемь лет. На рис. 4 приведена зависимость изменения годовых эксплуатационных расходов и удельных эксплуатационных расходов, при использо-

вании ТУАХ на рассматриваемых маршрутах, от срока службы аккумуляторного модуля.

Из рис. 4 можно сделать вывод, что даже при сроке службы аккумуляторного модуля менее восьми лет (менее, чем заявлено изготовителем) эксплуатационные расходы, как годовые, так и удельные, в сценарии 1 меньше, чем в сценарии 2. Так, при сроке службы аккумуляторного модуля пять лет, годовые затраты на эксплуатацию ТУАХ составят 793,68 млн руб., удельные – 2,95 руб./место-км, что на 1 % и на 6,7% соответственно меньше, чем при эксплуатации автобусов при равных условиях эксплуатации (одинаковом количестве используемого ПС большого класса вместимости и одинаковом пробеге). Однако при увеличении срока полезного использования аккумуляторного модуля до 10 лет можно достичь эффекта в виде снижения годовых эксплуатационных расходов на 6,7% и удельных на 12% при внедрении сценария 1.

Стоимость электробуса с динамической зарядкой, а также стоимость дополнительного оборудования (аккумуляторного модуля) также оказывают влияние

на эксплуатационные расходы. На рис. 5 приведена оценка влияния стоимости электробуса с динамической зарядкой со сроком полезного использования 15 лет (при разных сроках полезного использования аккумуляторных модулей) на годовые эксплуатационные расходы для сценария 1.

Из рис. 5 можно сделать вывод, что замена автобусов на ТУАХ (сценарий 1) принесет эффект в виде снижения эксплуатационных расходов (затраты на эксплуатацию автобусов по сценарию 2 составляют

801,67 млн руб. (см. табл. 2)) при использовании ТУАХ стоимостью не более: 39,2 млн руб. при сроке полезного использования аккумулятора 5 лет; 44,3 млн руб. при сроке полезного использования аккумулятора 8 лет и 46,4 млн руб. при сроке полезного использования аккумулятора 10 лет.

При этом на рис. 5 видно, что снижение стоимости используемого ТУАХ на рассматриваемых маршрутах с 38,2 до 25,7 млн руб. со сроком полезного использования аккумуляторного модуля 8 лет, позволит

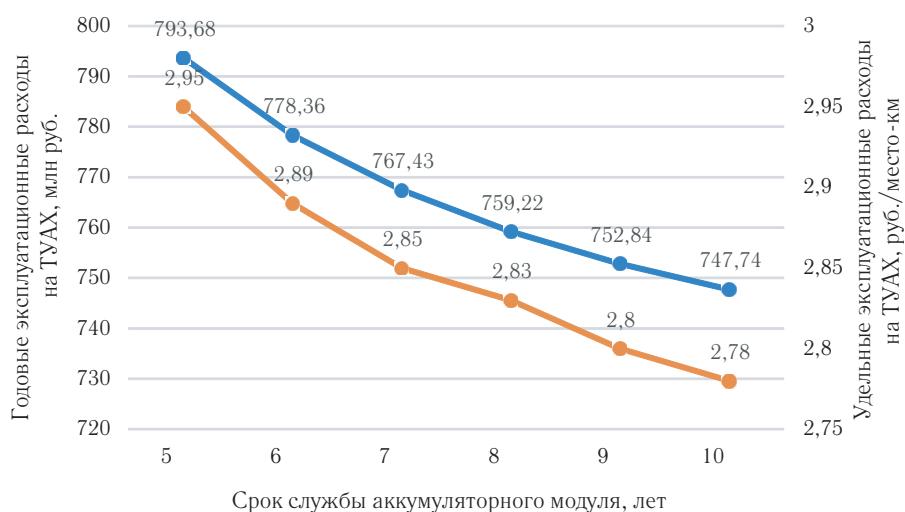


Рис. 4. Зависимость затрат на эксплуатацию электробусов с динамической зарядкой (ТУАХ) от срока службы аккумуляторного модуля

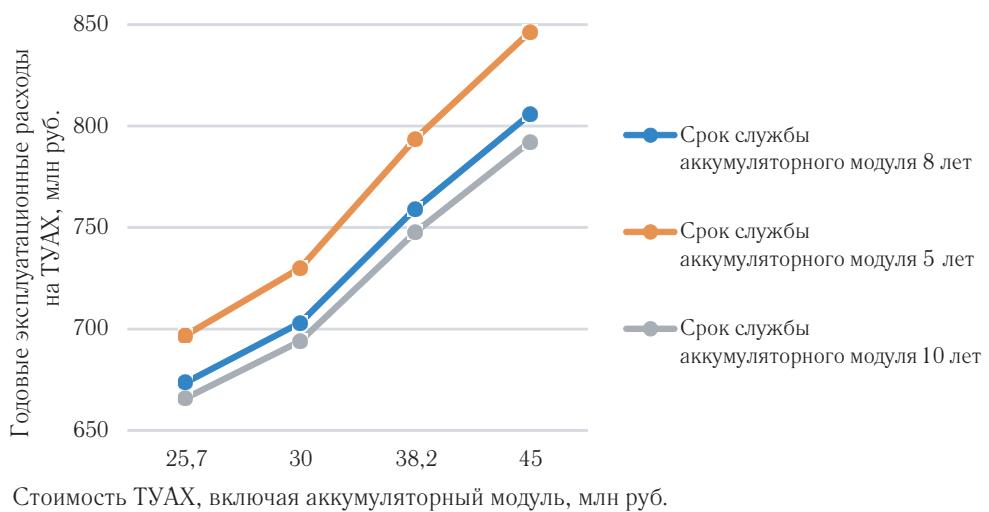


Рис. 5. Зависимость затрат на эксплуатацию ТУАХ (сценарий 1) от стоимости ТУАХ со сроком полезного использования 15 лет, включая стоимость аккумуляторного модуля при разных сроках полезного использования

снизить эксплуатационные расходы на 85,61 млн руб. в год (11,3%), а значит получить эффект от замены дизельных автобусов большого класса вместимости на ТУАХ аналогичного класса вместимости в виде снижения эксплуатационных расходов на 16%.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что замена автобусов, работающих на 4 маршрутах (6, 47, 105 и 128) на электробусы с динамической зарядкой (сценарий 1) приводит к стабильному эффекту, за счет снижения затрат перевозчика на эксплуатацию ПС.

Выводы

Эффект от эксплуатации электробусов с динамической зарядкой (или ТУАХ) включает следующие основные факторы:

1. Экономия капитальных затрат и эксплуатационных расходов за счет снижения протяженности контактной сети и возможности отказа от строительства новых участков.

2. Снижение затрат перевозчика на эксплуатацию подвижного состава.

Исследование показало, что замена автобусов (среднего и большого класса вместимости) на ТУАХ большого класса вместимости со сроком полезного использования аккумуляторного модуля 8 лет, на 4 рассматриваемых маршрутах, позволит получить экономический эффект в виде снижения годовых эксплуатационных расходов на 5,3%, а удельных (себестоимость 1 место-км) на 10,4%.

Проведенное исследование также позволило выявить зависимость стабильного увеличения эффекта

от увеличения срока службы дополнительного оборудования, устанавливаемого на ТУАХ для обеспечения возможности автономного хода. Так, увеличение срока полезного использования аккумуляторного модуля до 10 лет, позволит достичь эффект в виде снижения затрат на эксплуатацию ТУАХ (сценарий 1) годовых на 6,7% и удельных на 12%, а снижение стоимости ТУАХ на 33% позволит увеличить эффект от снижения эксплуатационных расходов до 16% по сравнению с использованием автобусов (сценарий 2) при прочих равных условиях (одинаковое количество используемого ПС, количество выполненных рейсов, пробег и т.п.).

Таким образом, замена автобусов на ТУАХ позволит получить устойчивый экономический эффект, как показало проведенное исследование, даже при том, что троллейбусы (по сравнению с автобусами) требуют наличие инфраструктуры в виде контактных сетей, их обслуживание обходится дешевле и в краткосрочном и в долгосрочном периоде.

3. Повышение эксплуатационной скорости, и, как следствие, снижение затрат времени на перемещение пассажиров.

ТУАХ, благодаря возможности автономного хода и высокой маневренности, способен без замедления проезжать стрелки и пересечения контактной сети, двигаясь с опущенными токоприемными штангами, что позволяет увеличить эксплуатационную скорость на маршруте, а значит повысить привлекательность использования таких маршрутов населением.

4. Улучшение экологии городской среды.



Литература

1. Руководство по устойчивой городской мобильности и территориальному планированию. Содействие активной мобильности. - ЕЭК ООН. - Женева, 2020. - 222 с.- URL: https://unesco.org/DAM/trans/main/wp5/publications/1922152R_web.pdf (дата обращения: 11.12.2024). - Текст : электронный.
2. Синергия концептов развития транспортных систем в условиях современной урбанизации России : монография / И. Н. Пугачев, Ю. И. Куликов, А. Э. Горев [и др.]; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. - Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2019. - 211 с. - Текст : непосредственный.
3. Горев, А. Э. Развитие городского пассажирского транспорта / А. Э. Горев, О. В. Попова. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2019. - № 2 (81). - С. 45-47.
4. Bus Rapid Transit. Planning Guid / 4-rd edition, 2017. New York: Institute for Transportation & Development Policy, 2017. - 1076 p.
5. M. Bartłomiejczyk, Dynamic Charging of Electric Buses. Gdansk, Poland: Gdansk Univ. Technoligy, Faculty of Electrical and Control Engineering, 2018. [Online]. Available: https://books.google.cz/books?id=-ziX_vQEACAAJ.

6. M. Wołek, M. Wolanski, M. Bartłomiejczyk, O. Wyszomirska, K. Grzelec, and K. Hebel, "Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and sopot (Poland)," *J. Cleaner Prod.*, vol. 279, Jan. 2021, Art. no. 123807.
7. Троллейбус с динамической подзарядкой - альтернатива городскому автобусу в агломерациях / А. С. Денисов, А. Р. Асоян, Ю. О. Глушкова, А. В. Пахомова. - Текст : непосредственный // Техническое регулирование в транспортном строительстве. - 2018. - № 1 (27). - С. 80-85. - EDN: YQAOGI.
8. Субботин, М. А. Тенденции развития троллейбусных систем России и мира / М. А. Субботин, Н. А. Субботина. - Текст : непосредственный // Географическое изучение территориальных систем: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Пермь, 16-17 мая 2019 года / Под редакцией М. Б. Ивановой. - Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. - С. 85-90. - EDN: YTRJIV.
9. Горецкая, А. Г. Особенности экологизации и гуманизации городов / А. Г. Горецкая, В. А. Топорина. - Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. - 2018. - № 8 (122). - С. 116-118. - EDN: XYULVR.
10. Парфенов, С. И. Троллейбус с автономным ходом / С. И. Парфенов.- Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2012. - № 3-4 (40-41). - С. 66-67. - EDN: PBZHYR.
11. Коновалова, Т. В. Троллейбусы с автономным ходом в крупных городах / Т. В. Коновалова, А. Ю. Иноземцева. - Текст : электронный // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам третьей международной научно-практической конференции, Краснодар, 29-30 октября 2020 года. - Краснодар: ООО «Принт Терра», 2020. - С. 1077-1080. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44736093&ysclid=m4jro4ojyq775747416>. - EDN: UDFXKM.
12. Цариков, А. А. Троллейбусы с возможностью автономного хода и их влияние на проектирование маршрутной сети городского пассажирского транспорта / А. А. Цариков, В. Г. Бондаренко, А. В. Склянский. - Текст : непосредственный // Инновационный транспорт. - 2022. - № 4 (46). - С. 23-30. - DOI: 10.20291/2-311-164X-2022-4-23-30. - EDN: GJXKSW.
13. I. Diab, R. Eggemont, G. R. Chandra Mouli and P. Bauer, «An Adaptive Battery Charging Method for the Electrification of Diesel or CNG Buses as In-Motion-Charging Trolleybuses», in *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 9, no. 3, pp. 4531-4540, Sept. 2023, doi: 10.1109/TTE.2023.3243022.
14. Эффективность автоматизированного управления транспортными средствами в трамвайных системах / А. Э. Горев, О. В. Попова, Д. Г. Плотников, Е. М. Олещенко. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2024. - Т. 10, № 1. - С. 32-51. - DOI 10.20295/2412-9186-2024-10-01-32-51. - EDN: TJYFGD.
15. W. Hu, C. Wang and X. Zuo, "An Ant Colony Optimization based Approach to Adjust Public Transportation Network," 2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Wellington, New Zealand, 2019, pp. 2575-2580, doi: 10.1109/CEC.2019.8790117.
16. «Об утверждении Порядка определения начальной (максимальной) цены контракта, а также цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок в сфере регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом» : Приказ Минтранса РФ от 20 октября 2021 г. № 351. - Текст : непосредственный.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В ОБЩИХ СЕЧЕНИЯХ ИХ ПРОСЛЕДОВАНИЯ



С.П. Вакуленко



В.И. Апатцев

В статье описан разработанный авторами алгоритм определения размеров движения грузовых поездов в различных сечениях железнодорожных узлов и требуемого фонда номеров, выделяемого в нормативном графике движения поездов. Алгоритм учитывает структуру железнодорожного узла, взаимное расположение станций, открытых для грузовой работы и тарифные ограничения на пропуск грузовых поездов по отдельным участкам железнодорожной инфраструктуры узла.

Ключевые слова: транспортные потоки, грузовые перевозки, железнодорожный узел, размеры движения, эксплуатация инфраструктуры

EDN: KZVDBF

Целью разработки новых принципов проектирования и организации работы железнодорожных узлов является повышение эффективности использования железнодорожной инфраструктуры и улучшение показателей пропуска вагонопотока [1;2]. В зависимости от географического расположения и устоявшейся технологии работы железнодорожных узлов на сети на каждую станцию в пределах железнодорожного узла может приходиться различный объем работ при сопоставимом оснащении этих станций [3].

Интенсификация движения пассажирских и пригородных поездов в крупнейших железнодорожных узлах приводит к исчерпанию существующей провозной способности участков и требует решения более сложных эксплуатационных задач по разработке графика движения поездов [4]. Для сохранения технологической возможности продвижения материального потока железнодорожным транспортом в центр агломерации необходимо устанавливать технологические ограничения к параметрам пропускаемых грузовых поездов

Вакуленко Сергей Петрович, кандидат технических наук, профессор, заместитель директора по международным связям Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: пропускные и перерабатывающие способности линий и станций, управление вагонными парками, логистика грузовых и пассажирских перевозок, мультимодальные перевозки, транспортные коридоры, техническое оснащение и технология работы станций (всех типов). Автор более 300 научных работ.

Апатцев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, советник при ректорате Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация и управление транспортными процессами. Автор около 200 научных и учебно-методических трудов.

Калинин Кирилл Антонович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в грузовом и пассажирском сообщениях, конфигурация работы железнодорожных узлов, организация высокоскоростных пассажирских перевозок, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 80 научных работ, в том числе пяти учебных пособий и пяти монографий.

Ершов Андрей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: моделирование работы железнодорожных станций и участков, развитие полигонных технологий, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 20 научных работ, в том числе одного учебного пособия и одной монографии.

[5]. К качественным показателям организации пропуска грузовых поездов можно отнести их маршрутную скорость движения [6;7], эффективное использование пропускной и провозной способности сети [8–10], согласованность технологии работы отдельных станций и железнодорожных узлов между собой [11;12]. Внедрение новых технологий управления движением и совершенствование систем интервального регулирования в целях сокращения допустимого интервала между различными категориями поездов позволит повысить пропускную способность существующей железнодорожной инфраструктуры [13].

Простои в железнодорожном узле могут возникать в случае несогласованного подвода поездов различных назначений. Управление движением поездов, подход которых в различные временные промежутки носит вероятностный характер, происходит посредством назначения ниткам дробной нумерации в нормативном графике движения поездов [14]. Такая нумерация обозначает, что грузовые поезда нескольких назначений могут проследовать по такой нитке графика в различные сутки. При подобном способе организации движения возникают проблемы — при одновременном прибытии поездов двух назначений с различных подходов в железнодорожном узле могут возникать простои и для минимизации этогоостоя необходимо диспетчерское регулирование движения поездов на участке. Следует учитывать фактическую вероятность подхода в один день поездов соответствующих назначений на нитке графика. Для минимизации возникающих простоев при назначении дробных номеров на нитку графика могут применяться различные подходы к выбору нитки для обозначения дробности [15]. От выбора нитки графика для назначения дробного номера зависит величинастояния грузовых поездов в железнодорожном узле. Исходными данными для разработки нормативного графика движения поездов с дробной нумерацией будут являться размеры движения грузовых поездов в различных сечениях в пределах рассматриваемого железнодорожного узла. Для определения перспективных размеров движения грузовых поездов в различных сечениях авторами был разработан алгоритм, приведенный ниже.

Переменные, используемые в описании алгоритма

При описании разработанного алгоритма используются следующие переменные и обозначения:

- $st \in [0...ST]$ — массив станций в пределах рассматриваемого полигона или железнодорожного узла;
- ST — общее количество станций st в пределах рассматриваемого полигона или железнодорожного узла;

- $per \in [0...PER]$ — массив перегонов;
- PER — общее количество перегонов, соединяющих станции st в пределах рассматриваемого полигона или железнодорожного узла;
- $per(st_{per;d}; st_{per;a})$ — координаты перегона в массиве per , соединяющие станции $st_{per;d}$ и $st_{per;a}$ из массива станций st ;
- $st_{per;d}$ — координата станции в массиве st , являющаяся станцией отправления на перегон при построении маршрута следования грузовых поездов;
- $st_{per;a}$ — координата станции в массиве st , являющаяся станцией прибытия с перегона при построении маршрута следования грузовых поездов;
- $l_{per} \in [0...L_{PER}]$ — массив фактических (или тарифных, в случае наличия численных отличий) протяженностей перегонов в массиве per , км;
- L_{PER} — длина перегона PER , км;
- rt — исследуемый маршрут перемещений поездов-допотоков в пределах рассматриваемого железнодорожного узла или полигона железной дороги. Общее количество маршрутов rt определяется исходя из поставленной задачи.
- $st_{rt,a}$ — изначальная станция отправления, в пределах массива st (формирования) маршрута при транзитном или внутриузловом (внутриполигонном) перемещении вагонопотока;
- $st_{rt,j}$ — промежуточная станция отправления, в пределах массива st , грузового поезда при расчете целевого маршрута следования вагонопотока, на j итерации расчета маршрута;
- j — номер итерации расчета маршрута rt ;
- $l_{rt;j:min}$ — длина минимального перегона, примыкающего к точке $st_{rt,j}$ на итерации j , соединяющего станции $st_{rt,j}$ и $st_{rt,j+1}$ при анализе конфигурации маршрута rt , км;
- $l_{rt,j}(st_{rt,j}; st)$ — фактическая (или тарифная) длина перегона, примыкающего к точке $st_{rt,j}$ на итерации j , соединяющего станции $st_{rt,j}$ и st , км;
- $b_{rt,j}(st_{rt,a}; st)$ — назначение следования из точки st в точку $st_{rt,a}$ при расчете маршрута rt на итерации j ;
- $st_{rt;j:1}$ — номер станции st на итерации j , являющейся станцией отправления при проследовании минимального перегона $l_{rt;j:min}$;
- $st_{rt;j:2}$ — номер станции st на итерации j , являющейся станцией назначения при проследовании минимального перегона $l_{rt;j:min}$;
- N_n — моделируемые размеры движения поездов, следующих по маршруту rt ;
- Nbs_n — количество перегонов, проследуемых по маршруту rt ;
- $bs_{rt,per}$ — булева переменная, характеризующая прохождение маршрута rt по перегону per ;

- rt,x – номер маршрута rt , рассматриваемый по координате x в матрице $RT \times RT$ при определении фонда номеров на маршруте;
- rt,y – номер маршрута rt , рассматриваемый по координате y в матрице $RT \times RT$ при определении фонда номеров на маршруте;
- $NNbs_r$ – итоговое количество номеров, требуемое для резервации на маршруте rt .

Описание разработанного алгоритма

На первом этапе алгоритма (рис. 1) схема железнодорожного узла представляется в виде соответствующих массивов данных, содержащих информацию о множестве железнодорожных станций в пределах рассматриваемого полигона st , с общим количеством станций ST и множестве перегонов per , попарно соединяющих рассматриваемые точки $(st_{per;d}; st_{per;a})$. Станции $st_{per;d}$ и $st_{per;a}$ являются частью общего массива станций st .

$$st_{per;d} \subseteq st; st_{per;a} \subseteq st. \quad (1)$$

Каждый перегон имеет длину l_{per} принятую в соответствии с фактическим или тарифным расстоянием между станциями.

После формирования массивов с информацией о структуре рассматриваемого полигона необходимо

выявить маршруты следования грузовых поездов rt , каждый из которых будет содержать в себе упорядоченную последовательность перегонов per , преодолеваемых грузовым поездом. Для выявления внутриузловых маршрутов следования грузовых поездов в условиях наличия ограниченного количества станций формирования поездов целесообразно применение алгоритма Дейкстры, позволяющего для каждого маршрута следования определить последовательность станций при целевой функции минимизации приведенных затрат на пропуск поездов. Расчет производится для каждой станции формирования грузовых поездов.

На рис. 2–4 изображены элементы блок-схемы, последовательно описывающие порядок применения алгоритма Дейкстры при определении внутриузловых маршрутов следования грузовых поездов. На рис. 2 приведены блоки, отвечающие за присвоение на начальной точке маршрута следования поездов rt и обнуление номера итерации расчета маршрута j . Искомая протяженность маршрута принимается бесконечно большой:

$$l_{rt,j;\min} := \infty. \quad (2)$$



Рис. 1. Первый фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (формализация структуры железнодорожного узла)

Вводится ограничение на максимальное количество итераций j расчета маршрута rt . Количество итераций не должно превышать общее количество станций в рамках рассматриваемого полигона железной дороги:

$$j < ST . \quad (3)$$

На первой итерации при анализе маршрута $rt - j$ осуществляется проверка наличия между рассматриваемыми точками $st_{rt,j}$ и st соединяющего их перегона из массива PER . В случае наличия перегона начальная протяженность маршрута принимается равной длине перегона, в прочих случаях протяженность остается неизвестной и принимается равной ∞ , т.е.:

$$\begin{cases} \text{Если } (st_{rt,j}; st) \in [0 \dots PER], \text{ то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = l_{per}(st_{rt,j}; st); \\ \text{Если } (st_{rt,j}; st) \notin [0 \dots PER], \text{ то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = \infty. \end{cases} \quad (4)$$

На последующих итерациях ($j > 1$) происходит поиск более эффективного маршрута следования грузового поезда по критерию сокращения его пробега l_{rt} . В зависимости от принятого в начале цикла расстояния применяется различный набор операций. При неизвестной начальной длине маршрута, т.е. $l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = \infty$, новое значение длины маршрута принимается как минимально возможное из расстояний между точками $st_{rt,j}$ и st :

$$l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) = \min(l_{rt,j}(st_{rt,j}; st)) \text{ для } j \in (1 \dots j-1) . \quad (5)$$

В случае наличия выявленного маршрута следования между точками и маршрутным расстоянием $l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) \neq \infty$, выполняется проверка целесообразности изменения маршрута следования для уменьшения величины $l_{rt,j}$:

$$\begin{cases} \text{Если } (l_{per}(st_{rt,j}; st) + l_{rt,j-1; min}) < l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1}; st), \\ \text{то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) := (l_{per}(st_{rt,j}; st) + l_{rt,j-1; min}). \\ \text{Если } (l_{per}(st_{rt,j}; st) + l_{rt,j-1; min}) \geq l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1}; st), \\ \text{то } l_{rt,j}(st_{rt,j}; st) := l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1}; st). \end{cases} \quad (6)$$

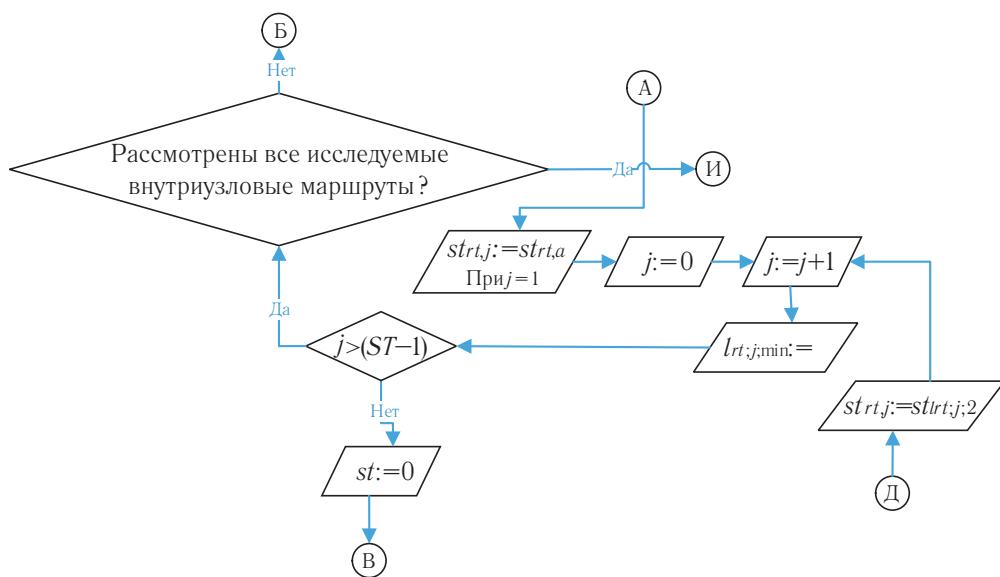


Рис. 2. Второй фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (присвоение начальных параметров исследуемых маршрутов)

В случае, если все описанные условия изменения маршрута удовлетворяются и выявляется более короткое расстояние, т.е. $l_{rt,j}(st_{rt,j};st) < l_{rt,j-1}(st_{rt,j-1};st)$ вносятся изменения в составленные матрицы расстояний l_{rt} и направления следования поезда, изменяется принятное минимальное расстояние и координаты станций отправления и назначения в маршруте следования грузового поезда для последующих итераций $j+n$:

$$b_{rt,j}(st_{rt,a};st) := st_{rt,j}, \quad (7)$$

$$l_{rt,j,min} := l_{rt}(st_{rt,i,j};st), \quad (8)$$

$$st_{l_{rt,j};1} := st_{rt,j}; st_{l_{rt,j};2} := st. \quad (9)$$

Описанные фрагменты блок-схем приведены на рис. 4,5.

После проверки всех станций массива происходит переход на следующую итерацию j , в которой из рассмотрения исключаются все ранее проверенные станции массива st . После достижения номера итерации, соответствующего количеству станций в массиве $j=ST$, выполняется переход на последующий исследуемый в рамках поставленной задачи маршрут:

$$rt := rt + 1. \quad (10)$$

После проверки всех исследуемых внутриузловых маршрутов для каждого из них формируется упорядоченное множество станций массива st , характеризующее маршрут следования грузового поезда:

$$\forall st_{n,i,j} \in rt | st_{n,i,j} \in st. \quad (11)$$

Общее количество маршрутов для дальнейших преобразований принимается

$$RT := rt. \quad (12)$$

В условиях эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в крупных железнодорожных узлах с интенсивным движением прочих категорий поездов, на движение грузовых поездов могут накладываться ограничения на использование определенных участков и перегонов. Следствием таких ограничений может являться принудительное отклонение грузовых поездов на части внутриузловых назначений от оптимального маршрута по критерию минимизации пробега поездов. В дальнейших расчетах для всех рассматриваемых назначений грузовых поездов будет выполняться проверка ограничений и корректировка маршрутов следования при их наличии.

Для каждого назначения rt задается мощность корреспонденции N_r , составляется матрица, размерность которой определяется общим количеством маршрутов и перегонов в пределах железнодорожного узла ($RT \times PER$). Каждый элемент полученного массива $bs_{rt,per}$, отражающий инцидентность перегонов к выделенным маршрутам следования заполняется переменными из булева множества по принципу:

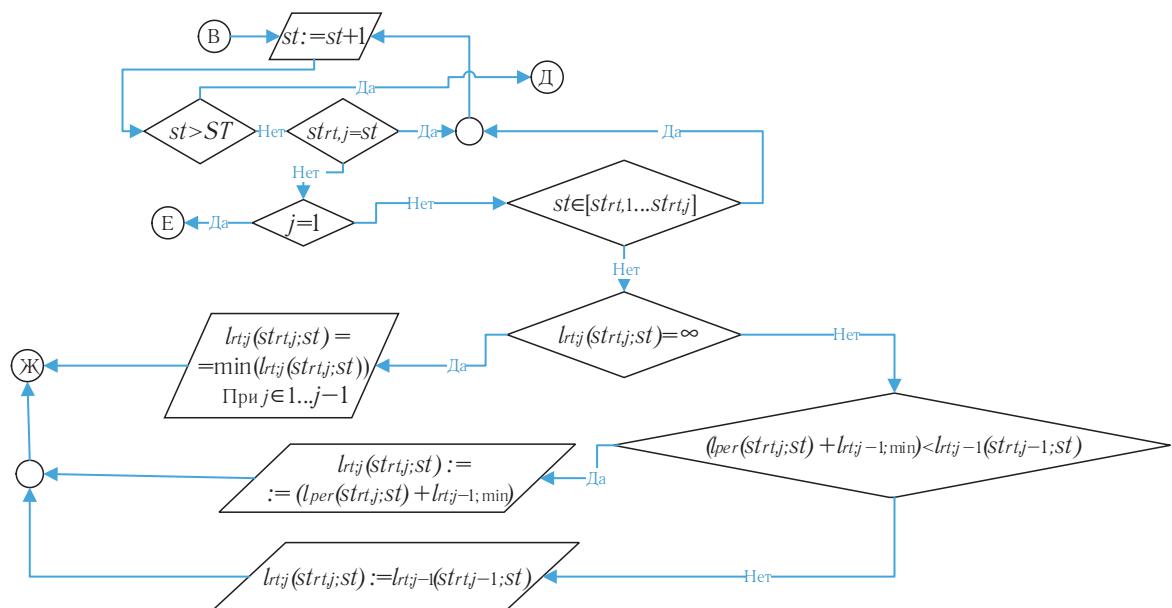


Рис. 3. Третий фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (выявление более эффективных маршрутов следования)

$$\begin{cases} \text{Если } per \in [b_{rt,j}(st_{rt,a}; st)] \forall j, \\ \text{то } bs_{rt,per} := 1; \\ \text{Если } per \notin [b_{rt,j}(st_{rt,a}; st)] \forall j, \\ \text{то } bs_{rt,per} := 0. \end{cases} \quad (13)$$

Для маршрутов rt определяется общее количество проследуемых перегонов – Nbs_{rt} . На первой итерации при $j=1$, общее количество проследуемых перегонов принимается равным нулю ($Nbs_{rt}=0$), далее на каждой итерации к этой величине добавляется $bs_{rt,per}$, т.е.:

$$Nbs_{rt} := Nbs_{rt} + bs_{rt,per}. \quad (14)$$

Описанный фрагмент алгоритма представлен в виде блок-схемы на рис. 5.

Для определения общих сечений маршрутов rt составляется матрица сочетаемости назначений размерностью $RT \times RT$, элементы массива задаются координатами $[rt,x]$ и $[rt,y]$. Каждый элемент матрицы проверяется на выполнение условия сочетаемости маршрутов rt по следующему принципу:

- если координата $[rt,x]$ соответствует $[rt,y]$, то идентичный маршрут не является сочетаемым;
- если сумма произведений значений матрицы $RT \times PER$ маршрутов $[rt,x]$ и $[rt,y]$ соответствует величине Nbs_{rt} , то маршрут $[rt,x]$ является более дальним по отношению к маршруту $[rt,y]$. При расчете фонда номеров на маршруте $[rt,y]$ будут дополнительно учитываться значения $[rt,x]$;
- если сумма произведений значений матрицы $RT \times PER$ маршрутов $[rt,x]$ и $[rt,y]$ не соответствует величине Nbs_{rt} , то маршруты могут иметь некоторые

перегоны с общим участком следования поездов, однако не являются сочетаемыми по отношению друг к другу.

Формализовать описанное условие можно следующим образом:

$$\begin{cases} \text{Если } \sum_{per}^{PER} bs_{rt,x,per} \cdot bs_{rt,y,per} = Nbs_{rt}, \\ \text{то } NNbs_{rt,y} := NNbs_{rt,y} + NNbs_{rt,x}. \end{cases} \quad (15)$$

Блок-схема описанного фрагмента алгоритма приведена на рис. 6.

После проверки и заполнения всех ячеек матрицы $RT \times RT$, т.е. $[rt,x] > 0$ и $[rt,y] > 0$, определения потенциальных размеров движения грузовых поездов в сечениях для каждого маршрута $NNbs_{rt,y}$ выводится результат расчета в парах поездов или в общем количестве резервируемых на данном участке номеров. Для определения фонда номеров для каждого $[rt,y]$ производится удвоение размеров движения поездов, выраженного в парах поездов.

Использование разработанного алгоритма позволяет выявить сечения с наибольшими проектными поездопотоками и наложением маршрутов с образованием дробной нумерации. Полученные значения непосредственно влияют на порядок составления графика движения поездов в крупных железнодорожных узлах или полигонах сети железных дорог. В зависимости от применяемого типа графика движения поездов для каждой нитки грузового поезда определяется ее дробность, т.е. фактическое количество номеров, присваиваемое каждой нитке графика.

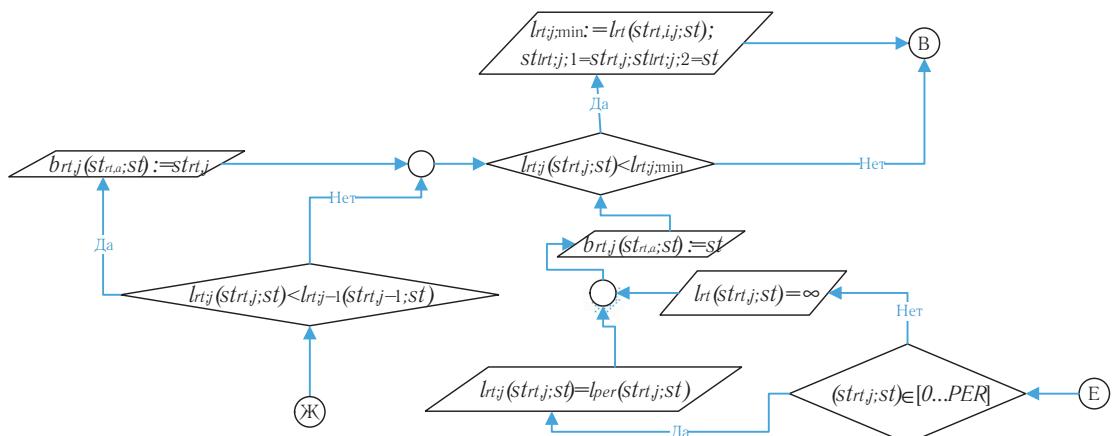


Рис. 4. Четвертый фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов (корректировка параметров исследуемых маршрутов)

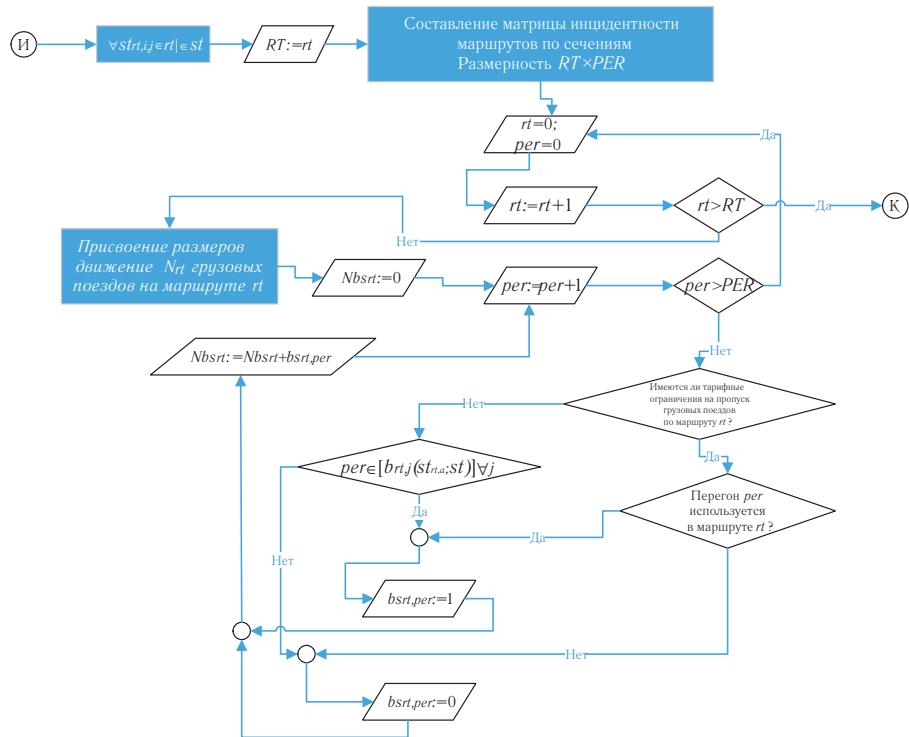


Рис. 5. Пятый фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов

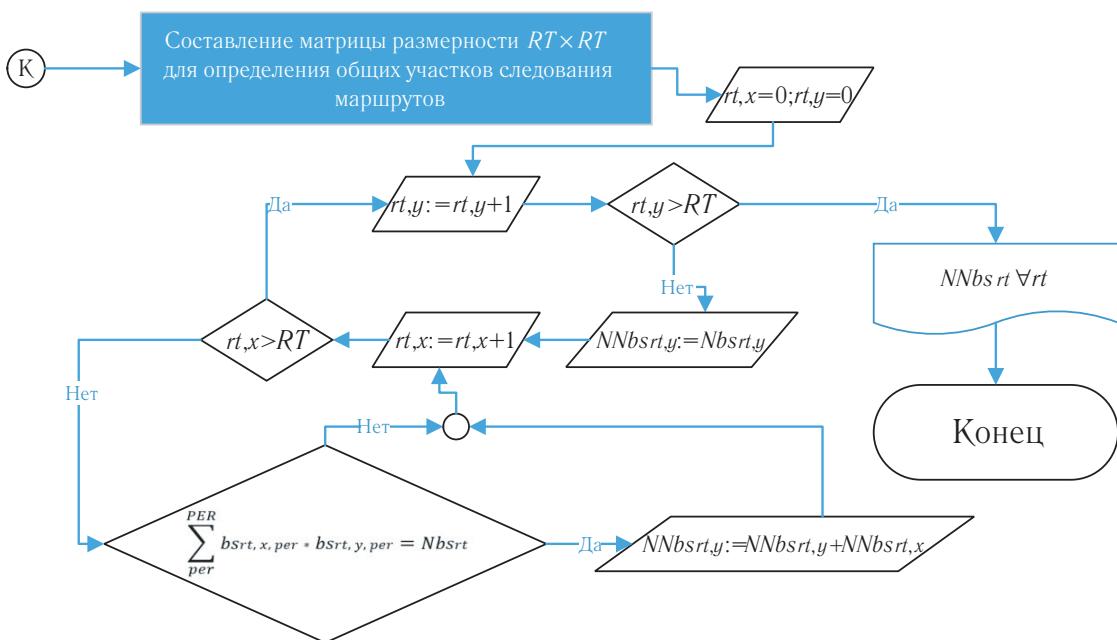


Рис. 6. Шестой фрагмент блок-схемы разработанного алгоритма определения фонда номеров грузовых поездов
(определение размеров движения в общих сечениях)

Литература

1. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В. И. Апатцев, С. П. Вакуленко, А. К. Головнич [и др.]. - Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2024. - 692 с. - EDN ISGFDR. - Текст : непосредственный.
2. Вакуленко, С. П. Изменение характера работы железнодорожных узлов в условиях внедрения новых технологий перевозок / С. П. Вакуленко, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки: труды международной научно-практической конференции, Москва, 17 ноября 2023 года. - Москва : ЗАО «Университетская книга», 2023. - С. 448-454. - EDN: DBNYLD.
3. Вакуленко, С. П. Особенности распределения вагонопотоков на сети железных дорог / С. П. Вакуленко, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - №9. - С. 12-15. - EDN: ALEVLE.
4. Методологические основы технологии организации пригородно-городских пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в крупных транспортных узлах (на примере Центрального транспортного узла: опыт и перспективы) / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин [и др.]. - Москва : РУТ (МИИТ), 2023. - 428 с. - EDN: FFIEBQ.
5. Куренков, П. В. Перспективы организации развоза грузов на радиальных участках Московского железнодорожного узла / П. В. Куренков, К. А. Калинин, П. В. Иванов. - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. - 2024. - № 10. - С. 32-44. - EDN: MCOSMF.
6. Задачи развития системы оперативного управления перевозочным процессом / М. И. Мехедов, Е. А. Сотников, П. С. Холодняк, С. В. Лобанов. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 6. - С. 4-9. - EDN: DCAWBJ.
7. Метод участковых скоростей для диагностики перевозочного процесса сети железных дорог / С. А. Виноградов, М. И. Мехедов, Л. А. Мугинштейн [и др.]. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2022. - № 4. - С. 12-17. - EDN: HDGPJH.
8. Оценка баланса провозной способности полигонов сети железных дорог / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, М. А. Агеева [и др.]. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2022. - Т. 81, № 2. - С. 158-169. - DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-2-158-169. - EDN: RDALYA.
9. Повышение и использование перевозочной мощности полигонов сети: эффективные стратегия и тактика / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. А. Лаханкин [и др.]. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2022. - № 7. - С. 8-16. - EDN: RZTHWU.
10. Бородин, А. Ф. Использование ресурсов железнодорожной сети: результативность планирования и управления / А. Ф. Бородин, Р. В. Шиндеров, Р. Г. Строченков. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 3(82). - С. 3-10. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-3-3-10. - EDN: QYCIJB.
11. Об устойчивости транспортных систем / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко, О. В. Осокин, Н. В. Якушев. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 2(81). - С. 11-15. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-11-15. - EDN: CHWROF.
12. Козлов, П. А. Оптимизация развития транспортных узлов и полигонов на основе имитационного моделирования / П. А. Козлов. - Текст : непосредственный // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». - 2023. - № 8-2. - С. 30-40. - EDN: GEIEHV.
13. Оптимизация управления движением поездов: учебное пособие для студентов специальностей «Управление и информатика в технических системах» и «Электрическая тяга» / Баранов Л. А. [и др.]; под ред. Л. А. Баранова; ФГБОУ ВПО «Московский гос. ун-т путей сообщ.», Каф. «Упр. и информатика в технических системах». - Москва : ФГБОУ ВПО «Московский гос. ун-т путей сообщ.», 2011. - 163 с. - ISBN 978-5-7876-0151-0. - EDN: QNYRIV. - Текст : непосредственный.
14. Вакуленко, С. П. Структуризация опыта применения дробной нумерации в графике движения поездов в крупных железнодорожных узлах / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 44-50. - EDN: LMZPLM.
15. Вакуленко, С. П. Определение интервалов между грузовыми поездами при использовании полностью дробной нумерации ниток поездов в нормативном графике движения / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы: материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. - Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. - С. 54-62. - DOI 10.30932/9785002446094-2024-54-62. - EDN: IQIOUV.

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ



Е.В. Щербинина

В статье предложена унифицированная методика построения графика оборота транспортных единиц в пассажирских перевозках с учетом простоя подвижного состава под техническим осмотром и разными видами ремонтов. Методика также позволяет определить потребный парк подвижного состава и применима на любом виде транспорта.

Ключевые слова: транспортная единица (ТЕ), график оборота, маршрут, потребный парк подвижного состава, пассажирские перевозки

EDN: ZLKVM

Целью данной работы является разработка унифицированной методики построения графика оборота транспортных единиц (ТЕ) в пассажирских перевозках, обеспечивающей минимальный потребный парк подвижного состава, обслуживающий заданную сеть и учитывающей необходимость увеличения потребного парка подвижного состава вследствие его простоя под выполнением технического осмотра, текущего и капитального ремонтов. В качестве ТЕ может выступать любое транспортное средство, курсирующее по заданным маршрутам внутри ограниченной транспортной сети по детерминированному расписанию (по утвержденным четким ниткам графика): транспортные средства городских, пригородных, междугородних пассажирских перевозок (электропоезд, трамвай, автобус, электробус, маршрутное такси, поезда метрополитена, поезда дальнего следования). В основе методики лежит алгоритм построения графика оборота пригородных составов, предложенный Ю.О. Пазойским [1].

Унифицированная методика построения графика оборота ТЕ позволит обеспечить равномерность использования подвижного состава, ритмичность работы пунктов технического обслуживания и выполнения ремонта, снижение эксплуатационных затрат и износа транспортных средств, упрощает обнаружение и последующее устранение «узких» мест в транспортной сети, снижает количество ошибок при построении графика оборота, упрощает анализ выполненной эксплуатационной работы и способствует повышению точности процессов прогнозирования.

Вопросы совершенствования методик построения графика оборота транспортных средств рассматривались в ряде научных работ [2–5].

Построение графика оборота ТЕ сводится к решению задачи по увязке «ниток» графика движения транспортных единиц всех маршрутов в рассматриваемой сети с обеспечением минимального потребного количества ТЕ и с учетом выполнения всех видов планового ремонта для заданного вида транспорта

Щербинина Екатерина Владимировна, аспирант кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация движения транспортных средств, управление пассажирскими перевозками, организация взаимодействия разных видов транспорта, транспортные пересадочные узлы, инфраструктура железнодорожных станций. Автор семи научных работ.

Е.В. Щербинина
«ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ
В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ»

(технического обслуживания (ТО), текущего ремонта, капитального ремонта).

Количество ТЕ, обслуживающих транспортную сеть или участок сети в любой момент времени, складывается из числа ТЕ, находящихся на маршрутах (в том числе на остановочных пунктах или в движении между ними) и числа ТЕ, пристаивающих на пунктах оборота. В данном случае под маршрутом понимается маршрут регулярных пассажирских перевозок – установленный путь следования ТЕ от пункта отправления до пункта назначения или до возвращения в пункт отправления через заданные промежуточные пункты в соответствии с утвержденным графиком движения, совершаемый ТЕ за один рейс [6].

При разрезе графика движения ночью, число ТЕ, обслуживающих заданную сеть, равно суммарному числу составов, находящихся на пунктах оборота. В свою очередь, число ТЕ, находящихся на ночном отстое на каждом пункте оборота, определяется увязкой расписаний прибытия и отправления ТЕ, в разрезе рассматриваемого пункта оборота.

Для определения количества ТЕ в простое на пункте оборота необходимо нанести на шкалу времени расписания прибытия и отправления (нитки графика) всех ТЕ, имеющих оборот на данном пункте за сутки (24 часа), тем самым разделив временную шкалу на отрезки времени. Очевидно, что после прибытия одной ТЕ на пункт оборота, количество ТЕ – K , увеличится и составляет $K+1$, при отправлении одной ТЕ с пункта оборота количество ТЕ соответственно уменьшится и составит $K-1$.

После нанесения ниток графика на временную шкалу выполняется увязка расписаний прибытия и отправления. Важно отметить, что временной интервал между увязанными нитками графика по прибытию и отправлению не может быть меньше нормы времени на оборот ТЕ, которая в свою очередь определяется нормой времени на ее техническое обслуживание (послерейсовый и предрейсовый осмотры, экипировка расходниками, ТО, выполнение плановых видов ремонта) и принятой технологией работы предприятия, причем для разных пунктов оборота норма времени на оборот не обязательно должна быть одинаковой.

Следует отметить, что в городском, пригородном и междугороднем сообщении норма времени на оборот различна. Например, для электропоездов, обращающихся в пригородном сообщении, время оборота может составлять 10–20 минут, а для поездов дальнего следования время оборота зависит от продолжительности технического обслуживания состава после рейса и подготовки его к следующему и может составлять 2 и более часов.

Временной отрезок на шкале времени, в течение которого на пункте оборота отсутствуют ТЕ под простое, будем называть нулевым отрезком.

Для обеспечения минимального потребного количества ТЕ на сети увязка расписаний прибытия и отправления ТЕ не должна включать в себя нулевых отрезков. В противном случае, произойдет увеличение потребного количества ТЕ, а также среднего времени простоя, приходящегося на одну ТЕ.

После увязок расписаний прибытия и отправления по пункту оборота могут остаться неувязанными нитки графика по прибытию и/или по отправлению, которые будут являться выходом и входом маршрута следования ТЕ (далее МСТЕ) соответственно. Начало и конец МСТЕ могут находиться на разных пунктах оборота.

Маршрут следования транспортной единицы – это последовательность увязанных между собой маршрутов регулярных перевозок, совершаемых ТЕ.

Для обеспечения цикличности единого графика оборота, необходимо следить, чтобы на пунктах оборота либо не было ни единого входа и выхода МСТЕ, либо было хотя бы по одному входу и выходу МСТЕ. В случае, если количество входов и выходов МСТЕ на пункте оборота нечетное, значит в едином графике оборота один или несколько МСТЕ будут повторяться.

Таким образом алгоритм построения МСТЕ следующий: шаг 1 – рассматривается один пункт оборота, на временную шкалу наносятся расписания прибытия и отправления ТЕ; шаг 2 – выполняется увязка ниток прибытия и отправления ТЕ с учетом нормы времени на оборот ТЕ на данном пункте оборота; шаг 3 – повторяются шаги 1 и 2, пока не будут рассмотрены все пункты оборота; шаг 4 – выполняется увязка входов и выходов маршрутов следования ТЕ между всему пунктами в маршруты следования ТЕ.

После построения маршрутов следования ТЕ выполняется увязка всех МСТЕ в один замкнутый контур – единый график оборота ТЕ.

Для обеспечения возможности выполнения ТО и всех видов ремонта любой ТЕ, обращающейся на рассматриваемой сети, единый график оборота должен обеспечивать возможность захода ТЕ в депо. МСТЕ, обеспечивающие заход ТЕ в депо, будут называться ремонтные маршруты следования ТЕ. Частота включения маршрутов следования ТЕ с заходом в депо в единый график оборота ТЕ зависит от нормы периодичности выполнения технического осмотра, текущего ремонта и капитального ремонта для разных видов транспортных средств, а также от размера сети и потребного количества ТЕ, обслуживающих ее.

В случае, если сеть небольшая или количество обслуживающихся ТЕ невелико или частота выполнения ТО и различных видов ремонтов невысокая, то ремонтные МСТЕ могут включаться в суточный график оборота по мере необходимости.

В случае, если транспортная сеть большая, или оборачивается большое количество ТЕ, или периодичность выполнения ТО и разного вида ремонта низкая — ремонтные МСТЕ должны чаще повторяться в едином графике оборота ТЕ. Чтобы достигнуть равного межремонтного пробега ТЕ, необходимо обеспечивать равномерное чередование ремонтных МСТЕ и обычных.

Построение графика оборота ТЕ в соответствии с предложенным алгоритмом позволит минимизировать потребное количество ТЕ и их простоев, наглядно графически представить график оборота, что в свою очередь облегчит анализ последнего и выявление узких мест.

Рассмотрим решение поставленной задачи на примере транспортной сети, представленной на рис. 1. Пункты А, Б, В, Г, Д, Е — пункты оборота ТЕ на маршрутах: А—Б, А—В, Г—Д и Г—Е. Из рис. 1 видно, что маршруты А—Б и А—В имеют общий участок следования ТЕ, аналогично с маршрутами Г—Д и Г—Е. Пункт выполнения технического осмотра и всех видов ремонта, в данном примере будем называть депо, которое также является пунктом оборота ТЕ, на котором завязаны маршруты А—Депо, Депо—Б, Г—Депо, Депо—Е.

Важно отметить, что в рассматриваемом примере пункт выполнения ТО и ремонтов (депо) не примыкает ни к одному из пунктов оборота, следовательно, чтобы свести порожний пробег ТЕ к минимуму, маршрут следования ТЕ в депо должен частично дублировать один из маршрутов на сети и позволять ТЕ в середине обычного рейса уходить в депо. В рассматриваемом примере для простоты расчетов принято, что ТЕ могут уходить в депо только с маршрутов А—Б и Г—Е, однако при разветвленной транспортной сети, в ситуации, когда депо не примыкает ни к одной станции оборота, маршруты следования ТЕ в депо и обратно могут строиться с любого маршрута. Несмотря на то, что в данном примере не с каждого маршрута ТЕ может проследовать в депо, построение единого графика оборота все равно позволит любой ТЕ заходить в депо.

Можно отметить, что в расчетной схеме маршрут А—Депо дублирует маршруты А—Б и А—В, маршрут Депо—Б — дублирует маршрут А—Б. Маршрут Г—Депо дублирует маршруты Г—Д и Г—Е, маршрут Депо—Е дублирует маршрут Г—Е.

Исходные данные

График движения ТЕ по сети представлен в табл. 1, ТЕ не закреплены за маршрутами (то есть, по окончанию одного маршрута любая ТЕ может начать любой другой), норма времени на оборот ТЕ — 10 мин, в депо ежесуточно обязаны заходить ТЕ для выполнения ТО продолжительностью 6 часов, депо работает круглосуточно.

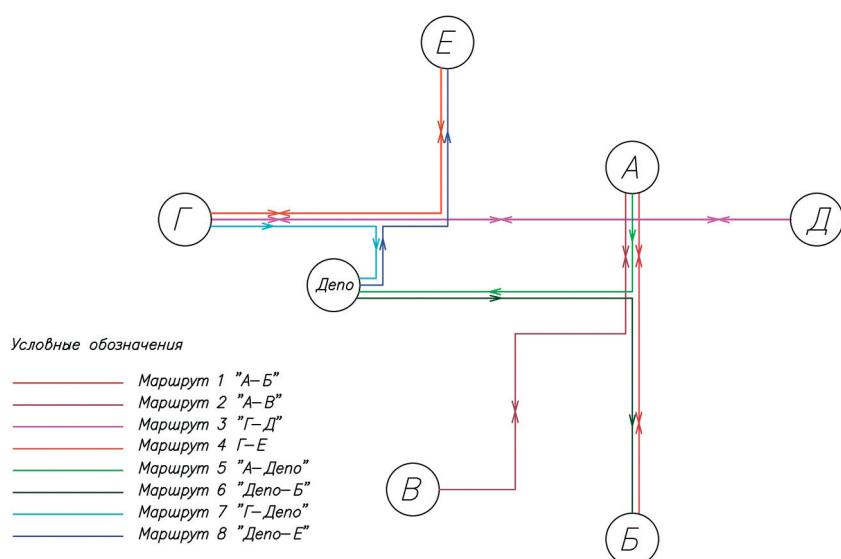


Рис. 1. Расчетная транспортная сеть

Е.В. Щербинина
 «ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ
 В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ»

Таблица 1

График прибытия и отправления транспортных единиц на пункты оборота

Номер маршрута	Пункт отправления	Время отправления	Пункт назначения	Время прибытия
1	А	8:40	Б	11:10
		12:25		14:55
		17:00		19:30
		18:40		21:10
	Б	8:15	А	10:45
		12:30		15:00
		17:40		20:10
		18:40		21:10
2	А	8:20	В	10:45
		11:20		13:45
		15:00		17:25
		17:20		19:45
		19:05		21:30
	В	8:30	А	10:55
		11:40		14:05
		14:20		16:45
		17:30		19:55
		19:10		21:35
3	Г	9:00	Д	11:15
		11:20		13:35
		15:50		18:05
		19:00		21:15
	Д	9:10	Г	11:35
		11:50		14:15
		14:40		17:05
		18:50		21:05
4	Г	8:00	Е	9:00
		13:30		14:30
		18:25		19:25
	Е	8:20	Г	9:20
		13:50		14:50
		18:15		19:15
5	А	7:00	Депо	8:00
6	Г	19:25	Депо	19:55
7	Депо	16:30	Б	17:00
8	Депо	7:30	Е	8:00

Решение

Рассмотрим пункт оборота Д. На временную шкалу наносятся расписания прибытия и отправления ТЕ, затем определяются количество ТЕ, простояющих на данном пункте и нулевые отрезки. Данный этап решения представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что наименьшее число ТЕ, простояющих на пункте оборота Д, составляет $K-1$, тогда $K-1=0$, откуда $K=1$. В этом случае максимальное количество ТЕ, простояющих на пункте оборота Д за расчетные сутки составит $K+1$ или две ТЕ.

Нулевым отрезком для пункта оборота Д, согласно рис. 2, будет следующий временной интервал: 9:10–11:15.

Далее выполняется увязка ниток прибытия и отправления ТЕ с учетом минимального времени на оборот, равного 10 минутам (то есть минимальное время между прибытием и отправлением ТЕ на пункт оборота должно быть не менее 10 минут). При увязке в целях исключения завышения потребного количества ТЕ также необходимо исключать возможность нахождения нулевых отрезков между двумя последовательно увязанными нитками. После увязки расписаний определяются входы и выходы маршрута следования ТЕ. Данный этап решения представлен на рис. 3. Для пункта оборота Д входом маршрута следования ТЕ будут расписания прибытия ТЕ 18:05 и 21:15, а выходом – 9:10.

Аналогично определяется количество ТЕ, простояющих на пункте оборота, увязываются расписания прибытия и отправления и определяются входы и выходы маршрутов следования ТЕ для остальных пунктов оборота, включая депо – рис. 4. При этом при увязке ниток графика по депо минимальное время между прибытием и отправлением ТЕ будет равняться норме времени выполнения технического осмотра или соответствующего вида ремонта, в рассматриваемом примере – 6 часов.

Далее выполняется увязка входов и выходов МСТЕ между всеми пунктами оборота, таким образом, чтобы единый график оборота включал ремонтные маршруты следования ТЕ, стрелочками с номерами отмечены начало и окончание МСТЕ (рис. 4).

Далее определяется последовательность включения маршрутов следования ТЕ в единый график оборота. Для рассматриваемого примера таких последовательностей будет две.

Первая: 2, 1, 6, 5, 3, 9, 8, 4, 8, 7; затем последовательность маршрутов будет постоянно повторяться. Данная последовательность имеет два ремонтных МСТЕ.

Вторая: 10, 15, 11, 13, 11, 14, 15, 11, 12. Полученный результат, удовлетворяет условию включения в единый график оборота хотя бы одного ремонтного МСТЕ.

Следует отметить, что в рассматриваемом примере сеть является связанной только через депо [7], где

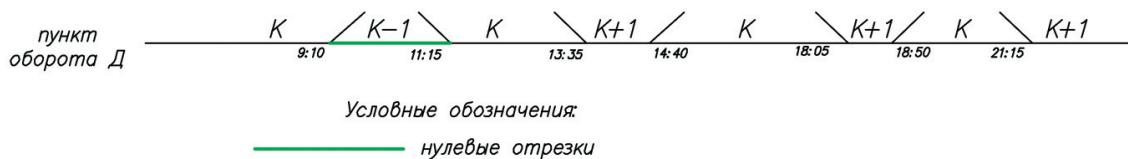


Рис. 2. Определение количества простояющих ТЕ и нулевых отрезков на пункте оборота Д

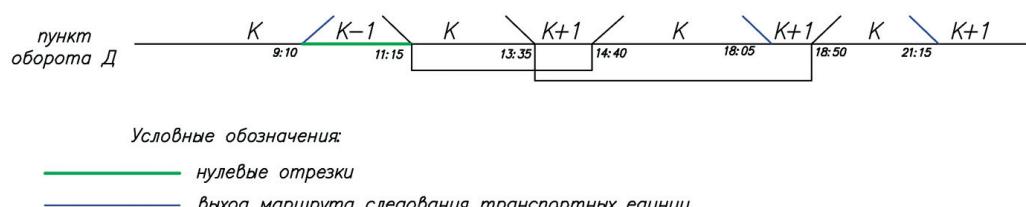


Рис. 3. Увязка расписаний прибытия и отправления ТЕ на пункте оборота Д, определение входов и выходов маршрутов следования ТЕ

Е.В. Щербинина
«ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ОБОРОТА ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ
В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ»

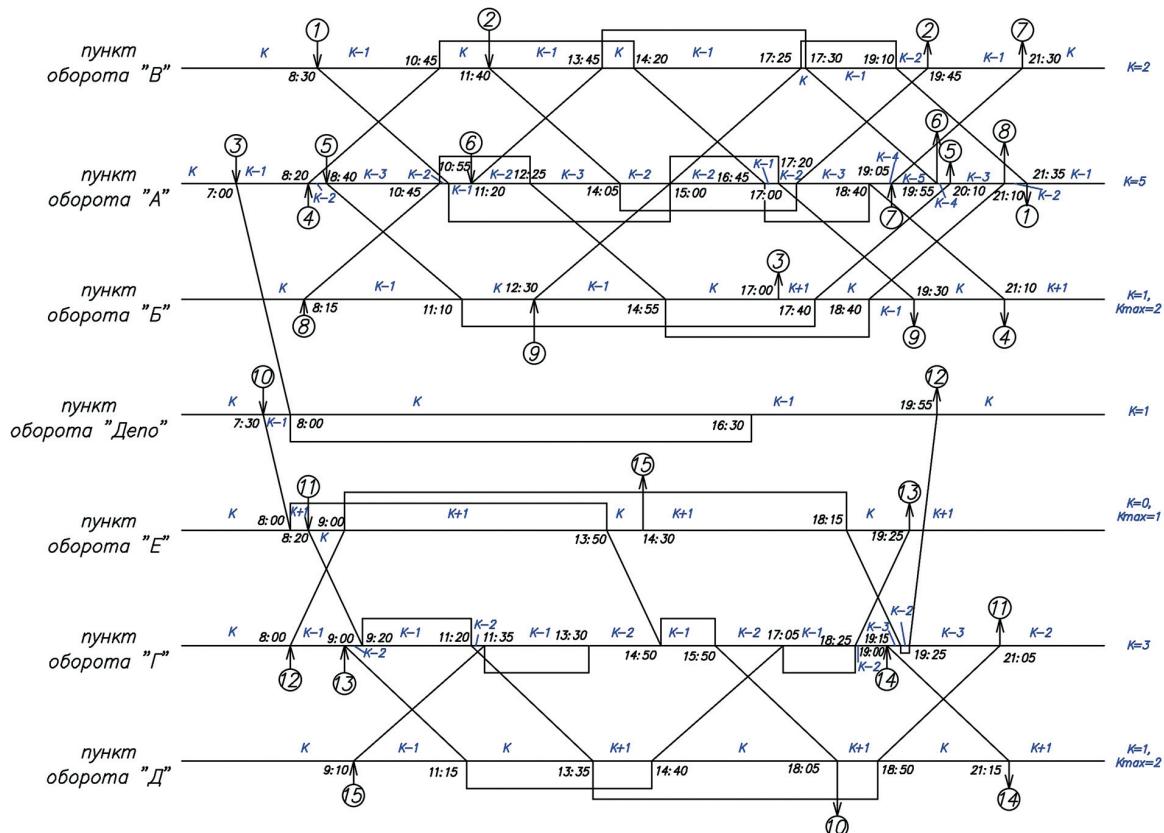


Рис. 4. Построение графика оборота ТЕ

маршруты А–Б, А–В, А–Депо, Депо–Б и маршруты Г–Д, Г–Е, Г–Депо, Депо–Е имеют связь только через депо, при заданном графике движения ТЕ, получилось два независимых единичных графика оборота, вследствие чего ТЕ одного графика оборота могут попасть на второй график оборота только если ТЕ, прибывающие в депо в 8:00, простоят сутки и отправляются по расписанию в 9:00, а ТЕ, прибывающие в 19:55 отправляются на следующий день в 16:30.

Для наглядности единый график оборота сведен в табл. 2.

Таким образом, одна ТЕ совершает полный оборот, состоящий из МСТЕ 2, 1, 6, 5, 3, 9, 8, 4, 8, 7 за 10 дней, следовательно, технический осмотр выполняется с каждой ТЕ раз в 10 дней. Одна ТЕ совершает полный оборот, состоящий из МСТЕ 10, 15, 11, 13, 11, 14, 15, 11, 12 также за 10 дней.

Потребный суточный парк ТЕ для заданной сети составит: $\sum K = 2 + 5 + 2 + 1 + 1 + 3 + 2 = 16$ ТЕ.

Следует отметить, что увязка расписаний прибытия и отправления ТЕ не влияет на потребный парк.

Вывод

Предложенная методика позволяет определить потребный парк подвижного состава и построить график оборота транспортных средств с минимальным потребным количеством ТЕ, обслуживающих заданную сеть, с учетом необходимости выполнения технического осмотра, всех видов ремонта и равномерным межремонтным пробегом ТЕ. Достоинством предложенной методики является ее универсальность — возможность применения на разных видах транспорта. Недостатком предложенного метода является высокая вариативность увязки маршрутов следования ТЕ, а также потребность в участии человека, в результате чего разработка графика оборота ТЕ в случае с большим количеством маршрутов и/или маленьким интервалом следования ТЕ и/или разветвленной сетью потребует больших затрат человека-часов.

Таблица 2

Единый график оборота транспортных единиц

Номер маршрута следования ТЕ	Пункт отправления	Время отправления	Пункт назначения	Время прибытия
1	2	3	4	5
2	В	11:40	А	14:05
	А	17:20	В	19:45
1	В	8:30	А	10:55
	А	15:00	В	17:25
	В	19:10	А	21:10
6	А	11:20	В	13:45
	В	17:30	А	19:55
5	А	8:40	Б	11:10
	Б	17:40	А	20:10
3	А	7:00	Депо	8:00
	Депо	16:30	Б	17:00
9	Б	12:30	А	15:00
	А	17:00	Б	19:30
8	Б	8:15	А	10:55
	А	12:25	Б	14:55
	Б	18:40	А	21:10
4	А	8:20	В	10:45
	В	14:20	А	16:45
	А	18:40	Б	21:10
8	Б	8:15	А	10:55
	А	12:25	Б	14:55
	Б	18:40	А	21:10
7	А	19:05	В	21:30
10	Депо	7:30	Е	8:00
	Е	13:50	Г	14:50
	Г	15:50	Д	18:05
15	Д	9:10	Г	11:35
	Г	13:30	Е	14:30
11	Е	8:20	Г	9:20
	Г	11:20	Д	13:35
	Д	18:50	Г	21:05
13	Г	9:00	Д	11:15
	Д	14:40	Г	17:05
	Г	18:25	Е	19:25

Табл. 2. Окончание

1	2	3	4	5
11	Е	8:20	Г	9:20
	Г	11:20	Д	13:35
	Д	18:50	Г	21:05
14	Г	19:00	Д	21:15
15	Д	9:10	Г	11:35
	Г	13:30	Е	14:30
11	Е	8:20	Г	9:20
	Г	11:20	Д	13:35
	Д	18:50	Г	21:05
12	Г	8:00	Е	9:00
	Е	18:15	Г	19:15
	Г	19:25	Депо	19:55

Литература

1. Пазойский, Ю. О. Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пазойский Юрий Ошарович. - Москва, 2000. - 339 с. - EDN QDHWF. - Текст : непосредственный.
2. Копылова, Е. В. Оптимизация оборота составов по обеспечению ниток графика пригородного движения / Е. В. Копылова, П. А. Козлов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2020. - № 2. - С. 68-73.
3. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко, Е. В. Копылова, А. И. Сафонов, М. А. Туманов. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 1. - С. 33-48. - DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48. - EDN ZIYEID.
4. Маркевич, А. В. Интеллектуальная система построения графика работы машинистов метрополитена / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Надежность. - 2023. - Т. 23, №3. - С. 63-72. - DOI 10.21683/1729-2646-2023-23-3-63-72. - EDN VZLBBY.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663049. Российская Федерация. Система оптимального управления оборотом поездных локомотивов «Лабиринт»: № 201561-981: заявл. 15.10.2015: опубликовано 09.12.2015 / П. А. Козлов, И. В. Иванов, А. А. Каляганов ; Общество с ограниченной ответственностью «Аналитические и управляющие системы на транспорте «Транспортный алгоритм». - EDN CQNHEW. - Текст : непосредственный.
6. Российской Федерации. Законы. Устав автомобилей и городского наземного электрического транспорта : федеральный закон от 08.11.2007 № 259-ФЗ в ред. от 19.10.2023 г. : принят Государственной Думой 18 октября 2007 года : одобрен Советом Федерации 26 октября 2007 года. - Текст : непосредственный // Собрание законодательства РФ. - 2007. - № 46. - Ст. 555.
7. Пазойский, Ю. О. Расчет маршрутов следования транспортных потоков в сети / Ю. О. Пазойский, Е. В. Щербинина. - Текст : непосредственный // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию БелИИЖТа - БелГУТа, Гомель, 16-17 ноября 2023 года. - Гомель : Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2023. - С. 264-267. - EDN GSWNHP.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ГАБАРИТНО-ВЕСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКОГО ЭКСКУРСИОННОГО ВАГОНА С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ



Е.В. Сорокина



Д.А. Ромашов

Статья посвящена экспериментальному определению габаритно-весовых параметров вагона пассажирского экскурсионного модели 61-941, созданного на базе серийного пассажирского вагона модели 61-4179 при проведении капитально-восстановительно ремонта (КВР) Тамбовским вагоноремонтным заводом. Статистическая обработка результатов испытаний показала, что по своим габаритно-весовым параметрам пассажирский вагон модели 61-941 соответствует всем нормативным требованиям.

Ключевые слова: вагон пассажирский экскурсионный, габаритно-весовые параметры, статистическая обработка

EDN: OTTUSI

Осложнение международной обстановки, введение Евросоюзом, США и рядом других стран санкционной политики против Российской Федерации привело к значительному снижению спроса на международный туризм у граждан нашей страны. Однако желание путешествовать, отдохнуть в отдаленных и экзотических районах нашей страны вызвало возросший поток внутреннего туризма. Возросло количество речных и морских круизов, автобусных экскурсий в соседние регионы и т.д.

Не остались в стороне и железные дороги. В 2023 году эксплуатировалось 27 туристических поездов (на 10 больше, чем в 2022 году). Получили большую популярность межрегиональные железнодорожные маршруты: «Жемчужина Кавказа», «К северному сиянию», «Русский Север» и др. [1]. В связи с этим Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») проводит постоянную работу по повышению уровня сервиса и предоставления дополнительных услуг пассажирам межрегиона-

Сорокина Елена Викторовна, главный специалист акционерного общества Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»). Область научных интересов: испытания подвижного состава и его составных частей, разработка программ и методик испытаний подвижного состава и его составных частей. Автор 32 научных работ.

Ромашов Дмитрий Александрович, ведущий инженер акционерного общества Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»). Область научных интересов: испытания сложных технических объектов, испытания подвижного состава железных дорог и его составных частей. Автор 15 научных работ.

Сачкова Оксана Сергеевна, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), профессор кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования полимерсодержащих материалов для железнодорожного транспорта, гигиеническая сертификация подвижного состава железнодорожного транспорта. Автор более 200 научных работ, в том числе пяти монографий, четырех учебников и восьми учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

Самошкин Сергей Львович, доктор технических наук, начальник Управления научно-технического обеспечения и развития акционерного общества Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»). Область научных интересов: экспериментальная и методическая база испытаний вагонов и составных частей железнодорожной техники. Автор более 200 научных работ, в том числе двух монографий и двух учебников.

нальных туристических поездов. В состав таких поездов, при необходимости, включаются вагоны-электростанции, вагоны-рестораны и ряд других вагонов специального назначения.

Объект испытаний и задачи исследования

В соответствии с вышеуказанной идеологией ОАО «РЖД» по предоставлению дополнительных услуг пассажирам межрегиональных туристических поездов Акционерное общество «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК») разработало техническое задание (ТЗ) на принципиально новый вагон для туристических поездов. В соответствии с полученным ТЗ Проектно-конструкторское бюро пассажирского хозяйства (ПКТБ Л) – филиал АО «РЖД» разработало проект пассажирского экскурсионного вагона [2]. Вагон был спроектирован на базе серийного пассажирского вагона модели 61-4179. При проведении капитально-восстановительного ремонта (КВР) вагона на Тамбовском вагоноремонтном заводе – филиале АО «Вагонреммаш» (АО «ВРМ») он был модернизирован по документации ПКТБ Л и получил обозначение – модель 61-941 «Вагон пассажирский экскурсионный обзорный для туристических поездов». Его конструкция подробно описана в работах [3;4].

В процессе проведения КВР были внесены изменения в конструкцию кузова. Последнее потребовало проведения расчетно-экспериментальных исследований по оценке напряженно-деформируемого состояния металлоконструкции. Результаты этих исследований приведены в работе [5], в которой также дано описание всех изменений, внесенных в металлоконструкцию кузова. Кроме того, при переделке вагона модели 61-4179 в вагон модели 61-941 были принципиально изменены планировочные решения и произведена установка металлоемкого внутривагонного и подвагонного оборудования [3;4]. Все это потребовало проведения большого комплекса испытаний в соответствии с требованиями [6;7].

В настоящей работе приводятся методы оценки и полученные результаты экспериментального определения габаритно-весовых параметров вагона модели 61-941 и оценка их соответствия нормативным требованиям.

Оценка соответствия габаритных размеров вагона

Для оценки соответствия вагона модели 61-491 требованиям ТР ТС 001/2011 [6] в соответствии с п.4.1.7 ГОСТ 34681-2020 [7] проводятся испытания

по проверке соответствия габаритных размеров строительному очертанию.

Проверка соответствия габаритных размеров строительному очертанию проводится методом прокатки испытываемого вагона через рабочий портал габаритной рамки и измерением расстояния от внутреннего контура габаритной рамки до критических точек кузова по всем характерным сечениям (табл. 1).

Проверке подлежит соответствие фактических габаритных размеров конструктивных частей вагона по их критическим точкам, допустимым размерам по строительному очертанию.

В процессе испытаний определяются горизонтальные расстояния – от оси пути и вертикальные – от уровня верха головок рельсов до критических точек кузова, а также нижнего подкузового оборудования вагона измерением относительно реперного контура. Критические точки выбираются во всех характерных поперечных сечениях вагона. Характерные сечения определяются наличием в них выступающих частей конструкции опытного объекта, которые наиболее полно используют предельные очертания габарита вагона.

К критическим точкам относятся наиболее удаленные от оси пути и от уровня головок рельсов точки выступающих узлов и деталей вагона. При этом в нижней области подлежат учету части, наиболее приближенные к головкам рельсов. Критические точки характеризуют области наиболее полного использования габарита вагона, и исследование совокупности этих точек обеспечивает проверку соответствия габариту опытного объекта в целом. Критические точки характеризуются положением не только относительно рельсов, но и относительно направляющего сечения опытного объекта.

Характерные сечения, расположенные в консольных частях конструкции, называются наружными, а во внутренних – внутренними.

Фактические значения полуширины B_{ϕ} и высоты H_{ϕ} для i -й критической точки определяются по формулам:

$$B_{\phi} = 2170 - \delta_{cp}, H_{\phi} = Y_{cp}.$$

Измерения в каждом сечении для каждой критической точки выполняются троекратно.

За фактическое значение полуширины B_{ϕ} и высоты H_{ϕ} для i -й критической точки δ_i и Y_i принимают при расчете среднее арифметическое значение результатов измерений δ_{cp} и Y_{cp} .

Вертикальные расстояния от головок рельсов до критических точек измеряются напрямую.

Схема расположения контролируемых сечений приведена на рис. 1, а расположение критических точек приведено на рис. 2–8.

Критические точки, расположенные со стороны ящика внешнего подключения 02, 03, 05, 06, 07, 08, 09, 010, 011; с противоположной стороны соответственно 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9.

Первичные данные измерений для проверки соответствия габаритных размеров строительному очертанию представлены в табл. 2.

Анализируя полученные результаты испытаний (см. табл. 2) можно отметить, что все подвагонное оборудование и общие габаритные размеры пассажирского вагона модели 61-941 соответствуют нормативным требованиям [6;7;9].

Оценка показателей развески вагона

Учитывая, что пассажирский вагон модели 61-941 существенно отличается от серийных

пассажирских вагонов, при проведении испытаний на соответствие п. 4.1.12 ГОСТ 34681-2020 [7], этому показателю было уделено повышенное внимание. Испытания проводились на стенде для определения статической нагрузки колеса на рельс и поколесного взвешивания вагонов АО НО «ТИВ», параметры которого указаны в табл. 3 [8;10;11].

Все испытания проводились не менее трех раз. Схема нумерации колес показана на рис. 9. Результаты, полученные при каждом взвешивании (первичные данные) приведены в табл. 4.

После проведения испытаний и получения первичных данных была произведена их обработка с целью получения показателей для оценки соответствия требованиям ГОСТ 33760-2016 [12].

Таблица 1

Перечень средств измерений и испытательного оборудования

Номер пункта, наименование сертификационного показателя в соответствии с ГОСТ 34681-2020	Наименование средства измерений и испытательного оборудования	Основная характеристика средства измерений и испытательного оборудования
4.1.7 Габарит вагона (соответствие габаритных размеров строительному очертанию)	Путь рельсовый Р-50	Ширина колеи пути 1520 ± 3 мм
	Стенд для проверки габаритных размеров объектов железнодорожного подвижного состава	—
	Линейка поверочная с широкой рабочей поверхностью двутаврового сечения ШД-2500	От 0 до 2500 мм
	Рулетка измерительная ЭНКОР РФ2-5-19	От 0 до 5 м, ц. д. 1 мм

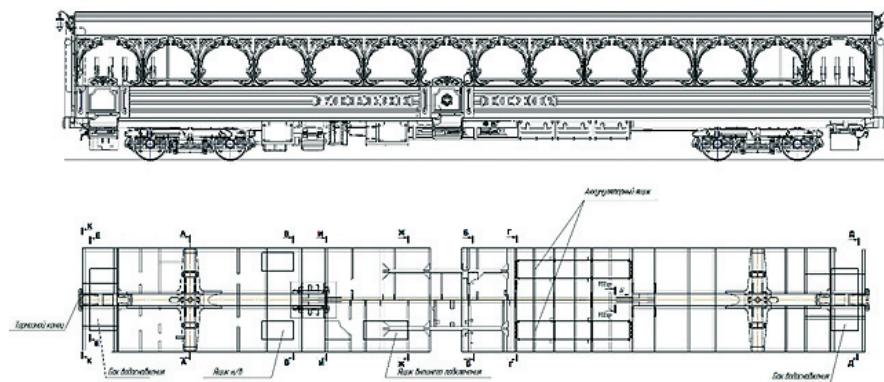


Рис. 1. Схема контролируемых сечений вагона: К-К концевое сечение вагона; А-А направляющее сечение вагона; Б-Б среднее сечение вагона; В-В сечение по краю ящика низковольтной аппаратуры; Г-Г сечение по краю ящика аккумуляторной батареи; Д-Д сечение по краю бака водоснабжения с нетормозного конца вагона; Ж-Ж сечение по краю ящика внешнего подключения; Е-Е сечение по краю бака водоснабжения с тормозного конца вагона; И-И сечение по краю подвагонного генератора

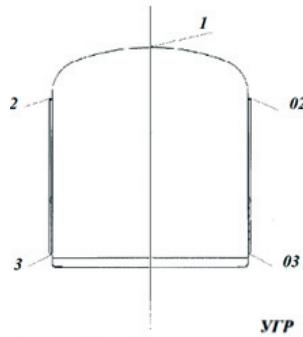


Рис. 2. Схема расположения критических точек кузова в концевом сечении вагона (К-К), в направляющем сечении вагона (А-А) и в среднем сечении вагона (сечение Б-Б)

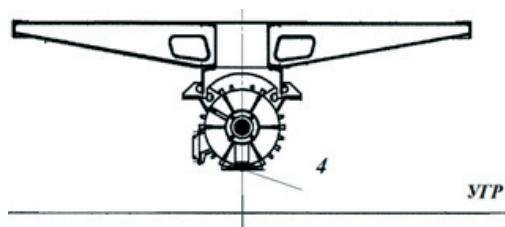


Рис. 3. Схема расположения критических точек в сечении по краю подвагонного генератора (сечение И-И)

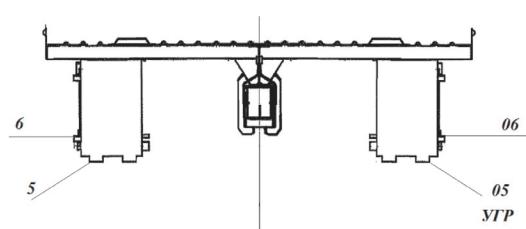


Рис. 4. Схема расположения критических точек кузова в сечении по краю ящика низковольтной аппаратуры (В-В)

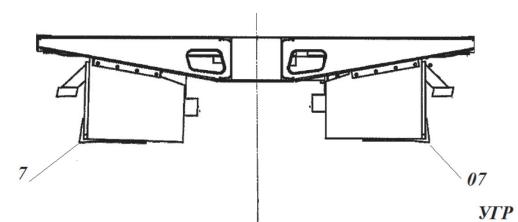


Рис. 5. Схема расположения критических точек в сечении по краю ящика аккумуляторной батареи (сечение Г-Г)

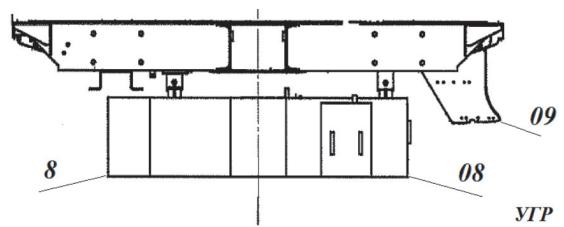


Рис. 6. Схема расположения критических точек в сечении по краю бака водоснабжения (сечение Д-Д)

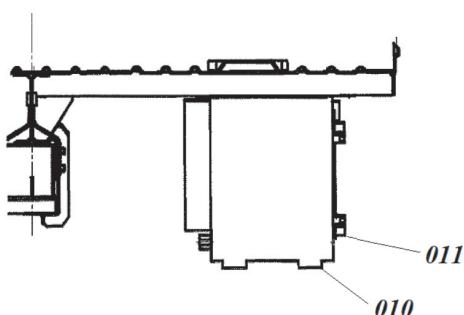


Рис. 7. Схема расположения критических точек в сечении по краю ящика внешнего подключения (сечение Ж-Ж)

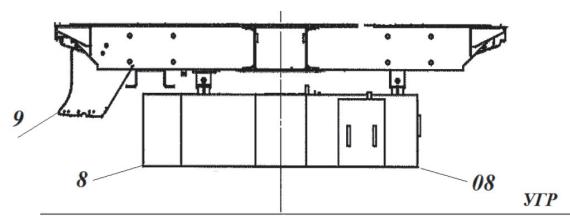


Рис. 8. Схема расположения критических точек в сечении по краю бака водоснабжения (сечение Е-Е)

Таблица 2

Первичные данные измерений и результаты расчета по габаритным размерам конструктивных частей вагона

Номер критической точки	Измеряемая величина, мм			Фактические габаритные размеры, мм			Размеры строительного очертания для габарита 1-ВМ, мм	
	δ_i	δ_{φ}	Y_i	Y_{φ}	B_{Φ}	H_{Φ}	B_i	H_i
1	—	—	—	—	5	6	7	8
2	515	515	515	3705	3705	1655	3705	1700, не более 4700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
3	598	598	598	1210	1210	1572	1210	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
02	551	551	551	3720	3720	1619	3720	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
03	556	556	556	1225	1225	1614	1225	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
Концевое сечение вагона (К-К) со стороны тормозного конца								
1	—	—	—	—	4383	4383	—	4383
2	520	520	520	3710	3710	1650	3710	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
3	605	605	605	1203	1203	1565	1203	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
02	560	560	560	3725	3725	1610	3725	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
03	565	565	565	1218	1218	1605	1218	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
Направляющее сечение вагона (А-А) со стороны тормозного конца								
1	—	—	—	—	4383	4383	—	4383
2	518	518	518	3707	3707	1652	3707	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
3	600	600	600	1248	1248	1570	1248	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
02	554	554	554	3721	3721	1616	3721	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
03	635	635	635	1262	1262	1535	1262	1700, не более 3850, не более 1160, не менее 3850, не более 1160, не менее
Направляющее сечение вагона (А-А) со стороны негормозного конца								
1	—	—	—	—	4382	4382	—	4382

Табл. 2. Продолжение

1	—	2	3	4	5	6	7	8	9
2	519	519	519	519	3712	3712	1651	3712	1700, не более 3850, не более
3	628	628	628	628	1247	1247	1247	1247	1160, не менее
02	562	562	562	562	3725	3725	1608	3725	3850, не более
03	621	621	621	621	1263	1263	1263	1263	1160, не менее
Среднее сечение вагона (Б–Б)									
1	—	—	—	—	4383	4383	4383	—	4383
2	520	520	520	520	3710	3710	1650	3710	1700, не более 3850, не более
3	628	628	628	628	1248	1248	1542	1248	1160, не менее
02	562	562	562	562	3725	3725	1608	3725	3850, не более
03	621	621	621	621	1263	1263	1549	1263	1160, не менее
Сечение по краю подвагонного генератора (И–И)									
4	—	—	—	—	263	263	263	—	263
									227*, не менее
Сечение по краю ящика низковольтной аппаратуры (В–В)									
5	—	—	—	—	451	451	451	—	451
6	838	838	838	838	—	—	—	1332	—
05	—	—	—	—	466	466	466	—	466
06	854	854	854	854	—	—	—	1316	—
Сечение по краю ящика аккумуляторной батареи (Г–Г)									
7	—	—	—	—	495	495	495	—	495
07	—	—	—	—	495	495	495	—	495
Сечение по краю бака водоснабжения (Д–Д)									
8	1192	1192	1192	1192	278	278	978	278	991*, не более 226*, не менее
08	1463	1463	1463	1463	278	278	707	278	—
09	605	605	605	605	585	585	1565	585	1592*, не более 531*, не менее
010	—	—	—	—	458	458	458	—	430, не менее

Табл. 2. Окончание

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
011	842	842	842	842	—	—	—	—
Сечение по краю бака водоснабжения (Е-Е)								
8	1473	1473	1473	1473	292	292	697	292
08	1186	1186	1186	1186	292	292	984	292
9	595	595	595	595	598	598	1575	598
							1592*	, не более
							531*, не менее	

* Нормативное значение контролируемого показателя в соответствии с расчетом вписывания в габарит ЛВ1.0060.00.00.000 Р4 «Вагон пассажирский модели 61-941 сцепка (секции) экспресс-обзорного для туристического поезда по техническим условиям ЛВ1.0060.00.00.000ГУ и конструкторской документации ЛВ1.0060.00.00.000».

Таблица 3

Данные об испытательном оборудовании

Номер пункта, наименование сертификационного показателя в соответствии с ГОСТ 34681-2020	Наименование испытательного оборудования	Основная характеристика испытательного оборудования
4.1.12 Относительная разность статических нагрузок от колес на рельсы под тарой вагона	Стенд для определения статической нагрузки колеса на рельс и поколесного взвешивания вагонов	Относительная погрешность не более 0,50 %

Таблица 4

Первичные результаты взвешивания

Номер колеса*	Замер №1, тс	Замер №2, тс	Замер №3, тс	Среднее значение трех замеров, тс	Среднее значение трех замеров $P_{i^{**}}^*, \text{кН}$
Колесо №1	6,37	6,36	6,35	6,36	62,39
Колесо №2	5,87	5,86	5,88	5,87	57,58
Колесо №3	6,57	6,58	6,59	6,58	64,55
Колесо №4	6,30	6,31	6,29	6,30	61,80
Колесо №5	6,14	6,16	6,12	6,14	60,23
Колесо №6	5,96	5,98	5,97	5,97	58,57
Колесо №7	5,95	5,97	5,96	5,96	58,47
Колесо №8	6,08	6,10	6,06	6,08	59,64

* Схема нумерации колес вагона приведена на рис. 9. $\Sigma 49,16 \text{ тс}$.

** Нагрузка от i -го колеса.



Рис. 9. Схема нумерации колес вагона

Относительная разность нагрузок по колесам в одной колесной паре определяется согласно ГОСТ 33760-2016 [12]:

$$\delta = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где P_{\max} – наибольшее значение статической нагрузки, действующее на рельс от колеса колесной пары, кН;

P_{\min} – наименьшее значение статической нагрузки, действующее на рельс от колеса колесной пары, кН.

Относительная разность нагрузок по осям в одной тележке определяется согласно п. 4.5.3 ГОСТ 33760-2016 [12]:

$$\delta = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где P_{\max} – наибольшее значение статических нагрузок, действующих на рельс по осям в одной тележке, кН;

P_{\min} – наименьшее значение статических нагрузок, действующих на рельс по осям в одной тележке, кН.

Относительная разность нагрузок по сторонам вагона определяется согласно п. 4.5.4 ГОСТ 33760-2016 [12]:

$$\delta_{\text{CB}} = \frac{|P_{\text{л}} - P_{\text{п}}|}{P_{\text{л}} + P_{\text{п}}} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где $P_{\text{л}}$ – значения статических нагрузок от колес с левой стороны вагона, действующих на рельс, кН;

$P_{\text{п}}$ – значения статических нагрузок от колес с правой стороны вагона, действующих на рельс, кН.

Относительная разность нагрузок по тележкам пассажирского вагона определяется согласно п. 4.5.10 ГОСТ 33760-2016 [12]:

$$\delta = \frac{|P_1 - P_2|}{P_1 + P_2} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где P_1 – значения статических нагрузок от колес с левой стороны вагона, действующих на рельс, кН;

P_2 – значения статических нагрузок от колес с правой стороны вагона, действующих на рельс, кН.

Результаты обработки первичных данных приведены в итоговой табл. 5.

Рассматривая результаты испытаний по взвешиванию следует отметить, что пассажирский вагон модели 61-941 соответствует всем нормативным требованиям.

Заключение

Развитие внутреннего туризма с привлечением пассажирского пригородного железнодорожного транспорта потребовало разработки и изготовления соответствующих пассажирских вагонов. По заданию АО «ФПК» был разработан вагон модели 61-941, который предназначен для включения в туристические поезда.

Вагон модели 61-941 был изготовлен Тамбовским вагоноремонтным заводом при проведении КВР серийных пассажирских вагонов модели 61-4179. Проведенные в процессе КВР изменения конструкции кузова, планировочных решений внутреннего салона и установка дополнительного материала-емкого оборудования внутри и подвагонного оборудования снаружи потребовало проведения комплекса основных [13] и дополнительных испытаний, указанных в настоящей работе. Методы оценки контролируемых габаритно-весовых показателей отработаны на ряде моделей вагонов пассажирского парка. По основным параметрам безопасности пассажирский вагон модели 61-941 полностью соответствует нормативным документам [6;7;9].

Таблица 5

Итоговая таблица результатов испытаний по взвешиванию

Номер пункта, наименование сертификационного показателя, единица измерения в соответствии с ГОСТ 34681-2020	Нормативное значение сертификационного показателя	Фактическое значение сертификационного показателя, полученного по результатам испытаний
4.1.12 Относительная разность статических нагрузок от колес на рельсы под тарой вагона: • относительная разность по колесам одной колесной пары, % • относительная разность по колесным парам в одной тележке, % • относительная разность по сторонам вагона, % • относительная разность по тележкам вагона, %	5, не более [*] 5, не более [*] 4, не более [*] 8, не более [*]	Ось 1-2: 4,01 Ось 3-4: 2,18 Ось 5-6: 1,40 Ось 7-8: 0,99 Тормозной конец 2,59 Нетормозной конец 0,29 1,67 1,95

* Нормативное значение сертификационного показателя определено согласно п. 5.13 ГОСТ 34093-2017 [13].

Литература

1. Маршрут обновления. Годовой отчет АО «ФПК» за 2023 год : [сайт]. - URL : <https://ar2023.fpc.ru/> - Текст : электронный.
2. ЛВ1.0060.00.00.000ТУ. - Технические условия. Вагон пассажирский модели 61-941 сцепа (секции) экскурсионного обзорного для туристического поезда. - Москва : ПКТБЛ ОАО «РЖД», 2023. - 38 с. - Текст : непосредственный.
3. Экскурсионный обзорный вагон модели 61-941 для ретро - и туристических поездов / Д. В. Семенов, А. Н. Скачков, О. С. Самошкин, С. Л. Самошкин. - Текст : непосредственный // Вагоны и вагонное хозяйство. - 2024. - № 2. - С. 30-35.
4. Разработка и внедрение пассажирского экскурсионного обзорного вагона модели 61-941 для ретро- и туристических поездов / Д. В. Семенов, А. Н. Скачков, О. С. Самошкин, С. Л. Самошкин. - Текст : непосредственный // Техника железных дорог. - 2024. - №2. - С.14-23.
5. Расчетно-экспериментальная оценка прочности пассажирского экскурсионного обзорного вагона модели 61-941 / С. Д. Коршунов, А. А. Смирнов, Н. П. Бардов, Д. В . Семенов, А. П. Болдырев. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2023. - № 8 (20). - С. 49-59.
6. ТР ТС 001/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава». - Минск: БелГИИС. - 2012. - 46 с. - Текст : непосредственный.
7. ГОСТ 34681-2020. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования = Passenger cars on locomotive traction. General technical requirements : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2020 г. № 904-ст: введен впервые : дата введения

Е.В. Сорокина, Д.А. Ромашов, О.С. Сачкова, С.Л. Самошкін
«МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ГАБАРИТНО-ВЕСОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАССАЖИРСКОГО
ЭКСКУРСИОННОГО ВАГОНА С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ»

2021-03-01/ разработан закрытым акционерным обществом «Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ»). - Москва : Стандартинформ, 2020. - 40 с. - Текст : непосредственный.

8. Сорокина, Е. В. Технические требования к разработке измерительного комплекса для контроля габарита железнодорожного подвижного состава по ТР ТС / Е. В. Сорокина, С. Д. Коршунов. - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Международной научно-практической конференции. Республика Беларусь. - Гомель : БелГУТ, 2015. - С. 84-85.

9. ГОСТ 9238-2022. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений = Construction and Rolling stock clearance diagrams : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 декабря 2022 г. № 1461-ст.: введен 2024-05-01 с правом досрочного применения взамен ГОСТ 9238-2013/ Разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий» (ООО «ВНИЦТТ»), Акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). - Москва : Российский институт стандартизации, 2024. - 212 с.

10. Патент на полезную модель № 206048. Российской Федерации. МПК G01G 19/04 (2006.01) Устройство для взвешивания железнодорожного подвижного состава: № 2021102761: заявлено 2021.02.05: опубликовано: 2021.08.17, бюл. №23 / Коршунов С.Д, Рыжов К. И.; Акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ») (RU). -14 с.: ил. - Текст : непосредственный.

11. Коршунов, С. Д. Метод взвешивания железнодорожного подвижного состава в полевых условиях / С. Д. Коршунов, К. И. Рыжов. - Текст : непосредственный // Труды РГУПС. - 2022. - №1. - С. 39 - 43.

12. ГОСТ 33760-2016 Железнодорожный подвижной состав. Методы контроля показателей развески = Railway rolling stock. Weighing data control methods: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 мая 2016 г. № 350-ст. : введен впервые : дата введения 2017-02-01/ разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИМаш) и Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (ОАО «ВНИКТИ»). - Москва : Стандартинформ, 2016, 11 с. - Текст : непосредственный.

13. ГОСТ 34093-2017. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам = Passenger cars on locomotive traction. Requirements for structural strength and dynamic qualities : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 июня 2017 г. № 537-ст. : введен впервые : дата введения 2018-01-01/ разработан Закрытым акционерным обществом Научной организацией «Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ»). - Москва: Стандартинформ, 2017. - 45 с.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗВРАТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ПРИПОРТОВЫХ И ПОГРАНИЧНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ



В.А. Эсаулов



Е.В. Мединцев

Решается задача оптимизации возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций на примере Восточного полигона. Решение задачи позволяет нормировать транзитный и разборочный поездопотоки со станций массового зарождения при построении нормативного графика движения поездов, а также перераспределять работу по формированию разборочного поездопотока между станциями в зависимости от интенсивности прогнозируемого подхода груза.

Ключевые слова: моделирование, оптимизация, возврат порожнего потока, нормативный график движения поездов

EDN: XHDHST

Грузовые перевозки в пределах Восточного полигона служат важной составляющей экономики России. В условиях роста масштаба и интенсивности перевозок усиливается внимание к обеспечению их эффективности [1;2]. До настоящего времени не решена задача нормирования разборочного поездопотока на подходах к сортировочным станциям [3;4]. Нормативный график движения поездов предусматривает обезличенное нормирование поездопотока [3;5], а план формирования грузовых поездов не подразумевает количественное образование формируемых поездов [6].

Вместе с тем, оптимизация возврата порожнего подвижного состава после выгрузки является неотъемлемой частью перевозочного процесса. Ритмичное про-

движение грузовых поездов с припортовых станций, а также пограничных переходов напрямую зависит от качества построения потока и соотношения в нем разборочных и транзитных поездов относительно ближайшей сортировочной станции массовой переработки вагонопотока.

Кроме того, логистика груженой составляющей перевозок также тесно связана с качеством организации встречного поездопотока. При ограничении отправления поездов с припортовых и пограничных станций возрастает показатель рабочего парка вагонов на станциях, снижается возможность приема груженых составов. Как следствие, возрастает риск отставления от движения поездов с востребованными номенклатурами груза.

Эсаулов Вячеслав Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация перевозок и безопасность на транспорте» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), заместитель начальника Дальневосточного отдела логистики перевозок и информационного анализа центра управления перевозками на Восточном полигоне – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: моделирование транспортных процессов железнодорожного транспорта. Автор 13 научных работ.

Мединцев Евгений Викторович, заместитель начальника Центра управления перевозками на Восточном полигоне - начальник Дальневосточного отдела логистики перевозок и информационного анализа центра управления перевозками на Восточном полигоне – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: моделирование транспортных процессов железнодорожного транспорта. Автор четырех научных работ.

Структура поездопотока от припортовых и пограничных станций к ближайшей сортировочной станции

В общем виде структуру поездопотока от припортовых и пограничных станций к ближайшей сортировочной станции можно представить в виде ориентированного графа, где цифрами обозначены вершины (i), обобщающие станции формирования возвращаемого потока, буквами — вершины (j), обобщающие транзитную (A) и сортировочную (Б) системы ближайшей сортировочной станции; ребрами графа являются формируемые транзитные (X_{ij}) и разборочные (Y_{ij}) потоки (рис. 1).

Каждая из систем сортировочной станции имеет свою расчетную перерабатывающую способность (Π). Вместе с тем суммарный поездопоток $\Sigma(X_{ij} + Y_{ij})$ не должен превышать пропускную способность направления (N).

Анализ данных по формированию транзитного и разборочного поездопотока с припортовых и пограничных станций и их влияние на параметры выгрузки

В ходе исследования проведен анализ структуры потока с припортовых и пограничных станций Дальневосточной железной дороги к нечетной системе сортировочной станции Хабаровск-2. В ходе проведенного исследования установлено, что в январе 2024 г. равномерность отправления разборочных и транзитных поездов со станций массового зарождения вагонопотока восточного участка Транссиба нарушена (рис. 2). Как следствие, не доехая до нечетной

системы станции Хабаровск-2 отставлено от движения 42 порожних состава и организована неплановая смена 59 локомотивных бригад на промежуточных станциях. Следует отметить, что «подъем», «отставление» поездов и неплановая смена локомотивных бригад являются дорогостоящими технологическими операциями, требующими отвлечения работников вагонного хозяйства, а также приводящими к снижению производительности локомотива и качества использования локомотивных бригад.

Вместе с тем исследовано посуточное формирование возвращаемого поездопотока и его влияние на общую выгрузку и передачу вагонов в портах и пограничных переходах восточной части Транссиба. Установлено, что соотношение количества отправляемых транзитных и разборочных поездов относительно ближайшей сортировочной станции оказывает прямое влияние на способность припортовых станций и пограничных переходов принимать груженые составы и своевременно их выгружать (передавать). Представленные на рис. 2 графики показывают прямую зависимость суточной выгрузки от количества отправленных разборочных поездов и обратную зависимость от количества транзитных поездов. Данные зависимости подтверждают и полученные коэффициенты корреляции — между выгрузкой и отправляемыми разборочными поездами коэффициент принял значение 0,59, между выгрузкой и отправляемыми транзитными поездами полученное значение составило -0,38.

Вместе с этим, проведенный анализ влияния отправления общего поездопотока с припортовых и пограничных станций Дальневосточной железной дороги на параметры выгрузки груженого вагонопотока по данным 2024 г. наглядно демонстрирует прямое влияние отправления поездов с припортовых и пограничных станций на показатель выгрузки (рис. 3).

За 12 месяцев в пределах Дальневосточной железной дороги среднесуточное отправление поездов с припортовых станций снижено на 9,9%, одновременно, уровень среднесуточной выгрузки снижен на 5,2%. Прослеживается идентичность кривых снижения показателей по возврату поездопотока и выполнения выгрузки.

В ходе проведенного исследования установлены параметры среднесуточного отправления транзитных и разборочных поездов (относительно нечетной системы станции Хабаровск-2) с припортовых и пограничных железнодорожных станций формирования в январе 2024 г. Полученные данные сведены в табл. 1.

На основании полученных данных целесообразно сделать вывод — решение задачи нормирования

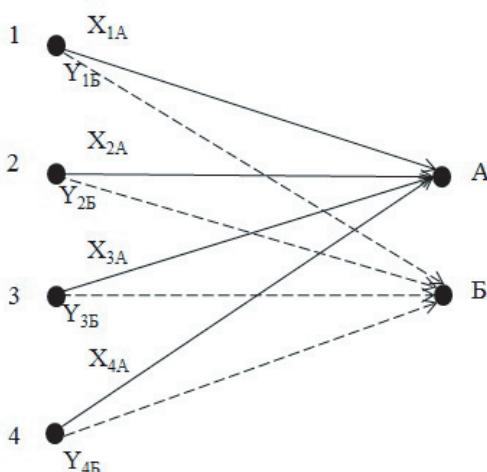


Рис. 1. Общая структура вагонопотока, возвращаемого с припортовых и пограничных станций

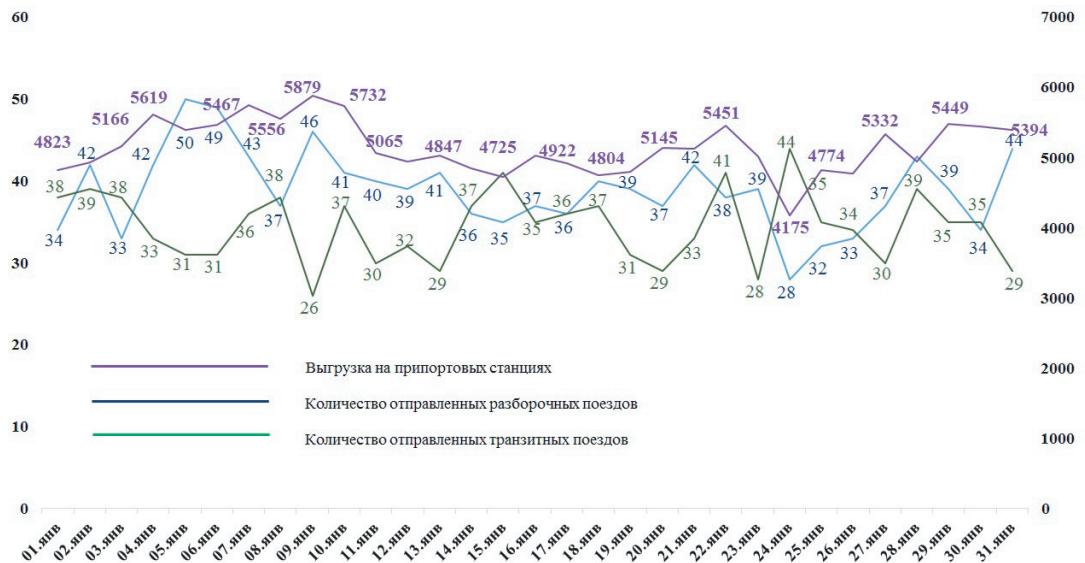


Рис. 2. Динамика выгрузки, формирования транзитных и разборочных поездов на станциях восточного участка Транссиба

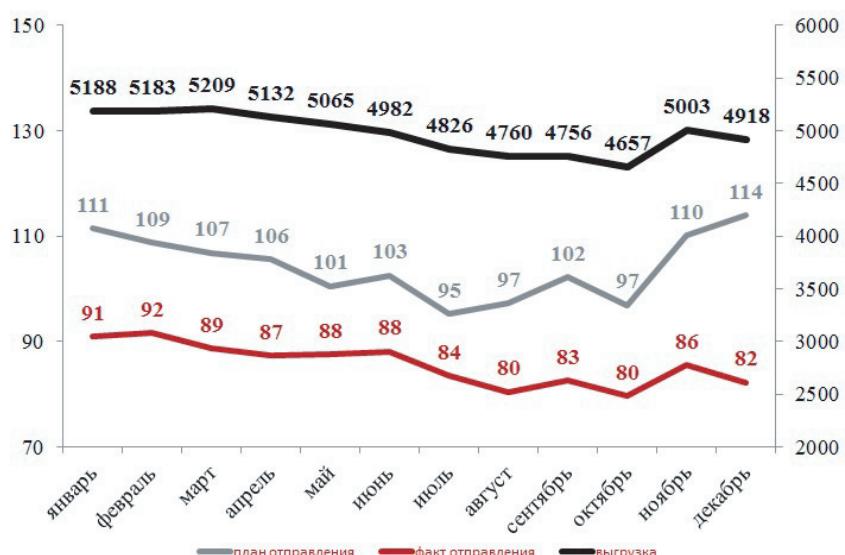


Рис. 3. Влияние отправления поездов с припортовых станций на выгрузку в 2024 г.

отправления разборочного и транзитного поездопотока со станций массового зарождения вагонов приведет к ритмичной работе не только горючего комплекса сортировочной станции, но также и ритмичной работе припортовых станций. Таким образом, эффективная логистика продвижения груза железнодорожным транспортом невозможна без оптимизации отправления поездопотока с припортовых и пограничных станций.

Методика решения оптимизационной задачи организации возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций

Для моделирования потока после выгрузки необходимо формализовать задачу оптимизации [7–10]. В качестве критерия оптимизации целесообразно рассмотреть суммарный поездопоток $\sum(X_{ij} + Y_{ij})$. В данном случае необходимо найти максимальное значение

В.А. Эсаулов, Е.В. Мединцев
 «МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗВРАТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
 С ПРИПОРТОВЫХ И ПОГРАНИЧНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ
 ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ»

Таблица 1

**Среднесуточное формирование порожнего потока с припортовых
и пограничных станций Дальневосточной железной дороги**

Станции	Транзитный поездопоток (тип X)	Разборочный поездопоток (тип Y)	Общий (суммарный) поездопоток
Находка-Восточная	10	13	23
Находка	6	4	10
Мыс Астафьева	0	1	1
Крабовая	0	0	0
Рыбники	0	0	0
Стрелковая	3	1	4
Смоляниново	0	1	1
Владивосток	4	2	6
Мыс Чуркин	2	1	3
Гайдамак	1	0	1
Первая Речка	0	2	2
Посыет	0	2	2
Бамбурово	0	1	1
Приморская	0	0	0
Угловая	2	0	2
Угольная	1	0	1
Хмыловский	3	0	3
Гродеково	0	2	2
Камышовая	0	2	2
Хасан	0	0	0
Артем-Приморский 1	0	1	1
Артем-Приморский 3	0	1	1
Гвоздево	0	0	0
Сибирцево	0	2	2
Спасск-Дальний	0	0	0
Уссурийск	1	3	4
Надеждинская	0	0	0
Старый Ключ	0	1	1
Океанская	0	0	0
Лозовый	0	0	0
Партизанск	0	0	0
Сухановка	0	0	0
Всего:	33	40	73

суммарного поездопотока, возвращаемого с припортовых и пограничных станций

$$\sum(X_{ij} + Y_{ij}) \rightarrow \max,$$

при имеющихся ограничениях:

- суммарный поток типа X должен быть меньше или равен перерабатывающей способности транзитной системы А

$$\sum X_{ij} \leq \Pi_A;$$

- суммарный поток типа Y должен быть меньше или равен перерабатывающей способности сортировочной системы Б

$$\sum Y_{ij} \leq \Pi_B;$$

- суммарный поток обоих типов должен быть равен наличной пропускной способности направления

$$\sum(X_{ij} + Y_{ij}) = N.$$

Для решения задачи сформируем табл. 2.

Применение методики на примере влияния возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций Восточного полигона на существующие размеры движения

Исходными данными для решения конкретной производственной задачи по оптимизации возврата порожних вагонов послужат план формирования грузовых поездов (ПФП) и пропускная способность полигона, определяемая нормативным графиком движения поездов от станций зарождения поездопотока до ближайшей сортировочной станции массовой переработки. Также в качестве исходных данных необходимы расчетные параметры перерабатывающей способности горки и пропускной способности транзитных парков, определяемые техническим оснащением и путевым развитием сортировочной станции.

В качестве примера рассмотрим нечетную систему станции Хабаровск-2. В нормативном графике движения поездов предусмотрено 92 грузовых поезда нечетного направления, поступающих на данную станцию. Расчетная перерабатывающая способность нечетной горки составляет 2900 вагонов в сутки, что соответствует ежесуточному расформированию 40 поездов длиной 71 вагон. Соответственно, для решения задачи предусмотрим поступление 52 транзитных поездов.

Общее количество поездов, а также возможность формирования транзитных (типа « X ») и разборочных поездов (типа « Y ») для нечетной системы сортировочной станции Хабаровск-2 со станций зарождения порожнего поездопотока представлена в табл. 3.

В качестве практического использования полученных значений возможно назначение конкретных ниток отправления разборочных поездов с каждой станции формирования. Определение точек отправления целесообразно проводить от станции Хабаровск-2 к станциям зарождения потока, используя принцип равномерности подвода разборочных поездов к нечетной сортировочной системе.

Используя принятые ограничения, решается транспортная задача линейного программирования. Также принято условие, что количество отправляемых транзитных и разборочных поездов должно быть больше или равно среднему количеству формируемых составов. Результат решения представлен в табл. 4.

Увеличение пропускной способности рассматриваемого направления возможно посредством систематического и планомерного формирования жестко-цепленных транзитных поездов с локомотивами в голове каждого поезда с остаточным временем до следующего проведения технического обслуживания по циклу ТО-2, позволяющим проследовать станцию Хабаровск-2 без размена локомотива. Таким образом, на одну нитку проследуют два транзитных поезда с занятием одного приемоотправочного пути на станции Хабаровск-2.

Таблица 2

Ограничения для решения оптимизационной задачи

Станция формирования	Тип вагонопотока		Общее количество поездов
	X	Y	
1	X_{1A}	Y_{1B}	$\sum(X_{1A} + Y_{1B})$
2	X_{2A}	Y_{2B}	$\sum(X_{2A} + Y_{2B})$
3	X_{3A}	Y_{3B}	$\sum(X_{3A} + Y_{3B})$
4	X_{4A}	Y_{4B}	$\sum(X_{4A} + Y_{4B})$
	$\sum X_{ij} \leq \Pi_A$	$\sum Y_{ij} \leq \Pi_B$	$\sum(X_{ij} + Y_{ij}) = N$

В.А. Эсаулов, Е.В. Мединцев
 «МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗВРАТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА
 С ПРИПОРТОВЫХ И ПОГРАНИЧНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ
 ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ»

Таблица 3

**Исходные ограничения и параметры для оптимизации возврата поездопотока
 с припортовых и пограничных станций**

Станции	Возможность формирования поездопотока для станции Хабаровск-2		Общий (суммарный) поездопоток
	Транзитный поездопоток (тип X)	Разборочный поездопоток (тип Y)	
Находка-Восточная			32
Находка			10
Мыс Астафьева	нет в ПФП	нет в ПФП	1
Крабовая	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Рыбники	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Стрелковая			5
Смоляниново			1
Владивосток			9
Мыс Чуркин			3
Гайдамак			2
Первая Речка	нет в ПФП		2
Посыт			2
Бамбурово	нет в ПФП	нет в ПФП	1
Приморская	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Угловая		нет в ПФП	2
Угольная			2
Хмыловский		нет в ПФП	3
Гродеково	нет в ПФП		2
Камышовая	нет в ПФП	нет в ПФП	2
Хасан	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Артем-Приморский 1		нет в ПФП	1
Артем-Приморский 3			1
Гвоздево	нет в ПФП	нет в ПФП	0
Сибирцево	нет в ПФП		2
Спасск-Дальний	нет в ПФП		1
Уссурийск			9
Надеждинская	нет в ПФП		1
Старый Ключ	нет в ПФП		1
Океанская	нет в ПФП		1
Лозовый	нет в ПФП		1
Партизанск	нет в ПФП		1
Сухановка	нет в ПФП		1
Всего:	52	40	92

Таблица 4

Результаты решения оптимизационной задачи возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций на существующие размеры движения

Станции	Формируемый поездопоток		Общий (суммарный) поездопоток
	Транзитный поездопоток (тип X)	Разборочный поездопоток (тип Y)	
Находка-Восточная	19	13	32
Находка	6	4	10
Мыс Астафьева	0	1	1
Крабовая	0	0	0
Рыбники	0	0	0
Стрелковая	4	1	5
Смоляниново	0	1	1
Владивосток	7	2	9
Мыс Чуркин	2	1	3
Гайдамак	2	0	2
Первая Речка	0	2	2
Посыт	0	2	2
Бамбурово	0	1	1
Приморская	0	0	0
Угловая	2	0	2
Угольная	2	0	2
Хмыловский	3	0	3
Гродеково	0	2	2
Камышовая	0	2	2
Хасан	0	0	0
Артем-Приморский 1	0	1	1
Артем-Приморский 3	0	1	1
Гвоздево	0	0	0
Сибирцево	0	2	2
Спасск-Дальний	0	0	0
Уссурийск	5	3	6
Надеждинская	0	0	0
Старый Ключ	0	1	1
Океанская	0	0	0
Лозовый	0	0	0
Партизанск	0	0	0
Сухановка	0	0	0
Всего:	52	40	92

«МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗВРАТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ПРИПОРТОВЫХ И ПОГРАНИЧНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ»

Графическое изображение формирования разборочного поездопотока к нечетной системе станции Хабаровск-2 представлено в виде диаграммы на рис. 4.

Вместе с тем, представленные размеры движения имеют существенные технологические резервы: проектная мощность нечетной горки железнодорожной станции Хабаровск-2 составляет 3500 вагонов, что предполагает возможность расформирования 49 поездов длиной 71 вагон (фактическая переработка в январе 2024 г. составила 3020 вагонов среднесуточно); расчетная пропускная способность всех транзитных парков нечетной системы превышает 100 поездов среднесуточно.

Прогнозируемые эффекты

Решение поставленной задачи позволяет получить следующие эффекты:

- среднесуточная выгрузка на припортовых станциях Дальневосточной железной дороги в январе 2024 г. составила 5147, равномерное отправление разборочных поездов в количестве 40 составов позволяет прогнозировать уровень выгрузки в количестве 5206 вагонов, тем самым обеспечив рост показателя на 59 вагонов ежесуточно;
- ритмичность и равномерность поступления поездов на ближайшую сортировочную станцию позволит исключить временное отставление грузовых составов и незапланированные смены локомотивных бригад на промежуточных станциях участков, примыкающих к сортировочной станции;

- оптимальное распределение разборочных поездов позволит обеспечить ритмичную работу горочного комплекса сортировочной станции;

- ускорение выгрузки позволит ускорить оборот вагона, вместе с этим – снизить рабочий парк припортовой дороги.

Вариативность применения методики в условиях неравномерности вагонопотоков

Практика показывает – равномерное поступление груза на станции массовой выгрузки или передачи по межгосударственным стыковым пунктам по большей части исключение. Теоретические расчеты учитывают фактор неравномерности через коэффициент неравномерности перевозок. На ритмичность подвода грузовых поездов оказывают влияние, помимо прочих, складская логистика, своевременный подвод судов, а также скорость выполнения грузовых операций.

Современные информационные системы, такие как «АСУ МР», «ЕМД ПП УЭР», позволяют планировать подвод груженых составов к станциям выгрузки на трое суток вперед, а также осуществлять регулировочное отставление поездов, обеспечивая эффективность работы транспортной системы. Прогнозируя прибытие поездов на станции назначения, используя предложенную методику возврата поездопотока с припортовых и пограничных станций, целесообразно в оперативном режиме перераспределять количество формируемых разборочных поездов для ближайшей сортировочной станции.

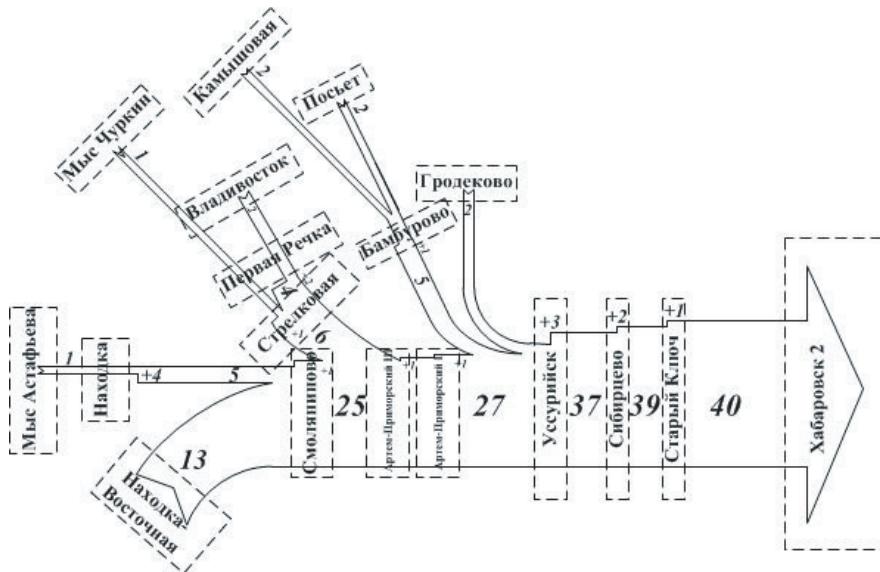


Рис. 4. Диаграмма формирования разборочного поездопотока к нечетной системе станции Хабаровск 2

Выводы

В настоящей работе предложена методика нормирования разборочного и транзитного поездопотоков с припортовых и пограничных станций. В основе методики лежит решение оптимизационной задачи линейного программирования. Представлен пример нормирования разборочного и транзитного поездопотоков с припортовых и пограничных станций Восточного полигона на основе разработанной методики.

В статье доказан тезис – оптимальное соотношение транзитного и разборочного поездопотоков, отправляемых с припортовых и пограничных станций, напрямую влияет не только на ритмичную работу горочного комплекса сортировочной станции, но также и на выгрузку в морских терминалах и передачу вагонов через пограничные переходы, следовательно и на эффективность логистики железнодорожного транспорта в целом.

Представленная методика имеет прямое практическое применение и универсальна для железных дорог сети. Прогнозируемые эффекты заключаются в увеличении выгрузки на припортовых станциях, повышении производительности локомотивов, сокращении оборота локомотивных бригад, а также в ускорении оборота грузового вагона.



Литература

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. - URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
2. Бородин, А. Ф. Научная оценка перспектив модернизации Восточного полигона сети Российской железных дорог / А. Ф. Бородин, М. В. Сторчак. - Текст : непосредственный // Бюллетень объединенногоченного совета ОАО «РЖД». - 2017. - № 2. - С. 65-73.
3. Инструкция по составлению месячных технических норм эксплуатационной работы: утверждена первым заместителем министра путей сообщения Н. С. Конаревым 11 августа 1978 г. - КонсорциумКодекс [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200106988?ysclid=m7ixih6bba621862699>. (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
4. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утверждены Приказом Министерства транспорта РФ от 23.06.2022 № 250. - URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=1827&ysclid=m7izdnp2al348414183> (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
5. О нумерации поездов для графика движения: Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» № 859 : утверждено первым вице-президентом ОАО «РЖД» В. Н. Морозовым 5 апреля 2014 г. - КонсорциумКодекс. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/420320943?section=operative> (дата обращения: 14.01.2025). - Текст : электронный.
6. Маловецкая, Е. В. Актуальность применения имитационного моделирование при расчете плана формирования поездов с учетом развития полигонных технологий / Е. В. Маловецкая. - Текст : непосредственный // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. - 2019. - Т. 13, № 4. - С. 48-53.
7. Рахмангулов, А. Н. Методы оптимизации транспортных процессов / А. Н. Рахмангулов. - Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 1999. - 114 с. - Текст : непосредственный.
8. Taxa, Хемди А. Введение в исследование операций / Хемди А. Taxa ; пер. с англ. и ред. А. А. Минько. - 7-е изд. - Москва [и др.] : Вильямс, 2005. - 901 с. + CD-ROM. - Текст : электронный.
9. Эсаулов, В. А. Рациональное распределение перевозок на основе решения транспортной задачи линейного программирования / В. А. Эсаулов, Б. И. Давыдов, Е. В. Мединцев. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2024. - № 1(68). - С. 33-40.
10. Попова, Т. М. Методы безусловной оптимизации : тексты лекций : учебное пособие / Т. М. Попова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Тихоокеанский гос. ун-т». - Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2014. - 75 с. - Текст : непосредственный.

ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ С УВЕЛИЧЕННЫМ ТРАНЗИТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В статье рассмотрена система организации вагонопотоков при формировании транспортных коридоров на сети железных дорог. Проведен анализ показателей оборота вагона за 2021–2023 годы. Рассмотрены способы увеличения транзитного вагонопотока на участке железнодорожного полигона. Представлены расчеты, доказывающие целесообразность формирования транспортного коридора на обособленной линии.

Ключевые слова: оборот вагона, транспортные коридоры, вагонопоток, железнодорожные линии, железнодорожный полигон

EDN: KIJTKG

Задачей 10 развития транспортного комплекса Российской Федерации является «Ускоренное развитие участков международных транспортных коридоров, проходящих через Россию». Транспортной стратегией Российской Федерации отмечается рост объемов контейнеризации, который должен достигнуть 16–20% к 2035 году. Это создаст дополнительный спрос на контейнеры и контейнерные платформы, а также на терминалную перегрузочную технику. При этом объем международных транзитных отправлений с учетом порожних вагонов в 2020 году составил 27,86 млн тонн, или 2,24% от всех объемов погрузки на сети [1].

Северный морской путь является альтернативным водным маршрутом между Азией и Европой и позволяет миновать Индийский океан, в котором развитие торговой логистики осложнено действием внешних военно-политических сил. На южном морском направлении существуют 11 критических точек, способных затруднить продвижение судов по маршрутам: Малаккский пролив и пролив Ломбок

между Индийским и Тихим океанами, Суэцкий канал и Ормузский пролив на Ближнем Востоке и др. [2]. В свою очередь Северный морской путь требует развития ледокольного и усиленного ледового грузового флотов для освоения грузопотоков, следующих на сегодняшний день «Южным» маршрутом, что требует больших финансовых инвестиций.

По этой причине, развитие сухопутных транспортных коридоров на территории Евразии может стать дополнением к Северному морскому пути. Хотя железнодорожные перевозки дороже морских из-за различных факторов (в том числе стоимость топлива, инфраструктуры и обслуживания), они обеспечивают более быструю доставку грузов даже на большие расстояния, не ограничены влиянием погоды (штормов и волнений в море, влияющих в том числе на порты) и лучше интегрируются с другими видами транспорта. Эти факторы имеют большее значение для перевозки дорогостоящих грузов третьего класса, не оспаривая преимущества морского транспортного коридора для массовых навалочных и сырьевых грузов.



К.С. Яникеев

Яникеев Кирилл Сергеевич, аспирант кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технология работы и инфраструктура грузовых и пассажирских станций, транспортные коридоры, специализация железнодорожных линий.

Транспортные коридоры «Запад – Восток» и «Север – Юг» могут быть востребованы не только для перевозок из Юго-Восточной и Центральной Азии в Европу, но и для освоения быстро растущих потребностей в транспортных услугах стран Ближнего Востока и Северной Африки.

Осенью 2022 года, в рамках национального проекта по развитию магистральной инфраструктуры [3], был завершен первый этап строительства БАМа и Транссиба. Сегодня реализуется второй этап развития инфраструктуры на Восточном полигоне, что позволяет увеличить провозную способность полигона до 158 млн тонн [4]. При этом, в процессе совершенствования системы организации планирования и оперативного управления движением поездов требуется учитывать как потребности пассажиров, грузоотправителей и грузополучателей; имеющиеся эксплуатационные ограничения, так и техническую и экономическую устойчивость железнодорожного транспорта в целом [5]. Представленные условия диктуют необходимость модернизации железнодорожной инфраструктуры с использованием имеющихся технических средств для максимально быстрого достижения требуемых результатов при минимальных затратах.

Данная статья ставит целью оценку работы сети железных дорог и требования к железнодорожным полигонам, через которые формируются транспортные коридоры при увеличении транзитного движения на железных дорогах.

Оценка работы грузового вагона на сети железных дорог

Показатель «оборот вагона» является качественным показателем для оценки использования подвижного состава в соответствии с Приложением №2 [6] и характеризует продолжительность производственного цикла работы грузового вагона.

Согласно отчетам ОАО «РЖД» по форме 9д-5 построена гистограмма оборота вагона по элементам (рис. 1).

Из гистограммы видно, что оборот грузового вагона рабочего парка по итогам 2022 года составил 18,05 суток (433,21 часов), что на 38,19 часа больше (или 9,7%), чем показатель предыдущего года (16,46 суток, или 395,02 часов). В первом полугодии 2023 года оборот вагона составил 18,24 суток (437,7 часов), что на 1% больше, чем за период 2022 года. Однако, с января по март 2024 г. оборот вагона увеличился до 20,16 суток, причем 61,3% простоя приходится на работу в зоне ответственности ОАО «РЖД» [7].

Из рис. 1 видно, что в движении вагон находится 17% от общего времени оборота, данный процент одинаковый для 2022 и 2023 годов, однако относительно данных за 2021 года, время в движении выросло в абсолютном значении примерно на 5 часов (или 7,1%). Этот результат можно связать с недостаточной пропускной способностью некоторых участков. Это вынуждает все больше грузовых поездов отправлять по «окружным» маршрутам, оставляя

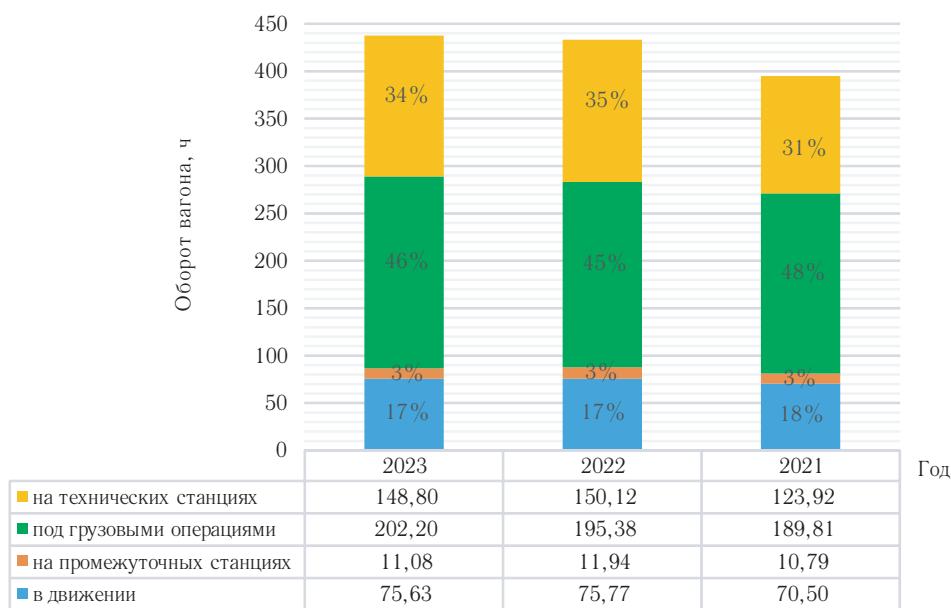


Рис. 1. Гистограмма оборота вагона по элементам



наиболее короткие для пассажирского движения и ускоренных поездов.

В рассматриваемый период с 2021 по 2023 годы наблюдается существенный рост времени, которое вагоны находятся на технических станциях. С 2021 года показатель вырос более чем на одни сутки (на 26,2 часов). В процентном соотношении между 2021 и 2022 годами простой на технических станциях увеличился в 1,21 раза (21,1%) – это является наихудшим увеличением времени в сравнении с другими показателями (2,92% – под грузовыми операциями, 10,66% – на промежуточных станциях, 7,48% – в движении).

Согласно отчетам ОАО «РЖД» по форме 9д-5 были построены графики (по месяцам) участковой и технической скоростей по сети (рис. 2).

Из графиков на рис. 2 видно, что наиболее высокие скорости следования поездов достигались в январе, что связано со снижением объема производимой продукции по причине нерабочих выходных дней и, как следствие, уменьшения грузовых отправок.

Средняя техническая скорость в 2021 году составила 44,49 км/ч, участковая – 39,83 км/ч, при этом в 2022 году эти показатели снизились соответственно до 42,93 км/ч (1,56 км/ч или 3,5%) и 38,27 км/ч (1,56 км/ч или 3,9%). Участковая скорость оказывается ниже технической скорости на 4,66 %. Эти потери соответствуют 11 часам или 3% оборота вагона.

Таким образом, наибольшее влияние на продвижение вагонов оказывает простой на технических станциях (сортировочных и участковых) – более 60% от общего продвижения вагонов без учета простоя на

начальных и конечных грузовых станциях. При этом, время на движение поездов увеличивается, а скорости движения падают. Причинами этого могут быть как и общее увеличение осваиваемых грузопотоков, так и повышение числа пассажирского сообщения и ускоренных грузовых поездов.

Задача увеличения транзитного вагонопотока на участке полигона

Для освоения возрастающего грузопотока осуществляется поиск технических и технологических решений, направленных на более эффективную эксплуатацию инфраструктуры и подвижного состава, к которым можно отнести применение полигонных моделей и организацию перевозочного процесса на основе технико-технологических параметров [8], совершенствование технического оснащения железнодорожных станций посредством применения автоматизированных систем управления, увеличения путевого развития и линий.

Для оценки влияния транзитного вагонопотока на железнодорожную сеть использовались [9;10]. Согласно Инструктивным указаниям план формирования вагонопотоков одногруппных поездов мощностью N_i рассчитывается на основе суммарных затрат, приходящихся на один вагон (руб./ваг) по формуле 1:

$$E = \left(\sum E_{\text{движ}} + \sum E_{\text{тех.ст.}}^{\text{б/п}} + E_{\text{тех.ст.}}^{\text{с/п}} \right) \cdot N_i + E_{\text{нак}}, \quad (1)$$

В формуле (1) учитываются как затраты на движение $E_{\text{движ}}$, так и нахождение вагона на станции без

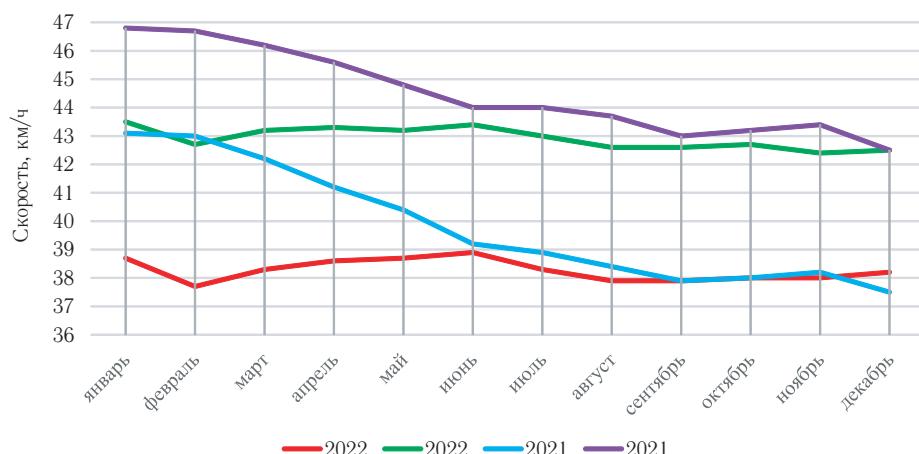


Рис. 2. Графики участковой и технической скоростей по сети

переработки $E_{\text{tex.ct.}}^{\delta/\pi}$, с переработкой $E_{\text{tex.ct.}}^{c/\pi}$. Отдельным выделяются затраты на накопление $E_{\text{нак}}$, зависящие от величины состава формируемого поезда m_{ϕ} (ваг) и расходной ставки на 1 вагоно-час грузового вагона, определяемыми по формуле (2):

$$E_{\text{нак}} = C m_{\phi} e_{\text{вн}}. \quad (2)$$

В формуле (2), коэффициент C , называемый параметром накопления (сост-ч/сут), определяется для каждого назначения i из числа формируемых станций назначений k :

$$C_i = 12 \left(1 - \frac{B m_p \sqrt{N_i}}{(3,1 + 0,014 N_i) k m_i} \right), \quad (3)$$

где B – коэффициент, зависящий от допустимых колебаний числа вагонов в составах рассматриваемого назначения i ;

N_i – мощность назначения i , ваг.;

m_p – состав расформированного поезда, ваг.;

m_i – состав поезда, ваг.;

Время накопления состава поезда при расчете плана формирования:

$$t_{\text{нак}} = \frac{C m_i}{N_i}. \quad (4)$$

В соответствии с формулами (2–4) и принятыми значениями $B=0,5$ (для среднесетевых условий в случае сквозных и участковых поездов в соответствии с [8] (пункт П1.4.1), $e_{\text{вн}}=8,818$ руб./ваг-ч, $m_{\phi}=m_p=m_i=50$ ваг., и $k=\{1, 2, 5, 10, 15, 20, 25\}$, $N_i=\{5000, 2500, 1000, 500, 333, 250, 200\}$ ваг. состав-

лены следующие графики зависимостей $E_{\text{нак}}$ (C, m), C (N_i, m), $t_{\text{нак}}$ (C, N_i, m), представленные на рис. 3.

В соответствии с представленными графиками отметим, что с увеличением числа формируемых назначений k продолжительность накопления $t_{\text{нак}}$, приходящееся на одно назначение, увеличивается, при этом стоимость накопления вагонов $E_{\text{нак}}$ растет быстро при формировании до 10 назначений на станции, после чего достигает лимита.

Так как наибольшие потери времени в обороте приходятся на простой вагонов на технических станциях, то для уменьшения времени нахождения под накоплением и непосредственно стоимости накопления составов необходимо уменьшать число формируемых назначений k на станции. Затраты на движение определяются согласно формуле (5):

$$E_{\text{движ}} = E_{\text{км}}^{\text{ваг}} + E_{\text{вн}}^{\text{ваг}} + E_{\text{км}}^{\text{лок}} + E_{\text{вн}}^{\text{лок}} + \\ + E_{\text{вн}}^{\text{бриг}} + E_{\text{км}}^{\text{бр.ваг}} + E_{\text{эн}}^{\text{тяг}}, \quad (5)$$

где $E_{\text{км}}^{\text{ваг}} + E_{\text{вн}}^{\text{ваг}}$ – расходы на продвижение вагона;

$E_{\text{км}}^{\text{лок}} + E_{\text{вн}}^{\text{лок}}$ – расходы на продвижение локомотива;

$E_{\text{вн}}^{\text{бриг}}$ – расходы на локомотивные бригады;

$E_{\text{км}}^{\text{бр.ваг}}$ – расходы, связанные с тонно-км работой брутто;

$E_{\text{эн}}^{\text{тяг}}$ – расходы на энергетические ресурсы.

Согласно формулам, представленным в [9;10] и принятым равным расстояниям пробега поезда, равным удельным расходам на единицу пробега вагона и локомотива, лок-часа работы бригады, энергии и т.д.,

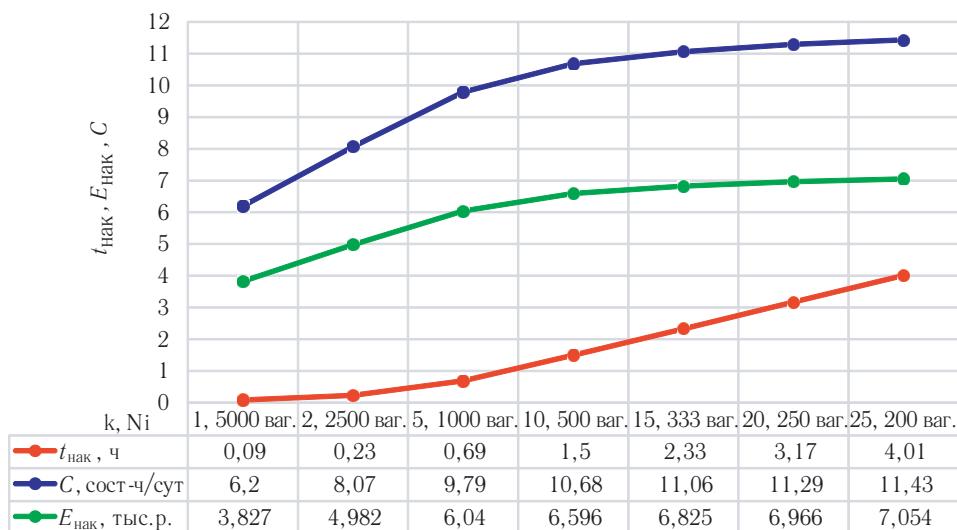


Рис. 3. Графики зависимостей $E_{\text{нак}}$ (C, m), C (N_i, m), $t_{\text{нак}}$ (C, N_i, m)

определенны следующие зависимости расходов $E_{\text{движ}}(m)$, приходящихся на 1 вагон (рис. 4).

Расходы на движение поезда $E_{\text{движ}}$ при различном числе вагонов m представлены на рис. 5.

В соответствии с представленными графиками:

a. Увеличение состава поезда m снижает расходы, приходящиеся на 1 вагон.

b. Изменение вида тяги на более легкую (зеленый на графиках) при малой массе брутто поездов приводит к экономии затрат, приходящихся на 1 вагон, однако использование двойной тяги увеличивает расходы на перевозку.

в. При равных затратах на продвижение (равной массе поезда брутто) рационально увеличивать составность легких (контейнерных) поездов.

Рассмотрим состав поезда из полуваагонов с нагрузкой на ось 25 тс для стандартной длины приемо-отправочного пути 1050 метров. Технические характеристики подвижного состава представлены в табл. 1. При длине состава вагонов 980 метров (с учетом поездного локомотива) масса состава:

Для полуваагонов модели 12-6995:

$$980/23,8 \text{ [ваг.]} \times (29,5+70) \text{ [т]} = 4080 \text{ [т].}$$

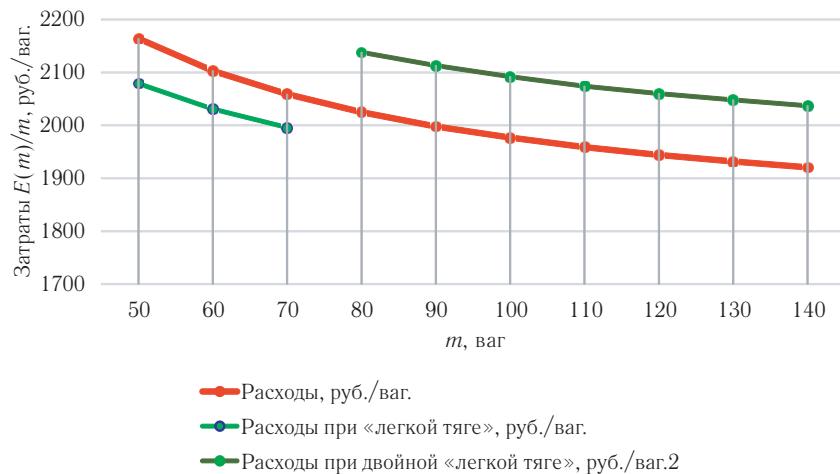


Рис. 4. Расходы, приходящиеся на 1 вагон 80 т в составе поезда, руб./ваг.

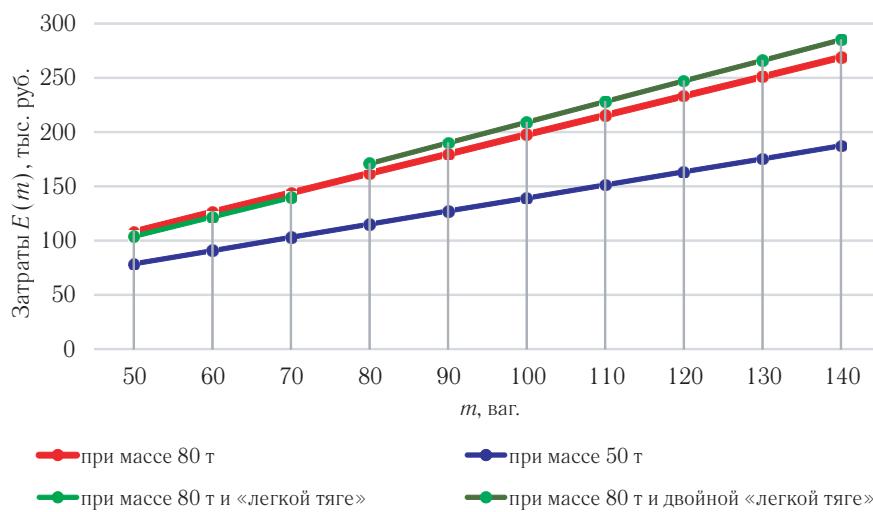


Рис. 5. Расходы на движение поезда $E_{\text{движ}}$ при различном числе вагонов m , руб./ваг.

Для полувагонов модели 12-6995:

$$980/16,88 \text{ [ваг.]} \times (32,5 + 117) \text{ [т]} = 8671 \text{ [т].}$$

С другой стороны, при тех же массах составов, длина поезда, состоящего из 40-футовых фитинговых платформ и 20-футовых контейнеров составит:

Для платформ модели 13-6726:

$$\frac{4080}{21,9 + 72} \times 25,47 = 1095 \text{ [м];}$$

$$\frac{8671}{21,9 + 72} \times 25,47 = 2343 \text{ [м].}$$

Для платформ модели 13-6704:

$$\frac{4080}{45 + 75} \times 26,63 = 906 \text{ [м];}$$

$$\frac{8671}{45 + 75} \times 26,63 = 1917 \text{ [м].}$$

Данные вычисления показывают, что при той же полезной длине приемоотправочных путей (1050 метров) возможно увеличение более чем в два раза массы поезда, сложенного из более вместительных полувагонов (таких, как модели 12-6877). Однако, при использовании единой тяги контейнерные поезда будут становиться до двух раз длиннее, что потребует более длинные приемоотправочные пути в парках приема и отправления поездов, а также в зависимости от схемы путевого развития и принятой технологии работы станции — удлинение вытяжек формирования.

С другой стороны, при формировании поезда по полезной длине приемоотправочных путей потребуется применение «тяжелых» и «легких» локомотивов соответственно для грузовых и контейнерных поездов, что приведет к увеличению затрат на содержание тягового хозяйства на линии.

Согласно данным Комиссии по торговле и развитию Организации Объединенных Наций, на морские перевозки приходится около 80% объема мировой

торговли, причем более 70% из них — на насыпные и контейнерные грузы [11]. Это связано с коренным изменением в номенклатуре перевозимых грузов в мировой экономике. Менее чем полвека назад навалочные и наливные грузы, такие как уголь, железная руда, нефть, или зерно были основными продуктами экспорта развивающихся стран в Западную Европу и Северную Америку. Такие факторы, как относительно невысокая стоимость оплаты труда, привлекающая компании сократить производственные расходы, улучшение транспортных технологий и логистики, позволяющие быстрее и дешевле перевозить товары на большие расстояния, позволяют развивающимся странам становиться крупными индустриальными центрами. К таким странам можно отнести Китай, Индию, или Южную Корею. Они вышли за пределы традиционной модели экономики, основанной на экспорте сырой продукции, и перешли к производству и экспорту товаров, например, электроники и фармацевтики, имеющих высокую добавленную стоимость.

Обзор Аналитического хаба Сбербанка отмечает, что доля контейнерных перевозок в торговле сухими грузами составляет 23% [12]. При этом флот контейнерных перевозок за прошедшие 20 лет увеличил свой тоннаж более чем в 3,5 раза в сравнении с флотом универсальных судов, при этом последний сократился на 20% с начала 2010-х годов. Кроме того, спрос на контейнерные перевозки продолжился даже в пандемийный период ввиду смещения потребительского спроса на промышленные товары, которые заказываются в интернет-магазинах и требуют физического производства и доставки.

По данным Союза операторов железнодорожного транспорта рост перевозок грузов в контейнерах продолжился — если за 12 месяцев 2022 года их доля в общей погрузке составляла 3,6%, то по итогам 12 месяцев 2023 года она составила 4,1% (+0,5 п.п.). При этом общие перевозки контейнеров на сети железных дорог в 2023 году достигли 7,4 млн

Таблица 1
Характеристики подвижного состава

Параметр	Полувагон 12-6995	Полувагон 12-6877 (сочлененного типа)	Платформа 13-6726	Платформа 13-6704
Масса тары, тонн	29,5	32,5	21,9	45
Грузоподъемность	70	117	72	75
Длина по осям сцепления автосцепок, м	23,8	16,88	25,47	26,36

«ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ С УВЕЛИЧЕННЫМ ТРАНЗИТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ»

ДФЭ (двадцатифутовый эквивалент) [13], а общий уровень контейнеризации в 2023 году на сети ОАО «РЖД» составил 6%; прогнозируемый в 2024 году – 6,6% [14].

Поэтому, для обеспечения роста перевозок и улучшения конкурентной среды с автомобильным и морским транспортом, железные дороги должны рассматривать контейнерные перевозки как перспективное направление для наращивания объемов перевозимого груза и развивать соответствующую инфраструктуру.

Таким образом, международные транзитные транспортные коридоры в перспективе должны быть ориентированы на универсальные контейнеры, используемые также на морском и автомобильном транспорте, что также обеспечит развитие мультимодальных или интермодальных грузовых перевозок. Для организации продвижения контейнерных поездов по транспортным коридорам железных дорог необходимо обеспечивать оснащение станций парками или отдельными путями увеличенной длины, позволяющими выполнять операции по приему, отправлению, формированию длинносоставных контейнерных поездов.

На рис. 6 представлен полигон Б-М с тремя параллельными ходами Б-А-Г-И-М, Б-Д-И-М и Б-В-З-Л-М и принятыми затратами на движение по участкам.

В табл. 2 представлены принятые при расчетах вагонопотоки, на основе которых был рассчитан план формирования одногруппных сквозных и участковых поездов на полигоне.

Расчет плана формирования выполнен в соответствии с расчетными вагонопотоками N_i по формуле (1).

Затраты на переработку вагона на станции приняты одинаковыми для всех станций ($E_{\text{тех.ст.}}^{б/н} = 20$ руб./ваг., $E_{\text{тех.ст.}}^{с/н} = 100$ руб./ваг.); затраты на накопление вагонов $E_{\text{нак}}$ определялись в соответствии с формулами (2) и (3). Стоимости на продвижение вагонов $E_{\text{движ}}$ приняты постоянными. Число вагонов в составе формируемого поезда на участке – 50 вагонов ($m_\phi = m_p = m_i = 50$). Первоначально принимается, что все станции участка накапливают поезда на все станции полигона, таким образом имея число накоплений $k = 10$, и рассчитывается параметр накопления C и стоимость накопления $E_{\text{нак}}$.

В результате расчета план формирования имеет стоимость 18012,88 тыс. руб. Наряду с этим вагонопотоки тяготеют к наиболее «дешевым» по затратам участкам.

Рассмотрим полигон на пропуск дополнительного (к расчетным мощностям табл. 2) транзитного вагонопотока мощностью 1740 ваг. из Б в М. Изучены два варианта:

- по схеме 1 с распределением транзитного вагонопотока по всем «коридорам» полигона равномерно

в соответствии со свободными мощностями участков (рис. 7,а);

- по схеме 2 с перераспределением транзитного вагонопотока по наиболее «дешевым» участкам Б-Д-И-М (рис. 7,б), вследствие чего существующие вагонопотоки перераспределяются на параллельные линии.

Стоимости планов формирования по схеме 1 и схеме 2 соответственно 25 891,558 тыс. руб. и 25 612,445 тыс. руб. При сравнении схемы 2 и схемы 1 происходит увеличение суммарной переработки вагонов по техническим станциям полигона на 100 вагонов по схеме 2 при уменьшении суммарных эксплуатационных затрат на 279 113 руб., или 1,08%.

Стоит отметить, что выделение транзитного вагонопотока на обособленное формирование (параметр накопления $k = 1$ и соответственно меньший простой под накоплением) и обособленную «пару» в пределах линии Б-Д-И-М (существующие вагонопотоки не перераспределяются) обеспечивает стоимость плана формирования 24209,828 тыс. руб., или 5,47% экономии в сравнении с вариантом по схеме 2.

Таким образом, наиболее выгодным вариантом пропуска транзитного вагонопотока является выделение его на обособленную линию.

При достаточной пропускной способности полигона целесообразно большой транзитный вагонопоток выделить на одну из существующих линий, а прочие вагонопотоки (которые не должны

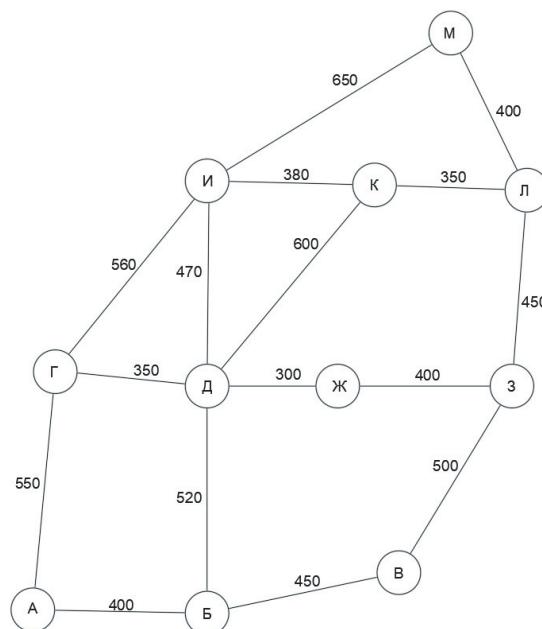


Рис. 6. Схема полигона с величиной $E_{\text{движ}}$ на участках

уменьшаться по условию) – на параллельные ходы. Необходимо проводить технико-экономическое сравнение для выбора лучшей из линий с учетом необходимых для увеличения их «проходимости» мероприятий.

При недостаточной пропускной и провозной способности для освоения транзитного вагонопотока и необходимом строительстве новой линии (или пары главных путей), целесообразно ориентировать ее на

транзитный вагонопоток. Используемый подвижной состав, такой как платформы с контейнерами, имеет иной характер движения. Прямая аналогия – это инфраструктура для пассажирского и грузового движения. Поэтому на транспортных коридорах вагонопоток, включающий преимущественно один вид подвижного состава, рационально выделять на отдельные линии со своими характеристиками плана и профиля пути перегонов, длины станционных путей.

Таблица 2

Расчетные вагонопотоки

	А	Б	В	Г	Д	Ж	З	И	К	Л	М
А	–	100	70	80	80	260	190	220	40	50	160
Б	180	–	290	280	260	90	130	60	300	190	170
В	300	190	–	290	200	190	60	100	70	290	50
Г	220	210	260	–	110	100	130	50	210	120	50
Д	160	180	30	280	–	240	180	30	270	40	290
Ж	180	260	170	250	220	–	210	160	150	70	180
З	190	30	130	180	220	60	–	190	100	70	190
И	70	80	240	80	210	70	50	–	290	250	180
К	120	270	260	190	100	180	200	110	–	30	120
Л	200	70	170	210	30	270	200	200	230	–	170
М	60	120	100	110	80	70	130	260	170	210	–

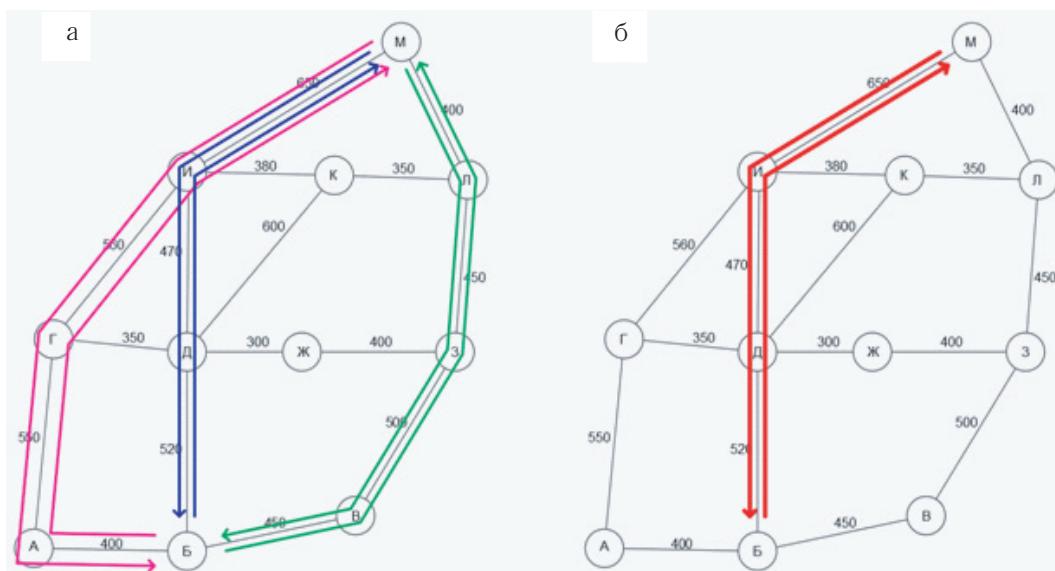


Рис. 7. а – схема 1 с распределением вагонопотока по всем линиям полигона; б – схема 2 с выделением транзитного коридора на наиболее «дешевой» линии

Заключение

С увеличением транзитного вагонопотока требуется изменение «архитектуры» железнодорожных сетей ввиду изменения роли участков и технических станций, находящихся на международном транспортном коридоре и параллельных линиях.

1. Наибольшая доля в обороте вагона без учета погрузочно-выгрузочных операций приходится на простой вагонов на технических станциях. Он составляет более 60 % от общего времени нахождения вагона без учета простоя на начальных и конечных грузовых станциях. При этом в последние годы наблюдается повышение времени нахождения вагонов в движении, что можно связывать с увеличением «окружных» маршрутов движения грузовых поездов.

2. Международные транзитные транспортные коридоры должны быть ориентированы на универсальные контейнеры, которые используются на морском и автомобильном транспорте.

3. Для организации перевозок на транспортном коридоре необходимо организовывать парки с путями повышенной длины для формирования длинносоставных контейнерных поездов.

4. Транзитный участок полигона, формирующего транспортный коридор, рекомендуется создавать на выделенной линии. Рассмотренный план формирования одногруппных поездов показал снижение эксплуатационных расходов на 1,08%, а при накоплении транзитного вагонопотока раздельно и пропуске поездов на выделенных путях — на 5,47%. Это подтверждает целесообразность выделения обособленных линий для транспортных коридоров, где применяется преимущественно один вид подвижного состава. 

Литература

1. Иванов-Толмачев, И. А. Перспективы железных дорог России в условиях развития пассажирского движения и грузовых транспортных коридоров / И. А. Иванов-Толмачев, Е. В. Щербинина, К. С. Яникеев. - Текст : непосредственный // Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. - Москва : Российский университет транспорта, 2021. - С. 161-164. - DOI 10.47581/2022/Obrazcov.22. - EDN: KJDTCH.
2. Егоров, В. Г. Северный морской путь: российская дорога в будущее / В. Г. Егоров, Н. В. Лопаткина. - Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. - 2019. - № 5. - С. 236-246. - EDN: IAGBZA.
3. Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 сентября 2018 года № 2101-р. - Москва, 2018. - 63 с. - Текст : непосредственный.
4. Иванов-Толмачев, И. А. Анализ сортировочных станций на международном транспортном коридоре «Запад–Восток», применение сортировочно-группировочных устройств / И. А. Иванов-Толмачев, Е. В. Щербинина, К. С. Яникеев. - Текст : непосредственный // Кочневские чтения - 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II-й Международной научно-практической конференции, Москва, 19-20 апреля 2023 года. - Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. - С. 123-128. - EDN: BSMWIE.
5. Бородин, А. Ф. Обеспечение непрерывности перевозок и преемственности в процессах планирования и оперативного управления эксплуатационной работой / А. Ф. Бородин. - Текст : непосредственный // Кочневские чтения - 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II-й Международной научно-практической конференции, Москва, 19-20 апреля 2023 года. - Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. - С. 18-26. - EDN: OVQJNC.
6. Об утверждении Порядка мониторинга обеспечения железнодорожным подвижным составом грузовладельцев и использования железнодорожного подвижного состава участниками перевозочного процесса и Методики оценки эффективности использования железнодорожного подвижного состава : Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 05.05.2012 № 136. - Текст : электронный // Российская газета. - 2012. - № 200 [сайт]. - URL: <https://rg.ru/documents/2012/08/31/jeldoroga-dok.html?ysclid=m6-owq7uhrs500933784> (дата обращения: 03.02.2015).
7. РЖД в цифрах. Показатели деятельности. - Текст : электронный // ОАО «РЖД» : официальный сайт. - URL: <https://company.rzd.ru/gu/9377%20> (дата обращения: 01.05.2024).

8. Методические подходы к организации перевозочного процесса на основе технико-технологических параметров / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. С. Максимова, Е. А. Лаханкин. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2023. - № 1(76). - С. 33-36. - DOI 10.20291/1815-9400-2023-1-33-36. - EDN: UPCRGA.
9. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД». - Москва : Техинформ, 2007. - 528 с. - Текст : непосредственный.
10. Бородин, А. Ф. Организация вагонопотоков : учебное пособие по дисциплине «Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок» для студентов специальности 190701 «Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожный транспорт)» / А. Ф. Бородин, А. П. Батурина, В. В. Панин ; Московский гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ), Каф. «Упр. эксплуатационной работой». - Москва : МИИТ, 2008. - 192 с. - Текст : непосредственный.
11. Реконфигурация географии торговли и цепочек поставок: последствия для торговли, глобальных цепочек создания стоимости и морского транспорта / Совет по торговле и развитию. Комиссия по торговле и развитию. Тринадцатая сессия. - Текст : электронный // Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию. - Женева : 21-25 ноября 2022 года. - URL: https://unctad.org/system/files/official-document/cid54_ru.pdf (дата обращения: 31.05.2024).
12. В поисках баланса. Как развиваются контейнерные перевозки в России и мире. - Текст : электронный // СберПро Медиа [сайт] - 2024. - URL: <https://sber.pro/publication/v-poiskah-balansa-kak-razvivayutsya-konteynerne-perevozki-v-rossii-i-mire/?ysclid=lw4wu1tvwk264894142> (дата обращения: 02.05.2024).
13. ОАО «РЖД» подвело итоги деятельности за 2023 год. - Текст : электронный // ОАО «РЖД» : официальный сайт. - 2024. - URL: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=291687&ysclid=lvpapuxrci324840303> (дата обращения: 02.04.2024).
14. Рост контейнеризации не остановить. - Текст : электронный // РЖДПартнер.ру [сайт]. - 2024. - URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/rost-konteynerizatsii-ne-ostanovit/> (дата обращения: 02.04.2024).

АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МГНОВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Характер зависимости коэффициента трения от скорости движения, выявленный ранее, при новом рассмотрении проявляет иные черты. В ходе работы выполняется анализ параметров, от которых зависит его мгновенное значение, проводится сравнение с характеристикой для дискового тормоза.

Ключевые слова: вагон, тормозная система, тормозная колодка, коэффициент трения

EDN: FZYWW

Ранее в работе [1] было показано, что зависимость коэффициента трения колодки по поверхности колеса от начальной скорости торможения имеет вид, характерный для кривой Герси-Штрибека. Этот факт подтверждается целым рядом работ, например, [4;7]. Данный факт объясняется тем, что на поверхности трения при торможении композиционной колодкой образуется тонкая пленка расплавленного материала, что приводит к появлению гидродинамического трения. Однако, для чугунных колодок факт изменения коэффициента трения авторами объясняется тем, что колодка является более жесткой, в связи с чем «перелетает» через неровности колеса, изменяя мгновенное значение коэффициента до нуля, а с увеличением скорости движения (как следствие, и угловой скорости колеса) колодка больше времени проводит «в воздухе».

Данный факт, в свою очередь, не подтверждается исследованиями, проведенными независимыми командами ученых из России и иных стран (например, Индии [10]). Так, приведенные в работе [1] графики

(примеры — см. рис. 1,2) хоть и показывают снижение коэффициента трения в зависимости от начальной скорости торможения, однако заметно, что, следуя зависимости Герси-Штрибека, наблюдается гидродинамическое трение материалов, при котором происходят процессы, более характерные для подшипника скольжения: первоначальное падение коэффициента трения при торможении со скоростей 80 и 120 км/ч сменяется его относительно стабильным значением в диапазоне 70–35 км/ч в первом случае и 90–50 км/ч во втором и дальнейшим его ростом. В ряде случаев также возможно заметить тот факт, что на малых скоростях при остыании чугунной колодки данный параметр начинает снова снижаться.

Поскольку твердость цельнокатаного колеса согласно ГОСТ 10791-2011 составляет не менее 255 НВ, а твердость вагонных тормозных колодок типов С и Р согласно ГОСТ 33695-2015 составляет (197–255) НВ и (197–285) НВ соответственно, то с учетом усилия нажатия на колодку 2,5 тс можно



А.О. Петров

Петров Антон Олегович, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), ведущий инженер-проектировщик ООО «КСК», предприятие «Тормозные системы». Область научных интересов: тормозные системы, трибология, вагоностроение, технология конструкционных материалов, пневматика. Автор 12 научных работ. Имеет четыре патента на изобретения.

предположить, что при высоких температурах в зоне контакта происходит не «перепрыгивание», а срезание неровности колодкой либо внедрение материала неровности в материал колодки, как это происходит в случае с более мягкими композиционными. Данные выводы следуют, исходя из того, что размеры выпуклых неровностей на поверхности колеса чаще всего

относительно небольшие (кроме случаев с наварами и ползунами) и представляют из себя различные включения посторонних материалов. Анализ данных включений позволяет судить, что чаще всего это либо задранные частицы основного материала колеса, либо гораздо более твердые частицы песка (7 баллов по шкале Мооса, что примерно может соответствовать

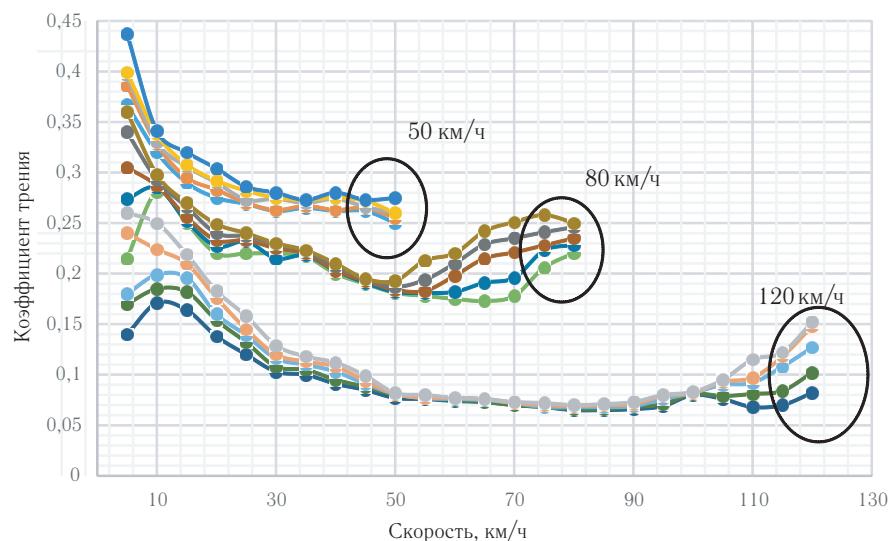


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения чугунных тормозных колодок от скорости движения с указанием начальных скоростей торможения при усилии нажатия 2,5 тс

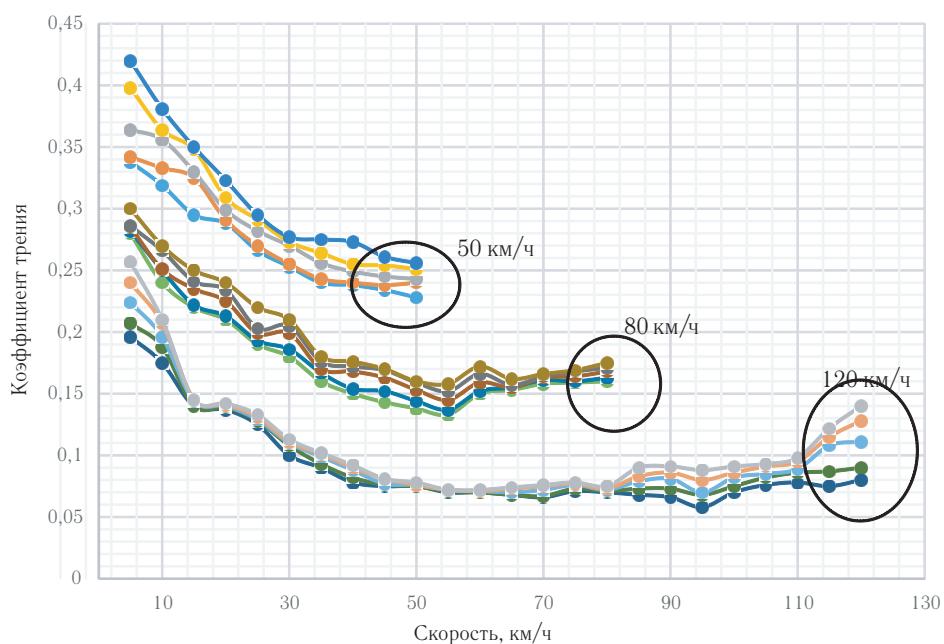


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения чугунных тормозных колодок от скорости движения с указанием начальных скоростей торможения при усилии нажатия 3,5 тс

«АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МГНОВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»

вать значению более 600 НВ), либо продукты износа колодки. Их площадь относительно общей площади контакта чаще всего несоизмеримо мала, что позволяет пренебречь вносимым им вкладом в процесс.

Более вероятным выглядит тот факт, что при высоких температурах на поверхности контакта происходит обезуглероживание поверхности колодки. Поскольку колодка прижимается к поверхности катания со значительным усилием, выходящий с ее поверхности углерод не может мгновенно покинуть зону контакта, в связи с чем между колодкой и колесом возникает тонкая пленка жидкого графита, которая, в свою очередь, снижает трение.

При анализе графика, представленного на рис. 1, и обращаясь к исследованию [3], очевидно следующее:

- при начальной скорости 50 км/ч: жидкостное трение отсутствует либо практически отсутствует, на промежутке 50–10 км/ч наблюдается смешанное трение, затем граничное;
- при начальной скорости 80 км/ч: жидкостное трение наблюдается на промежутке 80–55 км/ч, на промежутке 55–10 км/ч наблюдается смешанное трение, затем граничное;
- при начальной скорости 120 км/ч: жидкостное трение наблюдается на промежутке 120–100 км/ч, на промежутке 100–10 км/ч наблюдается смешанное трение, затем граничное.

Исходя из данных наблюдений можно сделать вывод, что при усилии нажатия на колодку 2,5 тс на скорости 10 км/ч и ниже реализуется механизм граничного трения. То же наблюдается и на графике, представленном на рис. 2 при усилии нажатия на колодку 3,5 тс, однако скорость сдвигается от значения 10 до 15 км/ч, а остальные выводы выглядят справедливыми.

Для дальнейшего рассмотрения зависимости коэффициента трения от скорости следует обратиться к работе [3], где выведено следующее уравнение, описывающее кривые Герси-Штрибека:

$$f(v) = (f_0 + bv)^{-cv} + \frac{\eta v}{ph}, \quad (1)$$

где f – значение коэффициента трения;

f_0 – значение коэффициента трения покоя для пары трения;

b – степень схватывания смазочного материала, с/м;

v – скорость относительного перемещения трущихся тел, м/с;

c – константа, характеризующая способность смазки адаптироваться к нагрузкам;

η – вязкость смазочного материала, Н·с/м²;

p – давление на поверхность трения, Н/м²;

h – толщина граничного слоя, м.

Известно [11], что вязкость определяется уравнением Френкеля-Андраде:

$$\eta(T) = Ae^{kT}, \quad (2)$$

где A – коэффициент, зависящий от дальности скачка молекулы вещества, частоты ее колебаний и температуры;

k – постоянная Больцмана,

$k = 1,380649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T – абсолютная температура, К.

Таким образом, очевидна зависимость коэффициента трения не только от скорости вращения колеса, но и от температуры поверхности контакта, причем обе зависимости являются показательными функциями. Принимая во внимание тот факт, что коэффициент трения покоя f_0 , константа c в процессе торможения не изменяются, скорость v и соответствующие ей мгновенные значения коэффициента трения f известны, интерес для исследования представляют законы изменения степени схватывания b , толщины граничного слоя h и температуры T в процессе трения. При этом стоит понимать, что давление p , зависящее от величины нажатия на колодку, является переменной, поскольку первоначально уходит некоторое время на наполнение тормозного цилиндра воздухом и выбирание зазоров в элементах тормозной рычажной передачи (переходный процесс). В связи с тем, что время это должно составлять не более 15 с [2], хотя фактически это происходит за несколько более длительный промежуток времени – порядка 30 с [2], а весь процесс торможения, например, для грузового поезда со скорости 90 до 0 км/ч может занимать всего 70 с, промежуток даже в 15 с является довольно значительным. Следовательно, коэффициент трения является функцией многих переменных:

$$f = f(b, h, p, T, v). \quad (3)$$

Принимая изменение толщины граничного слоя в процессе трения пренебрежимо малым, получим:

$$f = f(b, p, T, v). \quad (4)$$

Поскольку определение величины давления p известной модели колодки на колесо не представляет сложности, для решения (4) необходимо выразить уравнения нахождения переменных b и T .

В работе [8] показано, что при торможении с максимальной скорости тепловой поток в колодку некоторое время увеличивается по параболической тра-

ектории (сопоставляя время, которое занимает рост теплового потока со временем применения тормоза, нетрудно видеть, что это и есть тот самый переходный процесс, описанный выше), затем наступает момент остановки, после которого по параболической же траектории происходит его снижение до 0 в момент остановки поезда. Для всего описанного характерна следующая зависимость приращения поверхностной температуры [8]:

$$\vartheta(0, F_{0,1}) - \vartheta_0 = \frac{q_{1,1} h_1}{\lambda_1} \theta_1(0, F_0). \quad (5)$$

По итогу исследования информации, представленной выше, становится очевидным тот факт, что построение достоверной математической модели вычисления коэффициента трения для колодочного тормоза является в первую очередь задачей термодинамической, а не механической, поскольку температурный фактор является одним из наиболее значимых в процессе торможения. При этом, для получения достоверных значений требуется знать множество абсолютно случайных параметров, которые вносят довольно значительное влияние на значение коэффициента, как, например, степень изношенности тормозной колодки, степень изношенности поверхности катания колеса, наличие на поверхности катания различных дефектов, наличие дефектов в теле тормозной колодки, время полного применения тормоза на конкретном вагоне и т.д. Все это в совокупности приводит к тому, что решение данной задачи практического применения не имеет и может представлять собой сугубо научный интерес.

Имея в наличии столь значительное количество разнообразных непредсказуемых факторов, влия-

ющих на процесс, в рамках настоящего исследования представляется интересным рассмотреть аналогичные зависимости $f(v)$ для дискового тормоза. Одним из важнейших декларируемых преимуществ такой системы является относительная стабильность коэффициента трения в широком диапазоне значений тормозного усилия, температур, влажности и начальной скорости торможения. Это обуславливается лучшим обдувом поверхностей трения, а также конструкцией тормозных накладок, в которой, как правило, присутствует куда большее количество канавок для отвода влаги и частиц, возникающих в процессе трения, чем у колодочного тормоза. Так, при исследовании коэффициента трения тормозных накладок производства ICER (входит в группу компаний KNORR-BREMSE) моделей ICER PROPAD P16 и ICER 203 на электропоезде ЭС1П-019, проведенном 05.02.2020 г.; ICER PROPAD P16, Becorit 984 (KNORR-BREMSE), UD102 (ООО «УралАТИ») в рамках комплексных испытаний, проведенных в 2019 г.; а также ряда собственных испытаний компании KNORR-BREMSE, были получены графики, представленные на рис. 3–17.

Очевидно, что подобный характер кривой обеспечивает более стабильную и, как следствие, более прогнозируемую работу тормоза во всем диапазоне нажатий. Таким образом, с технической точки зрения видится перспективным перевооружение всего вагонного парка системой дискового тормоза взамен колодочного. Это позволит повысить эффективность тормозной системы (особенно на скоростных поездах), уйти от многих дефектов колесных пар, вызванных трением и присущим ему нагревом [5;6], и, вероятно, повысит итоговую надежность системы за счет увеличения количества исполнительных механизмов.

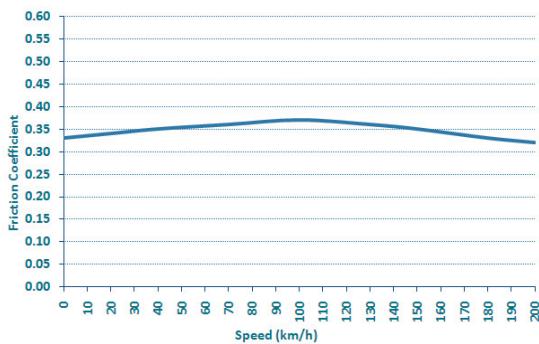


Рис. 3. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости при нажатии 20–55 Н/см² и предварительной температуре нагрева трущихся поверхностей до 50°C (ICER PROPAD P16)

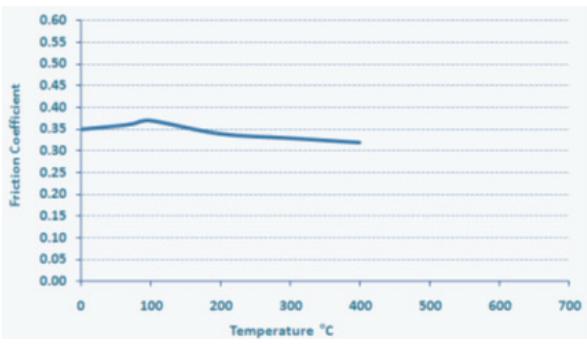


Рис. 4. Усредненная зависимость коэффициента трения от температуры при скорости движения 15 м/с и нажатии 20–55 Н/см² (ICER PROPAD P16)

«АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МГНОВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»

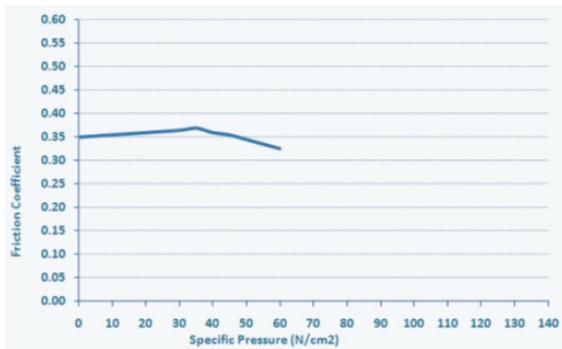


Рис. 5. Усредненная зависимость коэффициента трения от усилия нажатия при скорости движения 15 м/с и предварительной температуре нагрева трущихся поверхностей до 50°C (ICER PROPAD P16)

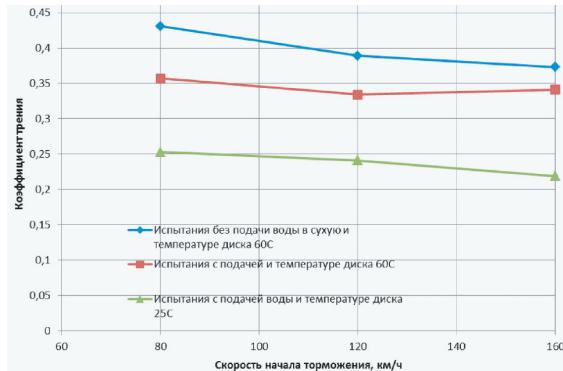


Рис. 6. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 16 кН и нагрузке на диск 5300 кгс (Becorit 984)

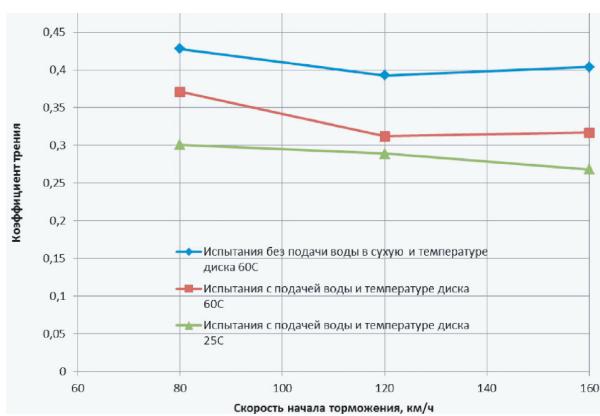


Рис. 7. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 38 кН и нагрузке на диск 5300 кгс (Becorit 984)

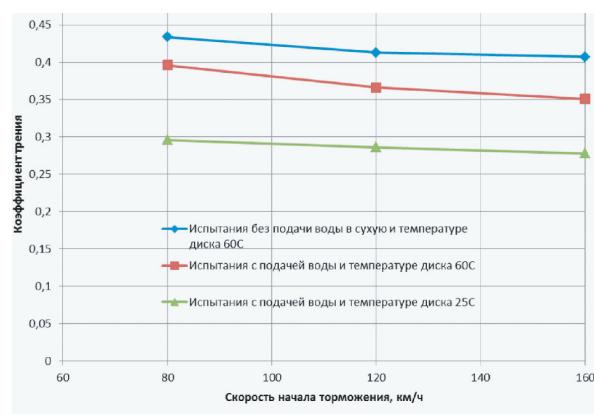


Рис. 8. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 16 кН и нагрузке на диск 2560 кгс (Becorit 984)

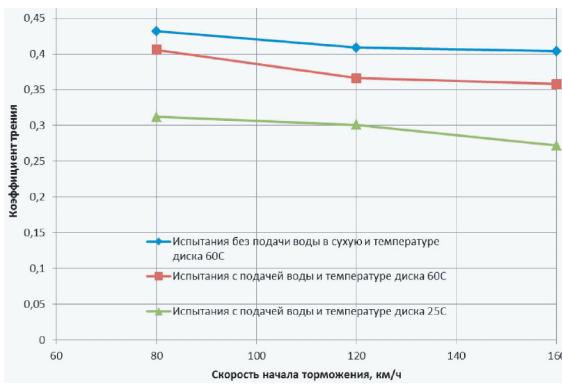


Рис. 9. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 38 кН и нагрузке на диск 2560 кгс (Becorit 984)

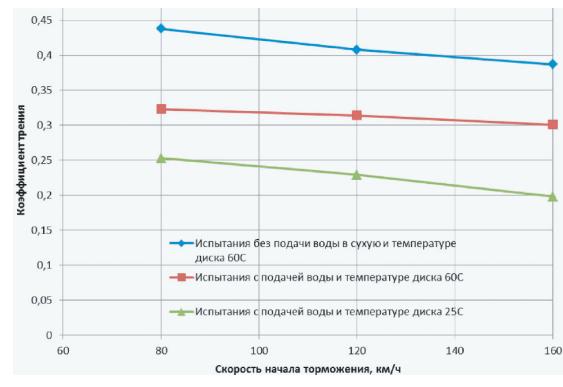


Рис. 10. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 16 кН и нагрузке на диск 5300 кгс (ICER PROPAD P16)

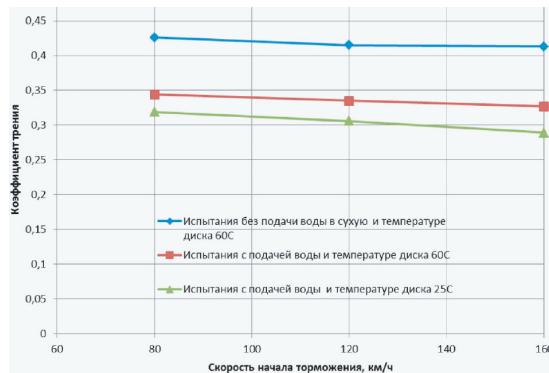


Рис. 11. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 38 кН и нагрузке на диск 5300 кгс (ICER PROPAD P16)

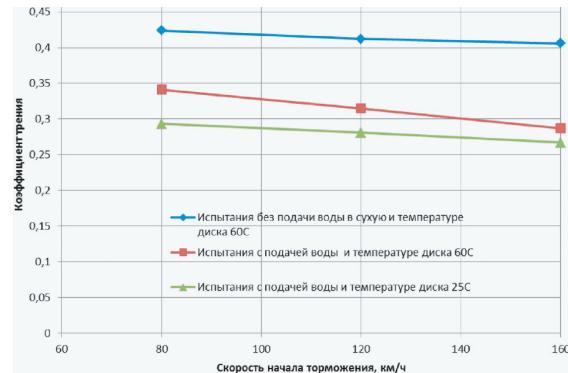


Рис. 12. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 16 кН и нагрузке на диск 2560 кгс (ICER PROPAD P16)

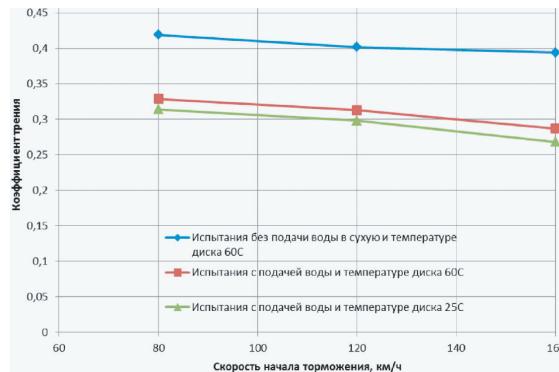


Рис. 13. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 38 кН и нагрузке на диск 2560 кгс (ICER PROPAD P16)

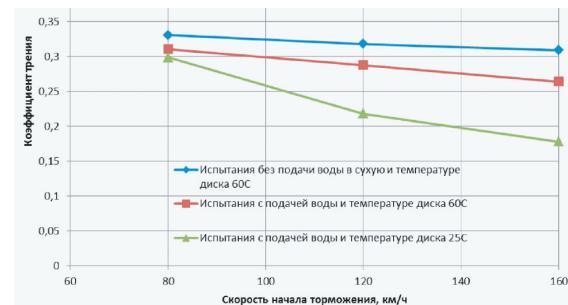


Рис. 14. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 16 кН и нагрузке на диск 5300 кгс (UD 102)

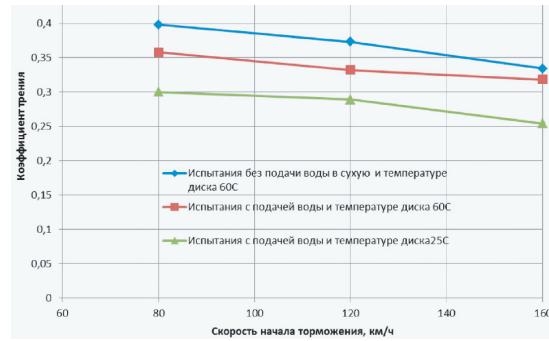


Рис. 15. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 38 кН и нагрузке на диск 5300 кгс (UD 102)

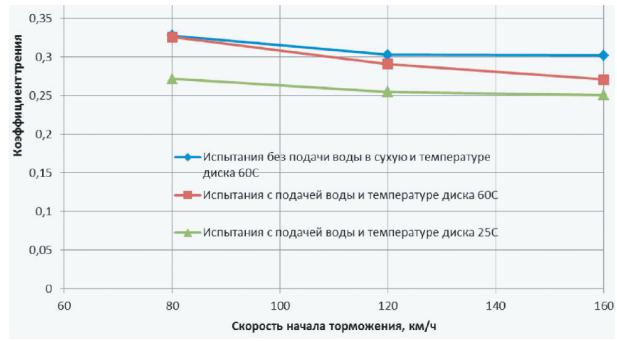


Рис. 16. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 16 кН и нагрузке на диск 2560 кгс (UD 102)

«АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МГНОВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА»

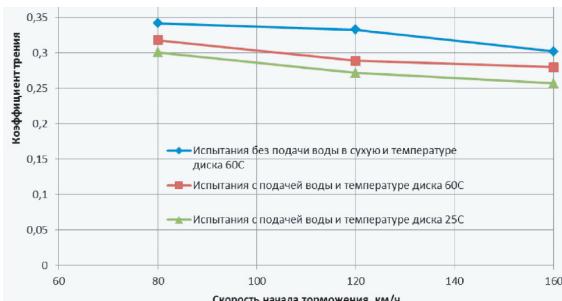


Рис. 17. Усредненная зависимость коэффициента трения от скорости начала торможения при усилии нажатия 38 кН и нагрузке на диск 2560 кгс (UD 102)

Перечисленные выше факты выглядят крайне привлекательными для разработки современных контейнерных вагонов-платформ, поскольку данный тип перевозок переживает бурный рост — за 2023 год было перевезено более 7,4 млн ДФЭ (двадцатифутовый эквивалент) [12], что на 12,3% больше, чем в 2021 году и практически в два раза больше, чем в 2017 году. Имея в виду эти факты, видится логичным перспективное повышение скорости движения контейнерных поездов с целью увеличения общего грузопотока. В качестве одного из характерных примеров можно рассмотреть патент №2680029 [9], в котором представлена такая система для грузовой тележки жесткой штампосварной незамкнутой конструкции.

С другой же стороны, повсеместное внедрение новой системы существенно усложнит конструкцию отдельных вагонов, потребует затрат на НИОКР по переводу каждой отдельной модели вагонов, увеличит их стоимость, а также вызовет необходимость проведения технического перевооружения ремонтных и эксплуатационных депо, а также ряда вагоноремонтных заводов. Также остается неисследованным вопрос касаемо установки дискового тормоза на типовой грузовой тележке литой конструкции, имеющей, в числе прочих недостатков, нежесткую раму.

Выводы

- Расчет мгновенного значения коэффициента трения для колодочного тормоза является задачей, в первую очередь, термодинамической и лишь во вторую механической.
- Расчет мгновенного значения коэффициента трения для колодочного тормоза имеет значительную погрешность, поскольку присутствует целый ряд абсолютно случайных факторов, связанных с износом трущихся частей.
- Дисковый тормоз обладает значительно более стабильным коэффициентом трения, однако повсеместное его внедрение на текущем этапе нецелесообразно.
- Выглядит интересным проведение НИОКР по внедрению системы дискового тормоза на современных типовых грузовых тележках, а также на тележках перспективных конструкций, применяющихся при перевозке крупнотоннажных контейнеров.



Литература

- Петров, А. О. Анализ эмпирических зависимостей коэффициента трения от скорости движения подвижного состава / А. О. Петров. - Текст : непосредственный // Сборник статей X международной научно-практической конференции «Актуальные исследования и инновации в науке и технике», Москва, 18 марта 2023 года. - Москва : Международный научно-издательский центр «Твоя наука», 2023. - С. 99-109.
- Галай, Э. И. Композиционные тормозные колодки со вставками из специального чугуна / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай. - Текст : непосредственный // Механика. Исследования и инновации. - 2019. - №12. - С. 41-47.
- Дамдинов, Б. Б. Исследования коэффициента трения. Вывод аналитического уравнения диаграммы Герси-Штрибека / Б. Б. Дамдинов, Ч. М. Митыпов. - Текст : непосредственный // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. - 2022. - Т. 15, № 7. - С. 835-849.
- Марков, Д. П. Моделирование взаимодействия тормозных колодок с колесами подвижного состава на машинах трения / Д. П. Марков, И. Н. Воронин, В. И. Маршев. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2012. - № 2. - С. 42-45.
- Ефимов, Р. А. Оценка тепловых нагрузений цельнокатаного колеса вагона при торможении : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ефимов Роман Александрович; Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). - Москва, 2017. - 196 с. - Текст : непосредственный.

6. Петров, А. О. Перспективы развития механической части тормозов вагонов с учетом влияния тепловых процессов на повреждаемость колесных пар / А. О. Петров. - Текст : непосредственный // Железная дорога: путь в будущее: сборник материалов I Международной научной конференции аспирантов и молодых ученых, Москва, 28-29 апреля 2022 года. - Москва : Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 2022. - С. 110-113.
7. Работоспособность чугунных тормозных колодок из фосфористого чугуна на электропоездах / И. А. Жаров, И. Н. Воронин, С. Б. Курцев, А. А. Кренделев. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2013. - № 3. - С. 55-60.
8. Галай, Э. И. Тепловой расчет фрикционных узлов тормоза грузовых вагонов / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай. - Текст : непосредственный // Механика. Исследования и инновации. - 2018. - № 11. - С. 31-40.
9. Патент № 2680029 C1 Российская Федерация, МПК B61F 3/08, B61H 5/00, F16D 55/225. Тормозная система тележки грузового вагона : № 2017135525 : заявл. 05.10.2017 : опубл. 14.02.2019 / Гущин П. А., Ковин Д. В., Петров А. О., Подлесников Я. Д. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» РУТ(МИИТ). - 8 с.: ил. - Текст : непосредственный.
10. Vineesh, K. Analyses of Temperatures in Locomotive Wheels Fitted with Cast iron and Composite Brake Blocks/ Vineesh, K., Vakkalagadda, M., Srivastava, D., Misra, A., Racherla, V. // Indian National Conference on Applied Mechanics. - IIT, Delhi, India, 13-15 July 2015.
11. Andrade E.N. da C. A Theory of the Viscosity of Liquids - Part 1 // Phil. Mag. 1934. V. 17. P. 497.
12. Контейнерные перевозки. Грузовые перевозки [сайт]. - URL: <https://cargo.rzd.ru/gu/11702> (дата обращения: 10.06.2023 г.). - Текст : электронный.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ПАССАЖИРОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛЖСКОГО

Рассматриваются вопросы проведения государственного контроля деятельности по перевозке пассажиров автобусами. Целью является оценка эффективности государственного контроля. Приводятся результаты проверок деятельности предприятий-перевозчиков и индивидуальных предпринимателей, касающихся безопасности дорожного движения при перевозке пассажиров на регулярных маршрутах города Волжского. Даны предложения по дальнейшему улучшению ситуации.



Г.А. Чернова



А.В. Попов

Ключевые слова: маршрутная сеть, автобусы, безопасность движения, государственный контроль

EDN: MYCHJR

Местные органы власти, как заказчики пассажирских перевозок, совместно с перевозчиками должны обеспечить безопасность перевозки пассажиров общественным транспортом (ОТ) [1]. Одной из важнейших составляющих в организации перевозок является контроль перевозочного процесса: выполнения расписания движения автобусов на маршруте (регулярности), соблюдения требований безопасности.

Требования к услугам общественного транспорта в организации перевозок пассажиров определяют основные федеральные законы: Федеральный закон

№ 196-ФЗ от 10.12.1995 г. «О безопасности дорожного движения» [2], Федеральный закон № 131-ФЗ от 06.10.2003 г. «Об общих принципах организации местного самоуправления в РФ» [3], Федеральный закон № 220-ФЗ от 13.07.2015 г. «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [4].

Перевозка пассажиров на регулярных маршрутах по регулируемым тарифам в городе Волжском осу-

Чернова Галина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), профессор Российской академии естествознания (РАЕ). Область научных интересов: разработка методики формирования оптимальной городской сети общественного пассажирского транспорта. Автор 294 научных работ, в том числе 11 монографий.

Попов Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт» Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ). Область научных интересов: повышение безопасности на городских дорогах, улучшение транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог. Автор 142 научных работ, в том числе пяти монографий. Имеет один патент на изобретение.

Великанова Марина Владимировна, доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ). Область научных интересов: методика моделирования безопасной работы остановочных пунктов. Автор 72 научных работ, в том числе пяти монографий.

Костин Василий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по учебной работе, и.о. заведующего кафедрой «Автомобильный транспорт» Волжского политехнического института – филиала Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ). Область научных интересов: применение вихревого эффекта в технике, в частности в системах кондиционирования и терmostатирования. Автор 214 научных работ, в том числе двух монографий. Имеет семь патентов на изобретения.

ществляет МУП «Волжская А/К №1732» на автобусах большой и средней вместимости. Перевозка пассажиров на регулярных маршрутах по нерегулируемым тарифам осуществляется с 1998 года юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями [5].

Частные перевозки пассажиров на общественном транспорте ведут свою деятельность на основании лицензии, выданной федеральным органом исполнительной власти – территориальным подразделением государственного автодорожного надзора МТУ Ространснадзора согласно Постановлению Правительства от 7 октября 2020 г. №1616 «О лицензировании деятельности по перевозкам пассажиров и иных лиц автобусами» [6] и Федеральному закону №99-ФЗ от 04.05.2011г. «О лицензировании отдельных видов деятельности» [7]. Во исполнение требований Федерального закона №220-ФЗ на основании Документа планирования регулярных перевозок проведена оптимизация маршрутной сети на регулярных маршрутах по нерегулируемым тарифам города Волжского. В 2016 году на 25 маршрутах работали 518 автобусов, в 2023 году на 11 маршрутах работают 312 автобусов (табл.1). Общее количество лицензиатов, которые открыли свою деятельность начиная с 1998 года, составляет 366 [8;9].

Маршрутные схемы маршрутной сети города в разные периоды представлены на рис. 1–3.

МУП «Волжская автоколонна №1732» осуществляет перевозки на автобусах большой и средней вместимости – «Волгабас-4298», «Волгабас-5270G2», «Волгабас-5270GH», «ЛиАЗ-529222», «Волгабас-5270», «Волгабас-6270».

Перевозку пассажиров на регулярных маршрутах по нерегулируемым тарифам на 2023 год осуществляет 39 ИП и ЮЛ, имеющих лицензии на перево-

зочную деятельность, на 312 автобусах различных моделей – ГАЗель NEXT, Ford Transit, RENAULT MASTER, ГАЗ-322132, Мерседес-Бенц-223237, Луидор-225000.

Согласно Федеральному закону №248-ФЗ от 31.07.2020 г. «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» [10] государственный контроль направлен на предупреждение, выявление и пресечение нарушений обязательных требований. Государственный контроль на автомобильном транспорте осуществляется на основании Положения, утвержденного Постановлением Правительства РФ №1043 от 29.06.2021 г. «О федеральном государственном контроле (надзоре) на автомобильном транспорте, городском наземном электрическом транспорте и в дорожном хозяйстве» [11], Федеральной службой по надзору в сфере транспорта (Госавтодорнадзор). Государственный контроль в области безопасности дорожного движения осуществляется на основании Положения, утвержденного Постановлением Правительства РФ №1101 от 30.06.2021 г. «Об утверждении Положения о федеральном государственном контроле (надзоре) в области безопасности дорожного движения» [12], Министерством внутренних дел (Госавтоинспекция).

В целях оптимизации проведения контрольных мероприятий Федеральной службой по надзору в сфере транспорта используются проверочные листы, утвержденные приказом №ВБ-1069фс от 29.12.2021 г. [13].

Территориальный отдел государственного автодорожного надзора по Волгоградской области и Госавтоинспекция МВД регулярно проводят контрольные мероприятия, целью которых является выявление нарушений при оказании услуг по пере-

Таблица 1

Изменение количества маршрутов и транспорта по годам

Муниципальные маршруты	2005–2018 годы		2019 год		2023 год	
	Количество маршрутов и автобусов по реестру					
	маршрутов	автобусов	маршрутов	автобусов	маршрутов	автобусов
BAK №1732:	21	157	20	175	20	225
Основные	10	149	10	165	10	211
Сезонные	6	6	6	9	6	9
Рабочие	5	2	4	4	4	6
Трамвай	7	36	7	36	7	36
ИП, ЮЛ	25	518	16	369	11	312

Г.А. Чернова, А.В. Попов, М.В. Великанова, В.Е. Костин
 «ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ПАССАЖИРОВ
 АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛЖСКОГО»

возке пассажиров перевозчиками всех форм собственности.

В период с 2005 по 2012 годы в городе Волжском контролирующими органами было произведено 1235 контрольных мероприятий организации перевозок пассажиров на автобусах малой вместимости частными перевозчиками [14]. Количество нарушений с 499 в 2005 году уменьшилось до 178 в 2012

году. Количество актов с 135 уменьшилось до 98. Уменьшилось удельное количество нарушений с 3,7 до 1,8 (табл. 2).

За период 2018–2023 годы количество нарушений с 230 уменьшилось до 68, количество актов со 171 уменьшилось до 60. Уменьшилось удельное количество нарушений с 1,34 до 1,13 (табл. 3).

Таблица 2

Сводная таблица нарушений за 2005–2012 годы

Вид нарушения	Количество нарушений по годам							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<i>I</i>	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Обеспечение надежности водителей								
Нарушение режима труда и отдыха водителя	7	9	9	5	7	4	8	4
Отсутствие полиса ОСАГО	–	4	3	–	1	–	3	2
Отсутствие трудового договора	23	67	39	22	37	7	18	29
Отсутствие подписи медработника	7	5	10	12	26	7	15	13
2. Обеспечение эксплуатации ТС в технически исправном состоянии								
Нарушения в оформление путевого листа	77	44	39	27	42	17	25	20
Отсутствие путевого листа	–	–	–	–	10	6	9	3
Отсутствие подписи механика	23	8	19	23	26	5	24	12
Отсутствие показаний спидометра	7	3	6	39	51	11	13	12
Отсутствие талона ГТО, договора на ТО	3	2	1	3	4	–	6	3
Отсутствие лицензионной карточки, лицензии	73	7	14	7	42	7	10	4
Отсутствие сертификата на ГБО	13	56	20	17	39	4	7	5
Изменение конструкции ТС	20	29	20	9	7	1	5	6
Отсутствие договора аренды	–	–	–	–	10	4	12	2
3. Обеспечение безопасности при организации пассажирских перевозок								
Отсутствие паспорта маршрута и графика движения	24	12	2	–	2	1	5	2
Отсутствие схемы опасных участков	34	14	14	17	33	10	12	14
Отсутствие сводного расписания	19	17	17	30	33	13	12	8
Нарушение маршрута	2	7	4	–	–	1	3	2
Отсутствие медицинской аптечки	15	14	11	3	–	1	8	5
Отсутствие огнетушителей	12	5	10	3	5	3	5	3
Отсутствие знака аварийной остановки	5	1	1	–	–	1	3	2

Табл. 2. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Отсутствие молоточков для разбивания стекол	11	3	6	3	1	—	1	3
Заблокирован или не открывается аварийный выход	23	33	24	8	13	5	4	3
Эстетичность (порваны сидения)	—	—	—	—	14	2	8	4
4. Наличие информации для пассажиров								
Отсутствие указания следования и номера маршрута (задние указатели)	40	36	25	59	37	9	25	2
Наличие посторонних надписей в салоне	—	—	1	—	—	—	—	3
Отсутствие информации о владельце автобуса	22	60	19	35	45	17	9	3
Отсутствие таблички «выход»	12	20	15	38	26	12	2	5
Отсутствие таблички «запасной выход»	15	6	7	5	7	6	6	3
Количество нарушений	499	462	340	365	522	156	256	178
Количество актов	135	184	117	206	252	92	151	98
Удельное количество нарушений	3,7	2,5	2,9	1,78	2,07	1,7	1,7	1,8

Таблица 3

Сводная таблица нарушений за 2018–2023 годы

Вид нарушения	Количество нарушений по годам					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	2	3	4	5	6	7
1. Обеспечение надежности водителей						
Нарушение режима труда и отдыха водителя	5	2	2	1	2	1
Отсутствие договора гражданской ответственности за причинение вреда жизни, здоровью, имуществу пассажиров	3	2	7	4	6	2
Отсутствие предрейсового и послерейсового медицинского осмотра	1	0	2	0	1	0
2. Обеспечение эксплуатации ТС в технически исправном состоянии						
Отсутствие предрейсового и послерейсового технического осмотра ТС	4	3	3	1	1	0
Отсутствие диагностической карты технического осмотра ТС	17	15	12	8	7	0
Отсутствие сертификата на ГБО	8	6	ГИБДД	ГИБДД	ГИБДД	ГИБДД
Заблокирован или не открывается аварийный выход	6	8	ГИБДД	ГИБДД	ГИБДД	ГИБДД
Изменение конструкции ТС	6	4	ГИБДД	ГИБДД	ГИБДД	ГИБДД

Г.А. Чернова, А.В. Попов, М.В. Великанова, В.Е. Костин
 «ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ПАССАЖИРОВ
 АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛЖСКОГО»

Табл. 3. Окончание

1	2	3	4	5	6	7
3. Обеспечение безопасности при организации пассажирских перевозок						
Отсутствие карты маршрута регулярных перевозок	11	7	3	4	6	0
Отсутствие схемы опасных участков	14	17	Не требуется	Не требуется	Не требуется	Не требуется
Нарушения оформления путевого листа автобуса	17	12	8	11	14	12
Отсутствие путевого листа	3	0	0	0	1	0
Отсутствие показаний одометра	24	13	16	14	16	4
Отсутствие лицензии	2	2	1	2	1	0
Нарушение схемы маршрута	1	1	2	0	0	0
Отсутствие медицинской аптечки	13	9	3	4	3	0
Отсутствие огнетушителей	9	7	2	4	6	0
Отсутствие знака аварийной остановки	7	8	2	2	2	0
Отсутствие молоточков для разбивания стекол	22	24	12	12	9	12
4. Наличие информации для пассажиров						
Отсутствие указания следования и номера маршрута (задние указатели)	23	12	6	14	18	14
Отсутствие наименования, адреса и номера телефона перевозчика, фамилия водителя, а при наличии кондуктора - также фамилия кондуктора	27	20	7	12	15	3
Отсутствие наименования, адреса и контактных телефонов органа, обеспечивающего контроль за осуществлением перевозок пассажиров и багажа	12	9	8	10	8	4
Отсутствие правил пользования ТС или выписка из таких правил	11	5	8	7	6	5
Отсутствие указателей аварийных выходов и правила пользования такими выходами	6	4	6	6	4	3
Отсутствие указателей мест для пассажиров с детьми и инвалидов, за исключением случаев, когда ТС используется для осуществления регулярных перевозок по билетам, в которых указывается номер места для сидения	12	9	4	11	9	8
Количество нарушений	230	173	139	127	135	68
Количество актов	171	132	107	96	102	60
Уд.кол-во нарушений	1,34	1,31	1,3	1,32	1,32	1,13

Количество нарушений режимов труда и отдыха остается примерно на одном уровне. Значительно улучшилось обеспечение содержания автобусов в технически исправном состоянии владельцами, существенно снизилось количество нарушений по обеспечению безопасной перевозки пассажиров (табл. 4).

Вместе с тем, в последние годы растет количество административных наказаний перевозчикам (табл. 5).

Наибольшее количество административных взысканий вынесено по статье 9.13 КоАП РФ за необеспечение доступности для инвалидов предоставляемых услуг (отсутствие надписей, выполненных рельефно-точечным шрифтом Брайля) и по статье 14.1.2 ч. 3 «Осуществление предпринимательской деятельности в области транспорта без лицензии».

Общие результаты контрольных мероприятий, проводимых Госавтодорнадзором за последние 4 года представлены в табл. 6.

Таблица 4

Сводная таблица по результатам проверок

№ п/п	Годы	Количество нарушений	Количество актов	Удельное количество нарушений
1	2005	499	135	3,7
2	2006	462	184	2,5
3	2007	340	117	2,9
4	2008	365	206	1,78
5	2009	522	252	2,07
6	2010	156	92	1,7
7	2011	256	151	1,7
8	2012	178	98	1,8
9	2018	230	171	1,34
10	2019	173	132	1,31
11	2020	139	107	1,3
12	2021	127	96	1,32
13	2022	135	102	1,32
14	2023	68	60	1,13

Таблица 5

Количество административных наказаний по статьям КоАП РФ

Годы	Статьи КоАП								Всего
	ст. 9.13	11.31 ч.1	11.31 ч.2	11.33 ч.4	12.31.1 ч.6	14.1.2 ч.3	14.1.2 ч.4	20.25 ч.1	
ИП, ЮЛ									
2020	6			2		29			37
2021	16	5	2			10		1	34
2022	13	1		3	1	27		3	48
2023	20	8	1			13	9		51
МУП «Волжская А/К № 1732»									
2023	1		1						2

Таблица 6

Сводная таблица по результатам проверок

№ п/п	Годы	Количество нарушений	Количество актов	Удельное количество нарушений	Количество штрафов
1	2020	139	107	1,3	37
2	2021	127	96	1,32	34
3	2022	135	102	1,32	48
4	2023	68	60	1,13	53



Рис. 1. Схема маршрутной сети в 2016 году города Волжского до оптимизации



Рис. 2. Существующая маршрутная сеть города Волжского после оптимизации в период с 2019 года по 2022 год



Рис. 3. Оптимизированная маршрутная сеть города Волжского в 2023 году

Выводы

1. Проведенный анализ результатов контрольных мероприятий Федерального государственного контроля с 2005 по 2023 годы показал, что за этот период времени количество автобусов частных перевозчиков снизилось на 40%, а удельное количество нарушений снизилось более чем в 3 раза. Общее количество нарушений – более чем в 7 раз. Отчасти это связано с уменьшением количества автобусов, но значительную роль играет качественный государственный контроль [15–17].

2. Благодаря государственной системе контроля перевозчиков деятельность по перевозке пассажиров стала более упорядоченной и безопасной. Постоянное проведение контрольных мероприятий показало свою эффективность.

3. В то же время большой проблемой остается организация системы безопасности движения частными перевозчиками. Если крупные государственные и муниципальные предприятия, а также крупные юридические лица могут позволить себе качественное функционирование этой системы, то индивидуальные предприниматели зачастую ограничиваются формальным выполнением требований законодательства о назначении специалиста, ответственного за безопасность дорожного движения.

4. Решение данной проблемы видится в создании единых служб безопасности дорожного движения на базе муниципальных и государственных перевозчиков с обязательным прикреплением ИП и ЮЛ к этим службам при получении лицензии или уведомлении территориального органа Госавтодорнадзора о начале деятельности по перевозке пассажиров.



Литература

1. Коновалова Т. В. Направления повышения безопасности на предприятиях автомобильного транспорта / Т. В. Коновалова, С. Л. Надирян. - Текст : непосредственный // Наука. Техника. Технологии. - 2013. - №4. - С. 78-79.
2. Российская Федерация. Законы. О безопасности дорожного движения. Федеральный закон от 10.12.1995 г. № 196 - ФЗ: принят Государственной Думой 15 ноября 1995 года. - КонсультантПлюс. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585/?ysclid=m7vkisnelg45602186 (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

Г.А. Чернова, А.В. Попов, М.В. Великанова, В.Е. Костин
«ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ПАССАЖИРОВ
АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОЛЖСКОГО»

3. Российской Федерации. Законы. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации. Федеральный закон от 06.10.2003 г. № 131 - ФЗ : принят Государственной Думой 16 сентября 2003 года : одобрен Советом Федерации 24 сентября 2003 года. - КонсультантПлюс. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/?ysclid=m7vkrm0ieh906731615 (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

4. Российской Федерации. Законы. Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон от 13.07.2015 г. № 220-ФЗ : принят Государственной Думой 30 июня 2015 года : одобрен Советом Федерации 8 июля 2015 года. - КонсультантПлюс. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1826-59/?ysclid=m7vkz3bgpg980971486 (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

5. Об утверждении документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в городском округе – город Волжский Волгоградской области : Постановление Администрации городского округа – город Волжский от 20 ноября 2019 г. № 7810. - КонсультантПлюс. - URL: <https://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?req=-doc&base=RLAW180&n=198212&ysclid=m7vl5ldz34754506440#8P1IYeUeGwljmDr21> (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

6. О лицензировании деятельности по перевозкам пассажиров и иных лиц автобусами : Постановление Правительства от 7 октября 2020 г. № 1616. Правительство Российской Федерации. - URL: <http://government.ru/docs/all/130277/> (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

7. Российской Федерации. Законы. О лицензировании отдельных видов деятельности. Федеральный закон № 99-ФЗ от 04.05.2011 г. : принят Государственной Думой 22 апреля 2011 года : Одобрен Советом Федерации 27 апреля 2011 года. - Правительство Российской Федерации <http://government.ru/docs/all/99-954/> (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

8. Отчёт к научно-исследовательской работе «Мониторинг пассажиропотоков на городских маршрутах г. Волжского». Договор № 11/46-21 от 03.06.2021 г. с Администрацией города Волжского. - Текст : непосредственный.

9. Отчёт к научно-исследовательской работе «Мониторинг пассажиропотоков на городских маршрутах г. Волжского». Договор № 11/49-22 от 20.01.2023 г. с Администрацией города Волжского. - Текст : непосредственный.

10. Российской Федерации. Законы. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации. Федеральный закон от 31.07.2020 г. № 248-ФЗ : принят Государственной Думой 22 июля 2020 года : одобрен Советом Федерации 24 июля 2020 года. - Правительство Российской Федерации. - URL: <http://government.ru/docs/all/129143/> (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

11. О федеральном государственном контроле (надзоре) на автомобильном транспорте, городском наземном электрическом транспорте и в дорожном хозяйстве : Постановление Правительства РФ № 1043 от 29.06.2021 г. - Правительство Российской Федерации. - URL: <http://government.ru/docs/all/135452/> (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

12. Об утверждении Положения о федеральном государственном контроле (надзоре) в области безопасности дорожного движения : Постановление Правительства РФ № 1101 от 30.06.2021 г. - Правительство Российской Федерации. - URL: <http://government.ru/docs/all/135440/> (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

13. Об утверждении форм проверочных листов (списков контрольных вопросов, ответы на которые свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении контролируемым лицом обязательных требований), применяемых Федеральной службой по надзору в сфере транспорта и ее территориальными органами при осуществлении федерального государственного контроля (надзора) на автомобильном транспорте, городском наземном электрическом транспорте и в дорожном хозяйстве. Приказ Федеральной службы по надзору в сфере транспорта от 29.12.2021 № ВБ-1069фс. - Федеральная служба по надзору в сфере транспорта. - URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=9&nd=602900243&bpa=cd00000&bpas=cd000-00&intsearch=%E0%E2%F2%EE%EC%EE%E1%E8%EB%FC++&ysclid=m7vnk66xxl419412529 (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.

14. Межрегиональное территориальное управление Федеральной службы по надзору в сфере транспорта по Южному федеральному округу.- URL:<https://rostransnadzor.gov.ru/rostransnadzor/podrazdeleniya/mtuy-ifo/deyatelnost-podrazdeleniya/464> (дата обращения: 18.09.2024). - Текст : электронный.

15. Отчёт к научно-исследовательской работе «Разработка рекомендаций по количеству подвижного состава на муниципальных маршрутах регулярных перевозок по нерегулируемым тарифам в городском округе – город Волжский». Договор № 11/45–21 от 12.04.2021 г. с Администрацией города Волжского. - Текст : непосредственный.

16. Организация перевозок пассажиров на регулярных маршрутах по нерегулируемым тарифам в городе Волжском: монография / Г. А. Чернова, А. В. Попов, М. В. Великанова, Д. Ф. Матющенко; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - Волгоград : Издательство ВолгГТУ, 2024. - 300 с. - Текст : непосредственный.

17. Чернова, Г. А. Обеспечение безопасной перевозки пассажиров в городе Волжском / Г. А. Чернова, Ю. И. Монсеев, Н. Д. Пьяных. - Текст : электронный // Взаимодействие предприятий и вузов по повышению эффективности производства и инновационной деятельности: сборник докладов VII межрегиональной научно-практической конференции (г. Волжский, 19-20 мая 2011 г.) / ВПИ (филиал) ВолгГТУ [и др.]. - Волгоград, 2011. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - С. 63-66.

О ВЛИЯНИИ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РАБОТУ ЛОКОМОТИВНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ

В работе с использованием компьютерного моделирования, базирующегося на методе конечных элементов, определены характеристики внешнего электромагнитного поля, формируемого при работе асинхронного тягового двигателя в зоне подвеса приемных катушек. Указано на необходимость дальнейшего изучения особенностей индуктивной связи приемных катушек основных устройств безопасности и внешних электромагнитных полей, формируемых силовым оборудованием.



В.С. Кузьмин



Р.О. Рядчиков

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, внешнее электромагнитное поле, асинхронный тяговый привод

EDN: UPJXAJ

Одной из задач, направленных на обеспечение высоких эксплуатационных показателей реализации технологического процесса движения поездов, является повышение надежности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Решение этой задачи неразрывно связано со снижением числа сбоев и нарушений в работе бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации (в нормативной документации ОАО «РЖД» — основных устройств безопасности). Это связано с тем, что искажение от двух до четырех подряд идущих кодовых комбинаций (в зависимости от текущего показания локомотивного светофора) под действием электромагнитной помехи достаточно для принятия бортовой аппаратурой решения об изменении сигнального показания локомотивного светофора на более запрещающее, что в условиях эксплуатации приводит

к случаям необоснованных экстренных торможений, нарушению графика движения поездов и снижению провозной способности железнодорожной линии.

Статистика, приводимая в открытых источниках, позволяет утверждать, что более чем в 70 % случаев нарушений и сбоев в работе основных устройств безопасности происходит из-за действия в канале «путь — локомотив» рельсовых цепей электромагнитной помехи от различных источников [1;2]. Существенный вклад в электромагнитную обстановку на электрифицированных участках железных дорог вносит электрический подвижной состав [3]. Его влияние складывается из двух составляющих: тягового тока, канализируемого по рельсовой линии, и внешних электромагнитных полей, формируемых силовым оборудованием [4]. В ряде работ, в частности в [5;6], авторы указывают полученные в ходе

Кузьмин Владислав Сергеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы управления движением поездов, сервисное обслуживание устройств безопасности и возимых радиостанций, эксплуатационная эффективность систем управления на железнодорожном транспорте. Автор 71 научной работы, в том числе одной монографии. Имеет 38 патентов на изобретения.

Рядчиков Руслан Олегович, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: индуктивный канал связи в системах регулирования движения поездов, электромагнитная совместимость аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации. Автор четырех научных работ. Имеет один патент на изобретение.

моделирования значения индукции (напряженности) для таких внешних электромагнитных полей. Однако эти сведения характеризуют влияние внешних электромагнитных полей на пассажиров и локомотивные бригады и позволяют только утверждать о наличии внешних электромагнитных полей с большими значениями индукции (напряженности) магнитного поля на значительном удалении от оси электродвигателя. В работах [7;8] указывается на наличие влияния внешних электромагнитных полей от силового оборудования электрического подвижного состава на прием сигналов из рельсовой линии, однако количественная оценка такого влияния авторами не приводится. Таким образом влияние внешних электромагнитных полей на работу бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации остается малоизученным.

С учетом этого, а также интереса, проявляемого как отечественными [9–11], так и зарубежными авторами [12] к вопросу обеспечения электромагнитной совместимости в условиях воздействия внешних электромагнитных полей от силового оборудования, цель настоящей работы заключается в определении характеристик внешнего электромагнитного поля, формируемого в зоне подвеса приемных катушек при работе асинхронного тягового двигателя.

Материалы и методы

В научной литературе изложен ряд подходов к разработке моделей для исследования характеристик внешних электромагнитных полей, формируемых силовым оборудованием, в частности асинхронными тяговыми двигателями. В их основе лежит определение гармонического состава токов, потребляемых асинхронными тяговыми двигателями [13], а также параметров самих асинхронных тяговых двигателей [14]. На основе полученных на подготовительном этапе исходных данных осуществляют моделирование характеристик формируемых ими внешних электромагнитных полей. При этом для моделирования авторы чаще всего используют метод конечных элементов [15;16].

С учетом этого для выполнения моделирования в рамках настоящей работы был выбран метод конечных элементов, а для его реализации использована программная среда COMSOL Multiphysics. Для определения параметров внешнего электромагнитного поля асинхронного тягового двигателя и его сравне-

ния с параметрами электромагнитного поля, формируемого сигнальным током в рельсовой линии, были построены две модели:

- тягового асинхронного двигателя, с действующим значением тока фазы статора, равным 360 А, что соответствует продолжительному режиму работы для электровоза серии ЭП20¹;
- рельсовой линии, в которой протекает сигнальный ток с действующим значением 2 А на несущей частоте 50 Гц².

Геометрические параметры взаимного расположения тягового электродвигателя и приемных катушек взяты для электровоза серии ЭП20 (стандартное взаимное расположение показано на рис. 1).



Рис. 1. Взаимное расположение приемных катушек основных устройств безопасности и асинхронного тягового электродвигателя на электровозе серии ЭП20

Результаты моделирования и их обсуждение

В результате моделирования была получена картина распределения электромагнитных полей в установленвшемся режиме (рис. 2, размеры показаны для центра сердечника с учетом половины высоты приемной катушки типа КПУ-1), а также минимальная (номинальная) величина индукции магнитного поля в зоне подвеса приемных катушек, сформированной под действием протекающего в рельсовой линии сигнального тока с номинальным действующим значением.

¹ Электровоз магистральный ЭП20. Руководство по эксплуатации. Книга 3. Описание и работа. Электрические машины ЗТС.085.003 РЭ2.

² Перегонные рельсовые цепи переменного тока 50 Гц с реле ИВГ-М числовой кодовой АБ для участков железных дорог с электротягой постоянного тока. РЦК50-ИВГ-М-ЭТ00-93.

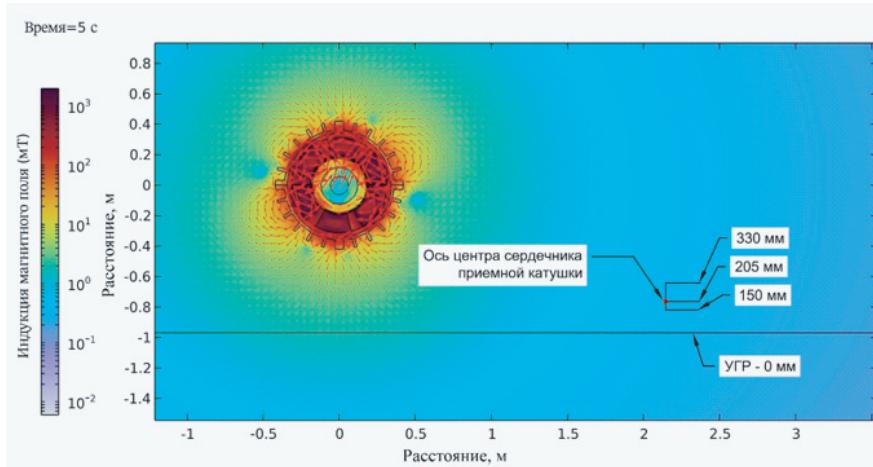


Рис. 2. Картина распределения электромагнитного поля от тягового асинхронного электродвигателя (в установившемся режиме через 5,0 с после начала моделирования)

На основе картины распределения электромагнитных полей был получен график зависимости модуля индукции $B_{\text{вЭМП}}$ внешнего электромагнитного поля, формируемого при работе асинхронного двигателя, от геометрических параметров размещения приемной катушки (рис. 3).

На основе результатов компьютерного моделирования установлено, что амплитудное значение индукции электромагнитного поля, формируемого сигналным током номинального действующего значения на частоте 50 Гц, протекающим в рельсовой линии, составляет 2,32 мкТл, тогда как амплитудное значение индукции магнитного поля, формируемого асинхронным тяговым двигателем, по результатам моделирования в установившемся режиме варьируется в диапазоне от 340 до 1120 мкТл.

Полученные результаты позволяют судить о наличии в зоне подвеса приемных катушек внешнего электромагнитного поля асинхронного тягового двигателя с параметрами, достаточными для того, чтобы оказывать влияние на прием сигналов из рельсовой линии. При этом увеличение высоты подвеса катушки приводит к сокращению модуля индукции электромагнитного поля только на 1,1% на наибольшем возможном (по метельнику, 2,3 м) удалении от оси вращения асинхронного двигателя и на 13,8% при наименьшем возможном (по раме тележки, 1 м) удалении от оси вращения асинхронного двигателя. Увеличение расстояния между осями асинхронного двигателя и приемной катушки на 1,3 м позволяет снизить величину индукции магнитного поля на 64,3 – 69,5% в зависимости от высоты подвеса приемной катушки. Следует, однако, отметить, что такой результат получен без учета особенностей индуктивной связи между приемной катушкой и асинхронным

электродвигателем. Установление таких особенностей возможно экспериментально и требуется проведение дополнительных исследований.

Заключение

В результате выполнения работы с применением компьютерного моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics, базирующейся на методе конечных элементов, были определены характеристики внешнего электромагнитного поля, формируемого в зоне подвеса приемных катушек при работе

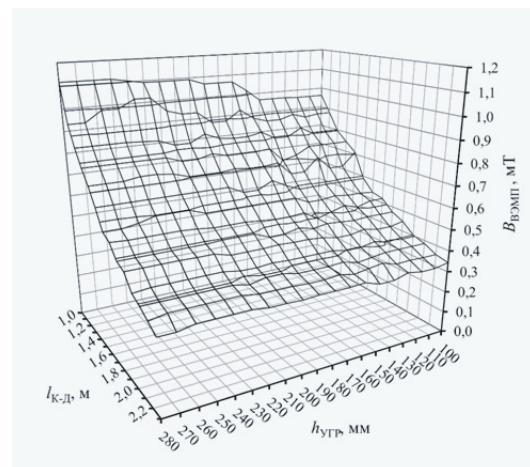


Рис. 3. График зависимости модуля индукции $B_{\text{вЭМП}}$ внешнего электромагнитного поля, формируемого асинхронным тяговым двигателем, от геометрических параметров размещения приемной катушки: расстояния $l_{\text{к-д}}$ между осью вращения асинхронного тягового двигателя и осью приемной катушки и высоты подвеса приемной катушки относительно уровня головки ходового рельса $h_{\text{УГР}}$

асинхронного тягового двигателя. Получены следующие основные результаты:

1. Индукция внешнего электромагнитного поля, формируемого при работе асинхронного тягового двигателя существенно – в 140–480 раз – превышает величину индукции электромагнитного поля, формируемого сигнальным током номинального действующего значения на частоте 50 Гц, протекающим в рельсовой линии.

2. Зависимость величины индукции внешнего электромагнитного поля от высоты подвеса приемной катушки незначительна: с ростом высоты подвеса величина индукции сокращается. Зависимость величины индукции внешнего электромагнитного поля от

расстояния между осями асинхронного тягового двигателя и приемной катушки существенна. С ростом указанного расстояния величина индукции быстро убывает.

3. В ранее опубликованных исследованиях не раскрывается характер индуктивной связи силового оборудования электрического подвижного состава и приемных катушек основных устройств безопасности.

Требуется проведение дополнительных исследований, направленных на определение коэффициента связи между асинхронным тяговым двигателем и приемными катушками при различном их взаимном расположении для уточнения полученных результатов компьютерного моделирования.

Литература

1. Пульяков, А. В. Системный анализ устойчивости работы систем автоматической локомотивной сигнализации / А. В. Пульяков, М. Э. Скоробогатов. - Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - № 1(57). - С. 79-89.
2. Бахарева, М. Н. Расследование причин сбоев АЛСН и САУТ и пути их устранения / М. Н. Бахарева, И. В. Напортович. - Текст : непосредственный // Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи : материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Иркутск, 10-13 апреля 2018 года. - Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2018. - С. 8-10.
3. Как повысить помехоустойчивость работы АЛС / А. К. Табунщиков, Ю. А. Барышев, Е. В. Горенбейн [и др.]. - Текст : непосредственный // Локомотив. - 2013. - № 4(676). - С. 32-33.
4. Кизименко, Л. И. О возникновении помех в локомотивных катушках АЛС от тяговых токов в асинхронных двигателях / Л. И. Кизименко, В. С. Кузьмин. - Текст : непосредственный // Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи : Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Иркутск, 10-13 апреля 2018 года. - Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2018. - С. 103-105.
5. Ли, В. Р. Влияние электромагнитных полей на человека и мероприятия по защите от электромагнитного излучения / В. Р. Ли. - Текст : непосредственный // Обеспечение безопасности движения как перспективное направление совершенствования транспортной инфраструктуры : материалы международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 26 мая 2023 года. - г. Нижний Новгород : Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Нижнем Новгороде, 2023. - С. 95-100.
6. Арсланов, А. Р. Моделирование магнитных полей на электроподвижном составе / А. Р. Арсланов, А. Р. Закирова. - Текст : непосредственный // Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог : материалы Международной научно-технической конференции, посвященная 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, 17 ноября 2016 года / Ответственный за выпуск С. В. Бушуев. Выпуск 8 (227). - Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2017. - С. 412-418.
7. Pat. 5501416 (US). Method and apparatus for inductively receiving cab signaling on board a railway vehicle. Capan Ronald R., 1996.
8. Pat. 5501417 (US). Noise cancellation in railway cab signal. Capan Ronald R., 1996.
9. Барышников, Н. С. Причины появления гармоник во внешнем магнитном поле в режиме выбега асинхронного электродвигателя / Н. С. Барышников, Д. А. Ладин, А. С. Страхов. - Текст : непосредственный // Энергия-2021 : тезисы докладов Шестнадцатой всероссийской (восьмой международной) научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6 томах, Иваново, 06-08 апреля 2021 года. Том 3. - Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2021. - С. 93.

В.С. Кузьмин, Р.О. Рядчиков
«О ВЛИЯНИИ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
НА РАБОТУ ЛОКОМОТИВНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ»

10. Новоселов, Е. М. Исследование влияния эксплуатационных факторов на внешнее магнитное поле асинхронного электродвигателя / Е. М. Новоселов, Д. А. Полкошников. - Текст : непосредственный // Энергия-2018 : тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых : в 6 томах, Иваново, 03-05 апреля 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», Академия электротехнических наук РФ. Том 3. - Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2018. - С. 134-135.
11. Оценка энергии внешних электромагнитных помех частотно-регулируемых асинхронных двигателей / Ю. Б. Казаков, Е. А. Шумилов, А. В. Тамьяров [и др.]. - Текст : непосредственный // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. - 2017. - № 4. - С. 37-43.
12. Chen, S. Research on electromagnetic disturbance and its radiation level of an EMUs' traction inverter / S. Chen, J. Rao // 2017 7th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE). - Xi'an, China, 2017. - pp. 252-255.
13. Бадер, М. П. Анализ и синтез электромагнитной совместимости / М. П. Бадер, С. А. Сикирин. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2010.- Т. 8, № 3(31). - С. 36-40.
14. Методика определения параметров асинхронного двигателя / Ю. М. Кулинич, С. А. Шухарев, А. В. Каминский [и др.]. - Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. - 2021. - Т. 64, № 1. - С. 30-36.
15. Соболев, И. В. Использование метода конечных элементов для расчета конструкции электрических машин / И. В. Соболев, А. Р. Муракаев, Е. А. Шумилов. - Текст : непосредственный // Молодежная наука: вызовы и перспективы : материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Самара, 18-29 апреля 2022 года / Отв. редактор О. В. Карсунцева. - Самара : Самарский государственный технический университет, 2022. - С. 330-332.
16. Жилин, О. А. Применение методов численного моделирования при оценке потерь асинхронных тяговых электродвигателей / О. А. Жилин. - Текст : непосредственный // Наука. Технологии. Инновации : сборник научных трудов XVI Всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 05-08 декабря 2022 года. Часть 5. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2022. - С. 21-25.

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО БУНКЕРА НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ПОЛИГОНА



В.С. Колокольников



Т.А. Фалалеева

Исследование железнодорожных участков и полигонов на имитационных моделях показало сильную взаимосвязь инфраструктуры станций и участков, пропускной способности и структуры поездопотока. Изменение последней при недостаточно развитой инфраструктуре неизбежно приводит к снижению пропускной способности участка. Приводятся результаты экспериментов, которые демонстрируют это взаимодействие, а также даются рекомендации по его совершенствованию.

Ключевые слова: развитие инфраструктуры, полигон, дуплекс с распределенной емкостью, разнородность

EDN: DOKMXQ

Необходимость рассчитывать железнодорожные узлы и полигоны с применением имитационного моделирования неоднократно затрагивалась в работах [1–4]. В настоящее время действует Методика [5], согласно которой строительство и реконструкция всех крупных транспортных объектов теперь должны выполняться при помощи имитационных моделей.

Исследования [6–8] доказывают, что при определении перерабатывающей и пропускной способности участка нельзя рассматривать в качестве расчетного элемента канал обслуживания, а только его взаимосвязь с бункерами, которые позволяют преобразовывать поездопоток – создавать очередь для канала, преобразуя случайный поток в управляемый. В работе [1] описано структурно-функциональное взаимодействие в сложных потоковых системах и разработана методология по его оптимизации с использованием имитационного моделирования.

Перерабатывающая и пропускная способность технической станции зависит не только от взаимодействия элементов инфраструктуры при заданной технологии, но и от характеристики потока. Особо остро встает вопрос при возрастающих размерах перевозок и переориентации грузопотока.

Работы [9;10] посвящены изучению влияния числа и интенсивности поступающих поездов. Однако важным фактором, который может приводить к снижению пропускной способности участка, является структура поездопотока.

С развитием теоретических основ и технических возможностей во всех отраслях железнодорожного транспорта совершенствуются технологии, так или иначе направленные на повышение провозной и пропускной способностей. Модернизируются тележки, вагоны, локомотивы [11–13]. Постоянно повышаются масса и длина поездов, в связи с этим возни-

Колокольников Виталий Сергеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС). Область научных интересов: имитационное моделирование и оптимизация железнодорожных станций, узлов и полигонов. Автор 65 научных работ.

Фалалеева Татьяна Андреевна, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС). Область научных интересов: имитационное моделирование и оптимизация железнодорожных станций, узлов и полигонов. Автор четырех научных работ.

кает их дифференциация по этим признакам. Важным вопросом становится организация процесса перевозок. Ряд работ посвящен разработке нормативных графиков с вводом «жестких договорных» ниток [14;15]. Развитие мощностей ЭВМ позволяет внедрять все больше и больше программного обеспечения, помогающего планировать работу, распределять ресурсы и помогать оператору принимать решения [16–18]. Вследствие этого классификация поездов расширяется, меняется приоритетность.

Зачастую разные категории поездов имеют неодинаковые технологию и время обслуживания, а иногда требуют наличия специализированной инфраструктуры. Поэтому не всегда техническая станция готова принять любой поезд в момент его поступления. Тогда ей в помощь могут служить станции участка, на которых возможно ожидание обслуживания таких поездов. Такой пример по возникновению дуплекса с распределенной емкостью описан в работе [1].

Структура поездопотока может быть представлена поездами одной категории (однородный поток) или несколькими с отличающейся приоритетностью пропуска поездов по участку и обработки на станциях (разнородный поток). Определяя перерабатывающую способность станции важно учитывать характеристику поездопотока. При изменении структуры поездопотока сохранение пропускных способностей возможно только при наличии соответствующей инфраструктуры. Широкое разнообразие структуры потока на сети может оказывать ограничения на пропускную способность как отдельных перегонов, раздельных пунктов, так и участков и полигонов в целом.

С использованием имитационной модели рассмотрим влияние изменения структуры поездопотока на показатели полигона и роль станций участка в поддержании пропускной способности. В качестве инструмента используется система макромоделирования транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА [19].

В модели заданы все станции полигона, их вместимость, количество каналов в горловинах. Созданы технологические цепочки выполнения операций для каждой категории поездов. При расчетах учитываются ограничения по количеству поездных локомотивов и бригад ПТО. Модель имеет 16 станций, из которых станции Е, Ж и З являются участковыми

(рис. 1). По данному двухпутному участку организован пропуск разнородного потока (струи поездов различной категории и с разной приоритетностью). Инфраструктура промежуточных станций (обгонных пунктов) плохо развита: чаще всего представлена 1–2 путями по 800–1000 метров для четного и нечетного направлений. Из-за сложности производства обгона по причине недостатка полезной длины путей и большой длины перегонов поезда движутся с одинаковой скоростью параллельным графиком.

В эксперименте 1 организован пропуск двух струй потока – пассажирских и грузовых поездов унифицированной длины.

При анализе сводных отчетов и графика исполненного движения видно, что транспортная система справляется с заданными размерами движения. На участках поддерживается высокая участковая скорость. Для пропуска приоритетной категории пассажирских поездов грузовые останавливаются на раздельных пунктах участков (рис. 2).

Поезда принято классифицировать согласно Распоряжению [20], но при этом общая практика показывает, что структура потока в последнее время активно преобразовывается, появляется больше категорий поездов, отличающихся по длине, массе, приоритетности. Инфраструктура станций и участков для пропуска и обработки таких поездов чаще всего не готова. Выделенной категорией поездов могут стать контейнерные поезда, тяжеловесные. Для примера в эксперименте 2 рассмотрим замену шести пар унифицированных поездов на длинносоставные, остановка которых возможна только на путях с увеличенной вместимостью. В ином случае поезда принимаются на станции с занятием горловины, что приводит к прекращению движения следом идущих поездов.

Удлиненные пути имеются на границах рассматриваемого полигона – станциях Е, З и по одному для четного и нечетного направления на станции Ж.

В таком случае, для исключения прекращения движения на участках Е–Ж и Ж–З, которое произойдет при остановке длинносоставного поезда на раздельных пунктах участка, требуется отправлять поезда выделенной категории со станций Е и З только при наличии свободного пути на станции Ж к моменту прибытия такого поезда (рис. 3).



Рис. 1. Исходная схема полигона для экспериментов 1 и 2

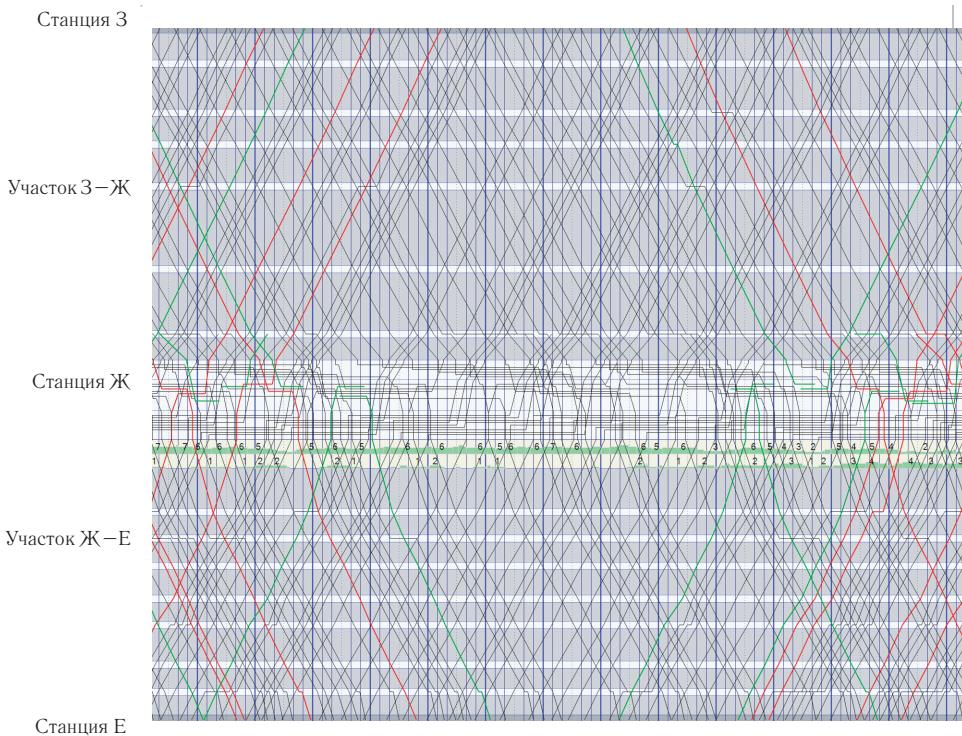


Рис. 2. Фрагмент графика исполненного движения для полигона в эксперименте 1 при пропуске двух категорий поездов: нитки поездов : черная линия – унифицированные; красная – пассажирские; зеленая – пригородные

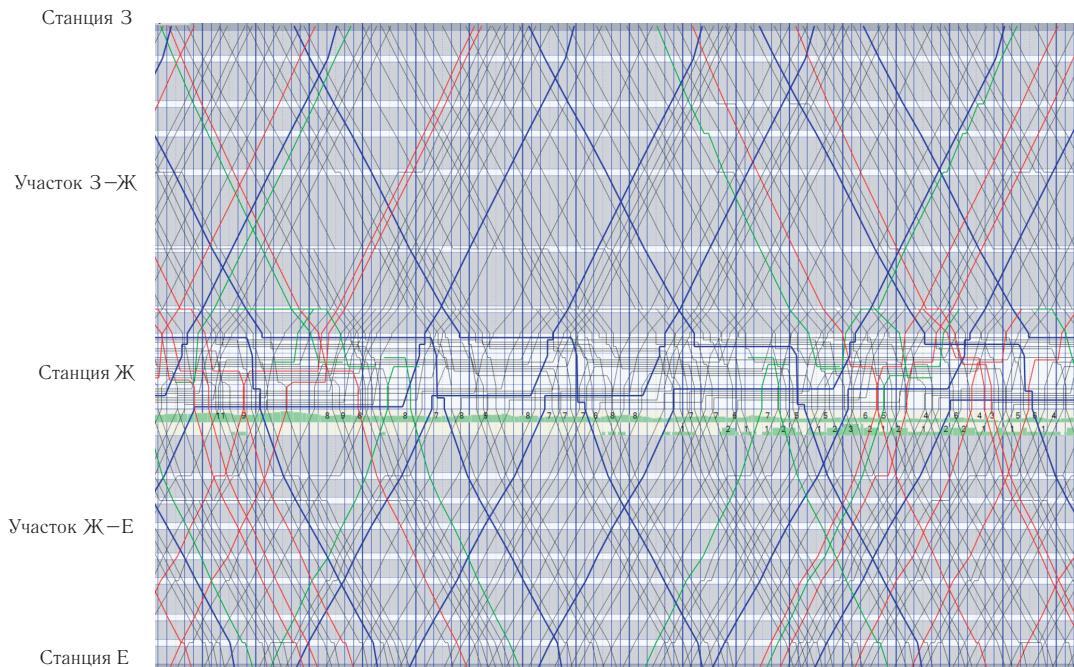


Рис. 3. Фрагмент графика исполненного движения для полигона в эксперименте 2 при пропуске трех категорий поездов: синяя линия – выделенная категория поездов, требующая специфической инфраструктуры или технических устройств, размер которых на участке ограничен

В реальности организация движения по равномерному подводу поездов невозможна. Во-первых, фактическое время занятия станционного пути поездом не совпадает с технологическим [21]. Во-вторых, за пределами границы или на станциях Е и З отсутствует необходимое количество удлиненных путей для создания очереди из выделенной категории поездов. Помимо этого, длинносоставный поезд должен проходить участки Е–Ж и Ж–З транзитом, а последующий появляться только при наличии свободного удлиненного пути на станции Ж с учетом времени хода (см. рис. 3). Из-за больших расстояний между станциями, имеющими необходимое путевое развитие, трудно спланировать точное время отправления поезда на участок. В результате несоответствия плана и факта снижается полезное использование инфраструктуры технической станции и ее перерабатывающая способность, что в свою очередь снижает пропускную способность участка [22], в ином случае требуется создавать завышенные резервы.

Поскольку качество планирования повышается при уменьшении периода планирования, рассмотрим эксперименты 3–5 по созданию распределенного бункера в непосредственной близости к технической станции Ж.

Для повышения числа поступающих четных поездов выделенной категории в эксперименте 3 один из имеющихся путей на ближайшем раздельном пункте к станции Ж участка Е–Ж увеличим для возможности принятия на него удлиненного поезда. Однако путевое развитие станции «а» (рис. 4), при размещении на ней четного длинносоставного поезда, позволяет произвести обгон только с использованием нечетного главного пути. Теперь нечетный поездопоток вынужден останавливаться для пропуска четных поездов по станции «а», снижаются участковые скорости и пропускная способность участков. В связи с чем ухудшаются качественные показатели полигона.

Поскольку емкости распределенного бункера станции «а» недостаточно для пропуска заданного поездопотока, в эксперименте 4 расширим его вместимость за счет удлинения одного пути станции «б».

За счет развития инфраструктуры промежуточных станций удается повысить интенсивность поступления на участок выделенной категории поездов. Теперь такие поезда имеют возможность останавливаться на участке. Бункер по прибытию [23] переносится с технической станции Ж на станции «а» и «б» участка Е–Ж (рис. 5). Теперь планирование подвода разных категорий поездов к технической станции становится точнее.

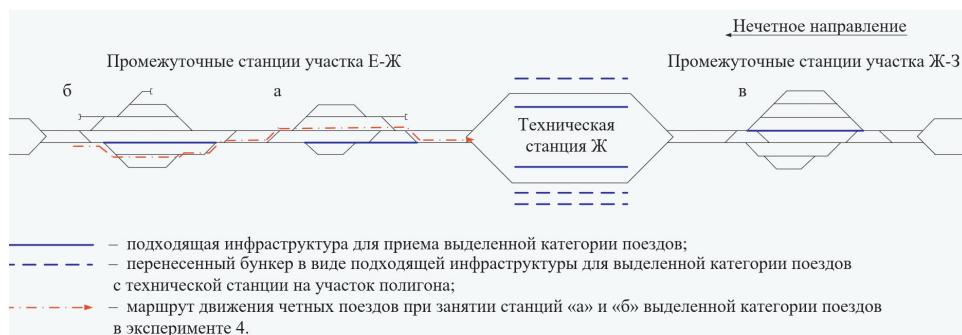


Рис. 4. Схема полигона для экспериментов 3–5 с созданием дуплекса с распределенной емкостью

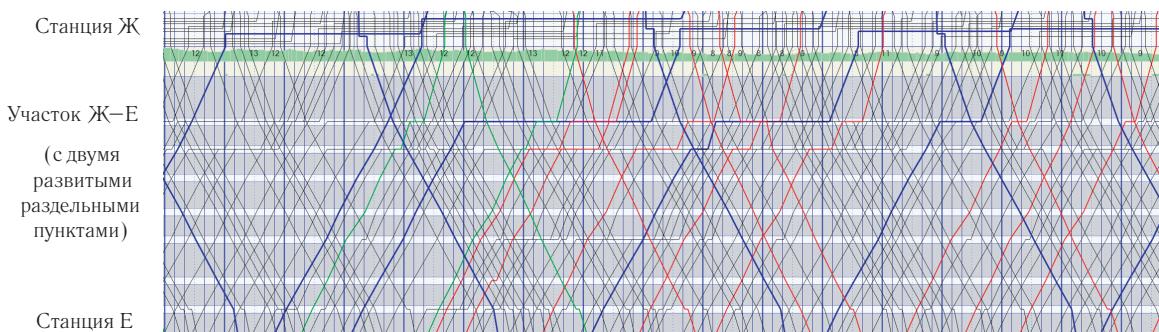


Рис. 5. Фрагмент графика исполненного движения для полигона в эксперименте 4 при пропуске трех категорий поездов при наличии дуплекса с распределенной емкостью для нечетных поездов

Аналогичное развитие инфраструктуры для нечетного потока выполнено в эксперименте 5, в котором создан бункер на станции «в» участка Ж–З (см. рис. 4). Теперь участковые скорости грузовых поездов обоих направлений выровнялись, но достичь пропуска заданного числа поездов по полигону все еще не удается.

В эксперименте 6 рассмотрим развитие соответствующей инфраструктуры для выделенной категории поездов непосредственно на технической станции, путем удлинения по одному существующему пути для четного и нечетного поездов. Для сохранения возможности неравномерного поступления поездов, требующих специальной инфраструктуры, на участках полигона сохраним созданные дуплексы с распределенной емкостью (см. рис. 4). Это позволит качественное использовать инфраструктуру технической станции Ж, повышая полезную загрузку удлиненных путей.

В работе [22] при рассмотрении подробной модели по результатам экспериментов доказано, что с ростом числа удлиненных путей удается увеличить пропуск не только длинносоставных поездов, но и поездов других категорий.

Для наглядности полученных результатов построим график изменения пропускной способности полигона и скоростей выделенных категорий грузовых поездов (рис. 6) в каждом эксперименте.

Однако некорректно оценивать только скорость, ведь она не отражает задержки, возникающие на гра-

ницах рассматриваемого полигона и на технической станции Ж. На рис. 7 изображен график изменения пропускной способности полигона и задержек поездов в каждом эксперименте. Наблюдается обратная зависимость задержек и участковой скорости. Но, что более важно, изменение уровня задержек происходит в более широком диапазоне, что и является непосредственной причиной снижения пропускной способности. Если участковая скорость меняется в пределах 25%, то задержки – в 5–6 раз.

В эксперименте 6 удалось улучшить качественные показатели участка, он стал более устойчивым к разнородности потока. При создании соответствующей инфраструктуры для изменившегося поездопотока, получилось вернуть заданную пропускную способность полигона, вернувшись к прежним показателям участковые скорости грузовых поездов, удалось снизить продолжительность задержек каждой категории поездов. С изменением структуры поездопотока для сохранения пропускной способности полигона требуется создавать распределенный бункер на участке и технической станции.

Изменение разнородности потока при неизменной инфраструктуре влияет на пропускную и перерабатывающую способность станции и полигона. При невозможности технической станцией принимать в заданном ритме поезда различных категорий, ожидание приема может выполняться на станции участка – бункер по прибытию переносится с технической

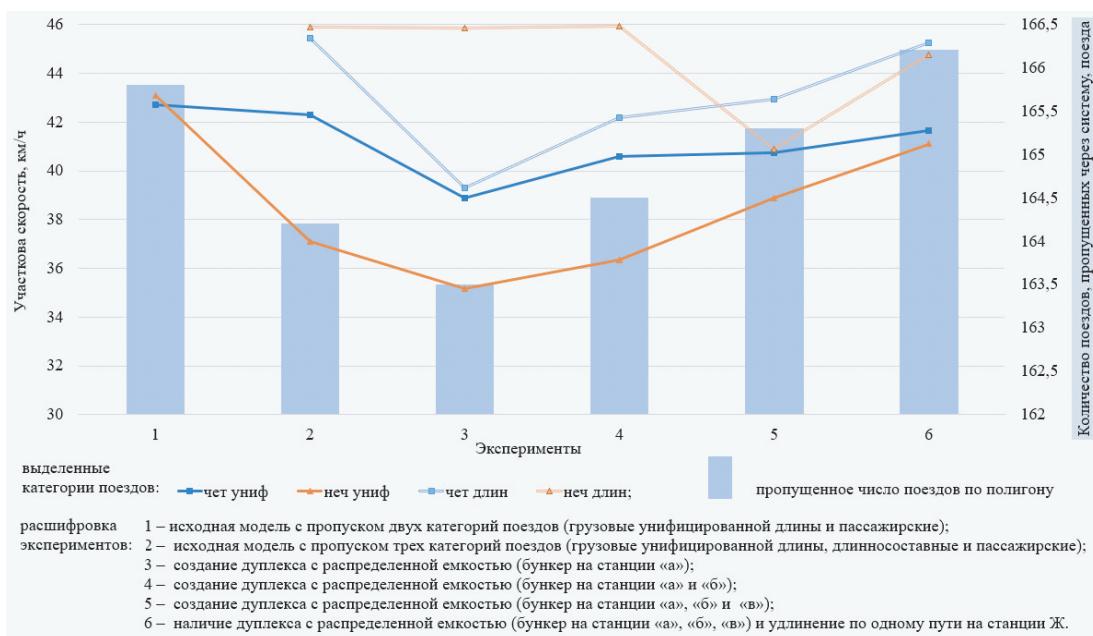


Рис. 6. Изменение участковой скорости выделенных категорий поездов

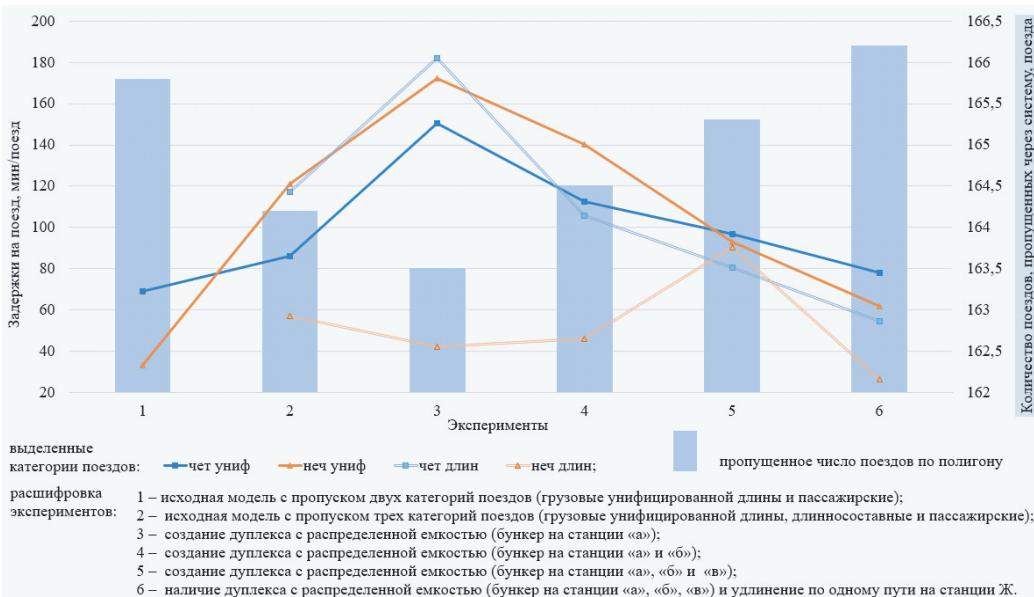


Рис. 7. Изменение задержек на поезд отдельно для выделенных категорий поездов

станции на участок, за счет чего пропускная способность комплекса повышается. Изучение зависимостей на имитационной модели дает понимание, в какой последовательности требуется развивать инфраструктуру полигона. Для достижения наибольшей пропускной и перерабатывающей способности уровень разнородности потока на полигоне должен соответствовать уровню развитости инфраструктуры.

Литература

1. Колокольников, В. С. Структурно-функциональная оптимизация полигонов на сети железных дорог : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Колокольников Виталий Сергеевич ; место защиты: ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения». - Екатеринбург, 2020. - 302 с. : ил. - Текст : непосредственный. - EDN KJWYC.
2. Сайбаталов, Р. Ф. Методы устранения затруднений в работе полигонов железнодорожной сети : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сайбаталов Рашид Фердаусович ; место защиты : ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения». - Екатеринбург, 2020. - 231 с. : ил. - Текст : непосредственный. - EDN QHULCB.
3. О технологии расчета систем железнодорожного транспорта / П. А. Козлов, В. П. Козлова, О. В. Осокин, Н. А. Тушин. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2022. - № 3(74). - С. 3-9. - DOI 10.20291/1815-9400-2022-3-3-9. - EDN QBMFGG.
4. Козлов, П. А. Моделирование международных транспортных коридоров / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2023. - № 1-2(104-105). - С. 32-37. - EDN IOUOIW.
5. Методика проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей с использованием аппарата математического моделирования: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 9 января 2018 г. № 2/р. - Текст : непосредственный.

6. Козлов, П. А. О теоретических основах транспортной технологии / П. А. Козлов, О. В. Осокин, Н. В. Якушев. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 2(81). - С. 3-10. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-3-10. - EDN ZSJTNT.
7. Слободянюк, И. Г. Технология макромоделирования железнодорожных станций и узлов : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Слободянюк Инна Геннадьевна ; место защиты: ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения. - Екатеринбург, 2018. - 184 с. : ил. - Текст : непосредственный. - EDN QJCIVL.
8. Козлов, П. А. О согласованном структурно-функциональном построении железнодорожных станций / П. А. Козлов, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2017. - № 3. - С. 106-110. - EDN ZTUGLD.
9. Карасев, С. В. Оценка задержек поездов на железнодорожной сети методом моделирования в условиях случайного образования заявок на перевозку / С. В. Карасев, М. Е. Корягин. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2018. - № 2(45). - С. 43-51. - EDN UZCUBQ.
10. Осьминин, А. Т. О научно-практических проблемах повышения пропускных и провозных способностей линий / А. Т. Осьминин. - Текст : непосредственный // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. - 2018. - № 1. - С. 37-48. - EDN YSLALS.
11. Галиев, И. И. Повышение массы соединенных грузовых поездов и эффективность использования локомотивов / И. И. Галиев, Д. Ю. Лукс // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы пятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвящённой 75-летию победы в Великой Отечественной войне, 85-летию кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», 120-летию основания Омского государственного университета путей сообщения, Омск, 12 ноября 2020 года. - Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2020. - С. 117-124. - EDN OSEEGG.
12. Бушуев, С. В. Пути повышения провозной способности участков железных дорог / С. В. Бушуев. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2022. - Т. 8, № 4. - С. 343-353. - DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353. - EDN FICKYY.
13. Ероян, А. Г. Современный подвижной состав железнодорожного транспорта. Основные тенденции в транспортном машиностроении / А. Г. Ероян. - Текст : непосредственный // Экономика и управление: проблемы, решения. - 2020. - Т. 2, № 3(99). - С. 47-52. - DOI 10.34684/ek.up.r.g.2020.03.02.008. - EDN XPFONC.
14. Воробьев, И. М. Конструктор формирования услуг доставки грузов железнодорожным транспортом на сети ОАО «РЖД» / И. М. Воробьев, А. В. Новичихин, К. Е. Ковалев. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2022. - Т. 8, № 4. - С. 367-376. - DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-04-367-376. - EDN SRICKB.
15. Маловецкая, Е. В. Моделирование процесса поездообразования при переходе на твердые нитки графика / Е. В. Маловецкая. - Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. - 2018. - Т. 1. - С. 165-171. - EDN XSHXVB.
16. Цифровая прогнозная макромодель движения поездопотоков ЭЛЬБРУС-М / В. Ю. Кирикин, А. Г. Сахаров, С. А. Виноградов [и др.]. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 4. - С. 4-11. - EDN IXTWHV.
17. Шипулин, А. В. Автоматизированное построение прогнозируемого графика движения поездов : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шипулин Александр Валерьевич ; место защиты: ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения». - Екатеринбург, 2014. - 156 с. : ил. - EDN FJIEXZ.
18. О возможности применения в управлении железнодорожными транспортными системами и перевозочным процессом искусственного интеллекта / А. Т. Осьминин, А. Н. Баушев, И. И. Осьминина, А. А. Шатохин. - Текст : непосредственный // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : сборник трудов научно-практической конференции с международным участием (20-21 октября 2021 г., Москва) ; под общ. ред. Г. М. Биленко, И. М. Басырова ; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта, Рос. открытая акад. транспорта. - Москва : РУТ (МИИТ): POAT, 2022. - С. 332-343. - EDN VUOKMS.

19. Осокин, О. В. Расчёт и оптимизация полигонов с использованием имитационного моделирования / О. В. Осокин, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы : материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. - С. 315-327. - DOI 10.30932/9785002446094-2024-315-327. - EDN JERAFFE.
20. Распоряжение ОАО «РЖД» от 05.04.2014 № 859р (ред. от 13.10.2020) «О нумерации поездов для графика движения». - Текст : непосредственный.
21. Фалалеева, Т. А. Аспекты взаимодействия станции и прилегающих участков при определении пропускной способности / Т. А. Фалалеева, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Инновационный транспорт. - 2022. - № 4(46). - С. 72-76. - DOI 10.20291/2311-164X-2022-4-72-76. - EDN WEUWUM.
22. Колокольников, В. С. Влияние структуры поездопотока на пропускную способность станции и перегонов / В. С. Колокольников, Т. А. Фалалеева. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2024. - № 1(93). - С. 79-89. - DOI 10.46973/0201-727X_2023_4_79. - EDN GCYSTB.
23. Колокольников, В. С. Ограничение входного потока на станции в зависимости от загрузки каналов и бункеров / В. С. Колокольников, Т. А. Фалалеева. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 3(82). - С. 42-48. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-3-42-48. - EDN SHVESP.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ И УБОРКИ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ С НИЗКИМ ПАССАЖИРОПОТОКОМ



В.Г. Сидоренко



Е.В. Копылова

В статье рассматриваются вопросы текущего содержания и уборки остановочных пунктов на железнодорожном транспорте и других аналогичных работ, качество выполнения которых оказывает значительное влияние на уровень оценки деятельности ОАО «РЖД». Предложена технология обслуживания остановочных пунктов с низким пассажиропотоком мобильными бригадами. Выполнена математическая постановка соответствующей задачи оптимизации.

Ключевые слова: остановочный пункт, мобильная бригада, график работы мобильной бригады, текущее содержание и уборка

EDN: SSJVNH

Горючению качества обслуживания пассажиров и их комфорта не только в самих транспортных средствах, но и на объектах пассажирской инфраструктуры, к которым относятся транспортно-пересадочные узлы (ТПУ), вокзальные комплексы и остановочные пункты (ОП), уделяется большое внимание в деятельности ОАО «РЖД». Качество выполнения услуг, предоставляемые на территории ОП,

к которым относятся текущее содержание, а также уборка пассажирских обустройств с низким пассажиропотоком, оказывают значительное влияние на уровень оценки деятельности ОАО «РЖД» [1;2].

Пассажирские обустройства входят в состав объектов пассажирской инфраструктуры. Перечисленные объекты предназначены для посадки-высадки пассажиров в транспортные средства, ожидания посадки,

Сидоренко Валентина Геннадьевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), Почетный работник сферы образования Российской Федерации, действительный член Российской академии транспорта и Академии электротехнических наук Российской Федерации. Область научных интересов: внедрение цифровых технологий в управление технологическими процессами и бизнес-процессами планирования, управления и обучения на транспорте, создание интеллектуальных систем управления с целью повышения эффективности автоматизированного управления этими процессами, создание цифровых двойников транспортных систем. Автор 265 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

Копылова Екатерина Витальевна, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация перевозок на железнодорожном транспорте, управление транспортными процессами, логистика пассажирских перевозок, организация работы вокзальных комплексов и транспортно-пересадочных узлов, стандартизация и сертификация услуг, качество транспортных услуг. Автор 64 научных работ.

Туманов Михаил Андреевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация перевозок на железнодорожном транспорте, управление транспортными процессами, качество транспортных услуг, цифровые технологии, интеллектуальные системы управления на транспорте. Автор 12 научных работ.

Копылов Василий Артемович, студент Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация перевозок на железнодорожном транспорте, управление транспортными процессами, логистика пассажирских перевозок, организация работы вокзальных комплексов и транспортно-пересадочных узлов. Автор четырех научных работ.

В.Г. Сидоренко, Е.В. Копылова, М.А. Туманов, В.А. Копылов
«ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ И УБОРКИ
ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ С НИЗКИМ ПАССАЖИРОПОТОКОМ»

оказания сопутствующих и дополнительных услуг пассажирам и посетителям в соответствии с классом или категорией объекта.

Категорирование ОП осуществляется на основании размера среднесуточного пассажиропотока [3]:

- категория А – свыше 7000 чел./сут;
- категория В – от 4000 до 7000 чел./сут;
- категория С – от 500 до 4000 чел./сут;
- категория D – менее 50 чел./сут.

При присвоении классов вокзальным комплексам (внеклассный, I, II, III, IV, V класс) учитывается ряд показателей: число отправленных пассажиров в каждом виде сообщений, общая площадь (помещений, платформ и привокзальных территорий), средний доход с единицы площади.

Классификация ТПУ базируется на классификации ОП и вокзальных комплексов, а значит также учитывает размер обслуживаемого пассажиропотока.

Помимо процессов обслуживания пассажиров и посетителей пассажирская инфраструктура выполняет важную имиджевую функцию для железнодорожного транспорта – это первое, что видят пассажир, прия на железнодорожный транспорт. Завершается поездка также на объекте пассажирской инфраструктуры.

Для поддержания территорий и обустройства ТПУ, вокзальных комплексов и ОП в надлежащем санитарно-культурном и санитарно-техническом состоянии выполняется ряд работ по текущему содержанию и уборке. Технология текущего содержания и уборки пассажирской инфраструктуры зависит от различных факторов, в том числе:

- убираемых поверхностей (металл, бетон, стекло, гранит и т.д.);
- степени и характера загрязнения;
- допустимых к использованию чистящих средств для каждой поверхности;
- применяемых инструментов;
- используемых средств механизации и автоматизации;
- привлекаемых работников различной квалификации;
- графика работы соответствующего объекта в части непосредственно обслуживания пассажиров и посетителей.

По характеру возникновения мусора, загрязнений и других факторов, требующих проведения работ по текущему содержанию и уборке пассажирских обустройств, можно условно выделить несколько групп загрязнителей:

- природные (листва, трава, снег, наледь и т.д.)

• обусловленные работой железной дороги (налет от колодок, проходящих грузовых поездов; пыль от перевозимых грузов и т.д.);

• бытовые (твердые коммунальные отходы, несортируемый бытовой мусор, вандальные надписи и т.д.).

По вариантам возникновения загрязнений и мусора видно, что наличие небольшого пассажиропотока не всегда означает, что на вокзальном комплексе или ОП требуется меньше мероприятий по поддержанию санитарно-технического и санитарно-культурного состояния объектов. Отдельные загрязнения на небольших ОП могут быть более сильными, чем на ОП с большим пассажиропотоком (налет от колодок грузовых поездов, пыль от верхнего строения пути и грузов, вандальные надписи из-за отсутствия охраны, большие объемы покоса травы из-за отсутствия плотной застройки и дорожного покрытия в полосе отвода).

В современных условиях клиентаориентированности и необходимости достижения национальной цели Российской Федерации «комфортная и безопасная среда для жизни», неотъемлемой составляющей которой является транспорт, необходимо переходить к концепции поддержания единого уровня чистоты на всех объектах пассажирской инфраструктуры. Однако это достаточно затруднительно для удаленных ОП в связи с рядом их особенностей: низкий пассажиропоток, удаленное расположение и ограниченная транспортная доступность, зачастую железнодорожный транспорт является безальтернативным, небольшие размеры движения пригородных поездов, отсутствие отапливаемых помещений и мест для хранения инвентаря. В связи с перечисленными особенностями содержать на таких ОП штат сотрудников нецелесообразно. При этом необходимо обеспечивать текущее содержание и уборку элементов пассажирской инфраструктуры. Выходом из сложившейся ситуации может стать использование мобильных бригад для выполнения данных работ.

Для использования мобильных бригад необходимо решить ряд задач, касающихся состава бригады, оснащения ее необходимым оборудованием и инвентарем, организации труда и отдыха. Основной задачей является формирование графика работы мобильных бригад, совокупность которых образует график текущего содержания и уборки пассажирских обустройств (ГТСиУПО).

При решении поставленной задачи авторы учили отечественный и зарубежный опыт, накопленный при решении аналогичных задач планирования перевозочного процесса скоростного транс-

порта городских агломераций [4–10], технического обслуживания путевого хозяйства [11–14], технологических процессов на линейных объектах пассажирского комплекса железнодорожного транспорта [15].

Формализация описания исходных данных и результатов построения ГТСиУПО

Для формализации задачи построения ГТСиУПО авторами по аналогии с показавшими свою эффективность при решении других задач планирования формализациями [9;16] введено описание исходных данных и результатов построения в формате кортежей (последовательностей компонентов). Апробированный в ходе автоматизации построения графика движения поездов, графика оборота подвижного состава и графика работы локомотивных бригад паттерн построения структур данных показал свою открытость к дополнению и учету особенностей реальных задач. Введены следующие понятия для формализации описания исходных данных, объекты каждого класса объединены во множества:

1. ОП S – это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ – наименование (уникальный идентификатор) ОП.

- N_s – число ОП, в которых надо выполнить работу в рамках ГТСиУПО.

2. Бригада W – это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ – уникальный идентификатор бригады;
- V – коэффициент при оплате выполнения работ, определяемый квалификацией сотрудников;

- K – показатель квалификации сотрудников, учитываемый при расчете трудоемкости работ;

- S – ОП постоянной дислокации (приписки) бригады.

N_w – число бригад, задействованных в выполнении ГТСиУПО. При необходимости для бригад может быть предусмотрен изменяемый состав, тогда потребуется ввести еще понятие «работника», совокупность которых составляет бригаду.

3. Тип уборочной техники M – это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ – наименование (уникальный идентификатор) данного типа уборочной техники;

- V – нормативная стоимость единицы времени работы данного типа уборочной техники;

- P – плановая периодичность выполнения технического обслуживания данного типа уборочной техники;

- L – плановая длительность выполнения технического обслуживания данного типа уборочной техники.

N_m – число типов уборочной техники, задействованных в реализации ГТСиУПО.

4. Единица уборочной техники C – это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ – уникальный идентификатор единицы уборочной техники;

- S – ОП постоянной дислокации (приписки) единицы уборочной техники.

N_c – число единиц уборочной техники, задействованной в реализации ГТСиУПО.

5. Тип работы T – это кортеж, включающий в себя следующие компоненты (поля):

- $Name$ – наименование (уникальный идентификатор) данного типа работы (уровень сложности, идентификатор) (обычная, генеральная, простой, перемещение между пунктами как работников, так и уборочной техники);

- P – плановая периодичность выполнения данного типа работы;

- L – плановая длительность выполнения данного типа работы;

- V – норматив оплаты труда за единицу времени выполнения данного типа работы;

- B – размер штрафа за единицу времени при несвоевременном выполнении данного типа работы;

- M – тип уборочной техники, необходимый для проведения данного типа работы.

N_t – число типов работ, к которым могут привлекаться работники в рамках ГТСиУПО.

Для формализации описания результатов построения введено понятие «работа» A – кортежа, включающего в себя следующие компоненты (поля):

- S – ОП, на котором проводится работа;

- T – выполняемый тип работ;

- t_p – плановое время начала выполнения работ с указанием суток;

- t_b – время начала выполнения работ с указанием суток;

- L – реальная длительность выполнения работы;

- W – бригада, выполняющая работу;

- C – оборудование, задействованное в выполнении работ.

N_A – число работ, которые необходимо выполнить в рамках ГТСиУПО. Множество работ включает в себя, как заданные требованиями к уборке ОП, так и дополнительные, связанные с перемещениями работников и техники или их пространством. Совокупность всех работ всех типов A описывает ГТСиУПО.

Решение задачи проводится с использованием информации:

- о возможностях и стоимости перемещения работников и техники между ОП, представленной в графовой и (или) табличной форме;
- графике движения задействованных для перемещения работников и техники транспортных средств.

В ходе построения ГТСиУПО для конкретного транспортного предприятия предложенная формализация может быть уточнена с учетом особенностей использования ресурсов конкретных видов.

Математическая постановка задачи оптимизации ГТСиУПО

Целью построения ГТСиУПО является выполнение всех требований по своевременной уборке всех ОП при минимальных затратах человеческих и материальных ресурсов. В этом случае с использованием введенной формализации критерий качества R_T ГТСиУПО можно сформулировать следующим образом:

$$Crit = \lambda_w R_w + \lambda_A R_A + \lambda_C R_C + \lambda_R R_R \rightarrow \min, \quad (1)$$

где R_w – затраты на оплату труда и перемещения работников;

R_A – затраты на оплату штрафов за несвоевременную уборку, если это присутствует в ГТСиУПО;

R_C – затраты на оплату использования и перемещения уборочной техники;

R_R – затраты на страхование рисков, связанных с нарушением графика движения задействованных для перемещения работников и техники транспортных средств, несвоевременным прибытием работников и уборочной техники, несвоевременным окончанием выполнения работ и другими причинами нарушения ГТСиУПО.

$\lambda_w, \lambda_A, \lambda_C, \lambda_R$ – весовые коэффициенты, нормирующие влияние затрат R_w, R_A, R_C, R_R , соответственно, на значение критерия качества; коэффициенты могут принимать значения в интервале $[0;1]$, значение по умолчанию – 1.

Затраты на оплату труда и перемещения работников R_w с учетом введенной формализации могут рассчитываться, например, следующим образом:

$$R_w = \sum_{i=1}^{N_A} (A_i : T : V \cdot A_i : L \cdot A_i : W : V), \quad (2)$$

где i – индекс работы из рассматриваемого множества, параметр суммирования;

A_i – работа с индексом i .

Затраты на оплату штрафов за несвоевременную уборку R_A могут рассчитываться, например, на основе

величины отклонения времени начала уборки от планового времени:

$$R_A = \sum_{i=1}^{N_A} \begin{cases} A_i : T : B(A_i : t_b - A_i : t_p), & \text{если } A_i : t_b > A_i : t_p \\ 0, & \text{если } A_i : t_b \leq A_i : t_p \end{cases}. \quad (3)$$

Затраты на оплату использования и перемещения уборочной техники R_C с учетом введенной формализации могут рассчитываться, например, следующим образом:

$$R_C = \sum_{i=1}^{N_A} (A_i : L \cdot A_i : C : M : V). \quad (4)$$

Затраты на страхование рисков R_R могут рассчитываться в соответствии с принятой на предприятии методикой управления рисками (для ОАО «РЖД» такой методикой является методика УРРАН) с учетом имеющихся статистических данных и опыта проведения подобных работ.

Ограничениями при решении этой задачи построения ГТСиУПО являются:

- требования выполнения всех работ всех N_T типов на всех ОП N_S имеющимся множеством бригад и единиц уборочной техники:

$$\forall A_i, 0 < A_i : W \leq N_W;$$

$$\text{если } A_i : T : M > 0, \text{ то } A_i : C > 0 \text{ и } 0 \leq N_W A_i : C = A_i : T : M. \quad (5)$$

• отсутствие одновременного назначения на выполнение одной и той же работы более одной бригады и единицы уборочной техники – это не допускается на уровне введенной формализации;

• отсутствие назначения бригаде и единице уборочной техники более одной работы в один и тот же момент времени;

• требования Трудового кодекса РФ и других нормативных актов, регламентирующих режим рабочего времени и времени отдыха соответствующих работников конкретного транспортного предприятия.

Логика ограничений при переходе от одной транспортной системы к другой не меняется. Меняются числовые параметры, отражающие особенности конкретного транспортного предприятия, что учитывается путем изменения соответствующих настроек средств автоматизации, выполняющих построение ГТСиУПО. Особенности организации работы бригад с учетом отпусков, больничных и нестандартных ситуаций, а также уборочной техники с учетом ее исправности и необходимости технического обслуживания могут быть учтены путем введения соответствующих ограничений на интервалы времени, когда работники и техника могут быть задействованы в реализации заданного ГТСиУПО.

Привлечение работников и уборочной техники на случай нестандартных ситуаций может рассматриваться как еще один тип работ, который также должен учитываться.

Перед началом решения задачи построения ГТСиУПО следует проверить выполнение необходимых условий удовлетворения потребности в уборке ГТСиУПО, наличия необходимых для этого трудовых ресурсов и уборочной техники. Невыполнение этих условий однозначно приведет к затратам на оплату штрафов.

Выбор методов решения задачи оптимизации ГТСиУПО

При решении задач, подобных задаче построения ГТСиУПО, хорошо себя зарекомендовали генетический алгоритм [16;17], рекурсивные алгоритмы, использующие метод динамического программирования и принцип оптимальности Беллмана, жадные алгоритмы [9;18]. Рекурсивные алгоритмы будут базироваться на алгоритмах обхода графов в глубину или ширину[19;20] и включать в себя несколько вложенных циклов: по множествам ОП, бригад, техники и т.п. В зависимости от последовательности вложения циклов и направления перебора (например, от самого дальнего от пункта постоянной дислокации ОП или, наоборот, самого ближнего) будет меняться множество рассмотренных вариантов или значения

показателей равномерности занятости бригад и уборочной техники.

Заключение

Количество остановочных пунктов категории D (с пассажиропотоком менее 500 чел/сут) превышает 9 000, поэтому решение поставленной задачи имеет большое практическое значение. Разработанные авторами математическая формализация задачи и постановка соответствующей задачи оптимизации могут стать основой для создания автоматизированной системы управления работами по текущему содержанию и уборке ОП мобильными бригадами. Функционал данной системы может предусматривать не только разработку графиков работы мобильных бригад и их оперативную корректировку в случае необходимости, но и формирование цифровых технологических карт выполнения различных работ, назначение, контроль и учет выполненных мобильной бригадой заданий, анализ результатов для разработки комплекса предупреждающих и корректирующих мероприятий. Реализация такого функционала способствует обеспечению единых стандартов чистоты и комфорта на ОП всех категорий, в том числе с небольшим пассажиропотоком и, как следствие, повышению индекса удовлетворенности пассажиров поездкой и росту потребительской лояльности к железнодорожному транспорту.



Литература

1. Вакуленко, С. П. Клиентоориентированность пассажирского комплекса РЖД / С. П. Вакуленко, Е. В. Копылова. - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. - 2023. - № 4. - С. 38-47.
2. СТО РЖД 03.008–2022. Услуги на железнодорожном транспорте. Методика оценки качества услуг, оказываемых пассажирам. : стандарт ОАО «РЖД» : издание официальное : утвержден и введен в действие Распоряжением ОАО «РЖД» от 29 сентября 2022 г. № 2509/р : введен впервые : дата введения 2022-10-01 / разработан федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» (РУТ (МИИТ)). - Москва : ОАО «РЖД», 2022. - 22 с. - Текст : непосредственный.
3. ГОСТ Р 5817–2018. Услуги на железнодорожном транспорте. Требования к обслуживанию пассажиров на остановочных пунктах = Services in railway transport. Requirements for passenger service at flag stations : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 июля 2018 г. №401-ст. : введен впервые : дата введения 2018-12-01 / разработан федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» (РУТ (МИИТ)). - Москва : Стандартинформ, 2018. - 16 с. - Текст : непосредственный.
4. Pang, Shinsiong & Chen, Mu-Chen. (2023). Optimize railway crew scheduling by using modified bacterial foraging algorithm. Computers & Industrial Engineering. 180. 109218. DOI: 10.1016/j.cie.2023.109218.
5. Jaroslav Janacek, Michal Kohani, Matyas Koniorczyk, Peter Marton, Optimization of periodic crew schedules with application of column generation method // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. - 2017. - Vol. 83. - Pp. 165-178. DOI: 10.1016/j.trc.2017.07.008.

В.Г. Сидоренко, Е.В. Копылова, М.А. Туманов, В.А. Копылов
«ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ И УБОРКИ
ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ С НИЗКИМ ПАССАЖИРОПОТОКОМ»

6. Neufeld, Janis & Scheffler, Martin & Tamke, Felix & Hoffmann, Kirsten & Buscher, Udo. (2021). An Efficient Column Generation Approach for Practical Railway Crew Scheduling with Attendance Rates. European Journal of Operational Research. 293. DOI: 10.1016/j.ejor.2020.12.058.
7. Rähnemann, Christian & Thonemann, Ulrich. (2020). Railway crew scheduling with semi-flexible timetables. OR Spectrum. 42. DOI: 10.1007/s00291-020-00592-y.
8. Heil, Julia. (2019). A Solution Approach for Railway Crew Scheduling with Attendance Rates for Multiple Networks. DOI: 10.1007/978-3-030-18500-8_68. - Текст : электронный.
9. Маркевич, А. В. Планирование работы машинистов городского рельсового транспорта. / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВЕСТНИК ВНИИЖТ). - 2024. - 83(3). - С. 259-269.
10. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко, Е. В. Копылова, А. И. Сафонов, М. А. Туманов. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 1. - С. 33-48.
11. Применение цифровизации при планировании контингента по техническому обслуживанию железнодорожной инфраструктуры / Н. И. Коваленко, В. А. Бучкин, Ю. А. Быков, Е. Н. Гринь. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19, № 2(93). - С. 116-121.
12. Коваленко, Н. И. Оценка рисков нарушения численности персонала в путевом хозяйстве / Н. И. Коваленко, А. Н. Коваленко. - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2024. - № 2. - С. 25-29.
13. Полянский, А. В. Инженерно-интеллектуальное обеспечение технологических процессов в железнодорожном строительстве / А. В. Полянский. - Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Мир науки». - 2023. - 245 с. - Текст : непосредственный.
14. Гринчар, Н. Г. Об использовании парков путевых машин / Н. Г. Гринчар. - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2023. - № 6. - С. 7-10.
15. Копылова, Е. В. Проблемы и перспективы создания интеллектуальных систем управления технологическими процессами на линейных объектах пассажирского комплекса железнодорожного транспорта / Е. В. Копылова, М. А. Туманов, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 4. - С. 95-100.
16. Baranov, L.A. Application of Genetic Algorithms for the Planning of Urban Rail Transportation System / L.A. Baranov, V.G. Sidorenko, A.I. Safronov, K.M. Aung // Traffic Flow Theory and Research in Civil and Transportation Engineering. TSTP 2021. (Technical Conference «Transport Systems: Theory and Practice» Online, September 20-21, 2021) Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. - 2022. - Pp. 21-39. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93370-8_2.
17. Сафонов, А. И. Применение генетических алгоритмов при решении задач планирования перевозочного процесса городской рельсовой транспортной системы / А. И. Сафонов, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 1. - С. 49-62.
18. Беллман, Ричард. Динамическое программирование / Ричард Беллман : пер. с англ. И. М. Андреевой [и др.] ; под ред. Н. Н. Воробьева. - Москва : Иностранная литература, 1960. - 400 с. - Текст : непосредственный.
19. Оре, Ойстин. Теория графов = Theory of graphs / Ойстин Оре : пер. с англ. И. Н. Врублевской; под ред. Н. Н. Воробьева. - Изд. 2-е. - Москва : URSS : Либроком, 2008 (Москва: Ленанд). - 352 с. - Текст : непосредственный.
20. Харари, Фрэнк. Теория графов / Фрэнк Харари : пер. с англ. В. П. Козырева ; под ред. Г. П. Гаврилова. - Москва : Мир, 1973. - 300 с. Текст : непосредственный.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИНДИКАЦИЙ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



А.Г. Отока



Р.Р. Икака

В статье рассмотрены вопросы применения сверточных нейронных сетей для обнаружения и классификации дефектов, выявляемых при магнитопорошковом контроле деталей и составных частей подвижного состава железных дорог. Предложен вариант алгоритма построения нейронной сети на базе существующей среды программирования Google Colab, библиотек Tensor Flow и Keras и языка программирования Python.

Ключевые слова: магнитопорошковый контроль, детали железнодорожного транспорта, магнитопорошковые индикации

EDN: АЕОТЖК

Целью неразрушающего контроля (НК) технических объектов является не только обнаружение дефектов, но и оценка потенциальной опасности последних. Распознавание дефектов разного типа существенно повышает информативность контроля, позволяет оптимизировать технологические процессы за счет реализации так называемого активного контроля.

В настоящее время наиболее динамично развивающимся направлением при решении задач НК является анализ дефектоскопической информации в виде изображений, причем распознавание дефектов сводится к визуальному распознаванию изображения обнаруженного дефекта человеком-оператором. Такое распознавание имеет ряд естественных недостатков:

субъективизм, малая надежность, зависимость от компетентности оператора и т.д.

Достоверность и объективность оценки полученных результатов непосредственно зависят от используемых средств и способов регистрации, правильный выбор которых обеспечивает технико-экономическую эффективность контроля. Применение телевизионных и фотографических средств для регистрации результатов НК с высокой точностью повышает надежность и достоверность обнаружения имеющихся на поверхности изделия дефектов, а также позволяет получить данные о степени опасности дефектов.

В настоящее время для решения задач НК применяются автоматизированные системы обработки

Отока Александр Генрикович, аспирант кафедры «Вагоны» Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), начальник пункта технического обслуживания вагонов Гомель-пассажирский Гомельского вагонного депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», г. Гомель, Республика Беларусь. Область научных интересов: повышение эффективности и достоверности методов неразрушающего контроля на железнодорожном транспорте, автоматизация магнитопорошковой дефектоскопии при ремонте деталей и составных частей колесных пар. Автор более 50 научных работ. Имеет два патента на изобретения.

Икака Ричард Робертович, инженер-конструктор ОАО «СтанкоГомель», г. Гомель, Республика Беларусь. Область научных интересов: применение искусственного интеллекта для решения различных задач в промышленном секторе экономики, изучение возможности использования сверточных нейронных сетей при поиске и идентификации дефектов в условиях проведения неразрушающего контроля магнитопорошковым методом различных объектов контроля.

Холодилов Олег Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны» Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), г. Гомель, Республика Беларусь. Область научных интересов: материаловедение, трение и износ в машинах, неразрушающий контроль и техническая диагностика. Автор более 250 научных работ. Имеет более 10 патентов на изобретения.

А.Г. Отока, Р.Р. Икака, О.В. Холодилов

«ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИНДИКАЦИЙ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

изображений, машинного зрения. В качестве приемника изображения используются различные видео-контрольные устройства. Программное обеспечение, входящее в состав этих систем, позволяет с разной степенью объективности проводить количественный анализ изображения дефектов.

Применение специализированных методов и алгоритмов автоматического распознавания изображений для систем при реализации различных методов НК позволяет существенно повысить их эффективность. Одними из таких алгоритмов в настоящее время являются алгоритмы, основанные на использовании искусственных нейронных сетей (НС) (neural network – NN) [1–3].

Области применения искусственных НС весьма разнообразны. Нейронные сети нашли применение в самых различных сферах деятельности, таких как экономика и бизнес; медицина и здравоохранение; робототехника; охранные системы; промышленность химическая, нефтеперерабатывающая; энергетика [4].

Традиционные методы НК, такие как радиационный, ультразвуковой, магнитный и др., имеют свои особенности и ограничения и требуют при интерпретации результатов участия опытных специалистов. В этой связи возникает потребность в новых методах, которые могут снизить роль человеческого фактора и повысить точность и эффективность НК.

Использование НС в НК позволяет решить такие задачи, как автоматизация и увеличение скорости контроля; повышение точности; возможность обрабатывать различные типы данных; обучение на основе имеющихся данных.

В настоящее время искусственные НС уже нашли применение в таких видах НК как радиационный [4;5], акустический (ультразвуковой, акусто-эмиссионный) [6;7], вихревоковый [8], тепловой [9], капиллярный [10–12].

Случаев применения НС для анализа и классификации дефектов при магнитно-порошковом контроле (МПК) авторам неизвестно.

В работах [13;14] нами была рассмотрена возможность использования систем видеонаблюдения и нейросетевых технологий при МПК колесных пар. Применение специализированного программного обеспечения и НС позволяет проводить анализ изображений, на которых имеется участок с высокой интенсивностью свечения люминесцентной суспензии с возможностью выдачи сообщения оператору о наличии дефекта.

Скопление магнитного порошка над дефектом приводит к изменению интенсивности его свечения, что может использоваться в качестве параметра для обучения НС.

В настоящее время существует большое число подходов к распознаванию дефектов различного типа. Построены автоматизированные системы, использующие для их классификации статистические методы машинного обучения. Такое распознавание имеет ряд естественных недостатков: субъективизм, малая надежность, зависимость от компетентности оператора и т.д.

Другим подходом к распознаванию дефектов может стать использование НС. В отличие от статистических методов, НС применяются для решения трудно формализуемых задач, для которых сложно найти точный алгоритм решения.

Разновидностью НС, используемых при анализе сложных объектов, являются сверточные НС (англ. convolutional neural network, CNN), которые могут эффективно использоваться для распознавания и классификации изображений [15–18].

Свое название архитектура сети получила из-за наличия операции свертки, суть которой в том, что каждый фрагмент изображения умножается на матрицу (ядро) свертки поэлементно, а результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения.

Сверточная НС обычно представляет собой чередование сверточных слоев (convolution layers), субдискретизирующих слоев (subsampling layers) и при-

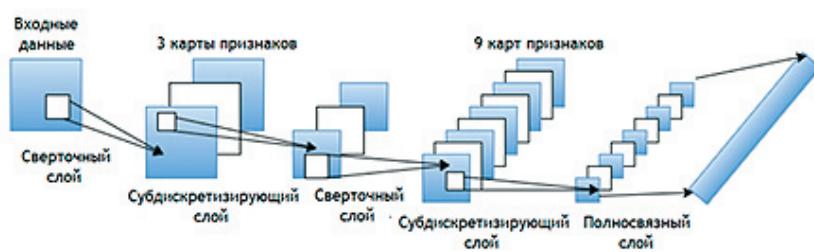


Рис. 1. Пример архитектуры сверточной НС для задачи классификации изображения

наличии полносвязных слоев (fully-connected layer) на выходе (рис. 1). Все три вида слоев могут чередоваться в произвольном порядке.

Основная идея сверточных НС заключается в том, что при обучении НС на основе исследуемых изображений одного класса, она самостоятельно формирует наборы признаков (так называемые карты признаков), которые в полной мере характеризуют этот самый класс, и в то же время, отделяют их от других изображений. Все это реализуется в сети, с помощью так называемых сверточных слоев, которые составляют карты признаков изображения, и слоев подвыборки, которые уменьшают масштаб изображения. Чередование данных слоев позволяет составить карты признаков, с помощью которых изображения классифицируются.

На данный момент не существует обоснованных рекомендаций для выбора архитектуры сверточных НС. Сеть можно собрать из блоков, описанных выше, почти в любом порядке и любых размеров.

Основной особенностью и преимуществом НС перед традиционными алгоритмами – это возможность обучения. В процессе обучения НС способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщение. То есть, при успешном обучении, сеть позволит получить результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также в случае представления неполных и/или «зашумленных», частично искаженных данных.

Цель работы

Показать возможность использования сверточных НС при проведении МПК и разработать алгоритм построения НС на базе уже существующей среды программирования и библиотек.

Методика исследования. Используемое оборудование

Для реализации рассматриваемых при МПК алгоритмов анализа и классификации дефектов можно использовать одну из существующих библиотек.

Комплект программного обеспечения сверточных НС имеет четыре основных составляющих, показанных на рис. 2.

Эти популярные библиотеки были выбраны исходя из их возможности поддержки различных платформ и языков программирования, а также совместимости между собой с практической точки зрения.

Также в нашем случае был использован ряд других библиотек для написания кода, но которые напрямую не связаны с разработкой НС.

Из-за своей доступности и простоты в качестве платформы (среды программирования) был выбран Google Colab – облачный сервис Jupyter в виде программы-блокнота для записи, передачи и запуска кода в Google CoLaboratory, доступный с любой точки мира для написания кода или создания документации.

В качестве языка программирования был выбран Python – высоконивневый язык программирования, отличающийся эффективностью, простотой и универсальностью использования.

Цифровую обработку полученных изображений можно представить в виде ряда алгоритмов: 1. Бинаризация изображения. 2. Выделение фрагментов изображения. 3. Определение формы магнитопорошкового следа. 4. Определение площади следа и его линейных размеров.

Наличие такого рода алгоритмов, применительно к изображениям различного качества, позволяет в автоматическом режиме сформировать представление об объекте контроля и выдать заключение о пригодности объекта контроля к эксплуатации. Методика иссле-

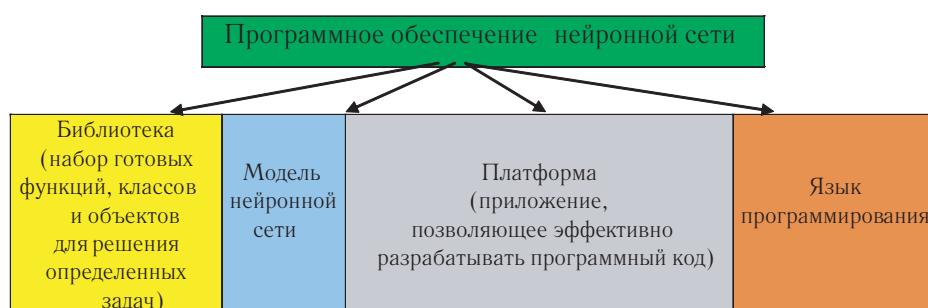


Рис. 2. Структура сверточной НС

А.Г. Отока, Р.Р. Икака, О.В. Холодилов
«ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИНДИКАЦИЙ
ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

дования заключается в последовательной обработке цифровых изображений с различными характеристиками (светочувствительность, разрешение, контрастность магнитопорошкового следа, УФ-освещенность объекта контроля, общая освещенность рабочего места и др.) и выявлении особенностей для каждого изображения.

Определение реакций алгоритмов на те или иные характеристики изображений позволяют выявить уязвимые места самих алгоритмов или же их сильные стороны. Алгоритмы автоматической обработки цифровых изображений могут быть реализованы в виде программного пакета и задействованы при обработке результатов [12;22;23].

В нашем эксперименте для обучения НС был подготовлен набор входных данных, состоящий из 60 изображений (файлов в формате *.jpg).

Выбор формата изображения зависит от конкретной задачи и требований к его качеству. Многие модели машинного обучения адаптированы для работы с изображениями в формате *.jpg. Обработка изображений в таком формате может быть оптимизирована для их быстрого чтения и загрузки. Поэтому использование того или иного формата непринципиально и формат *.jpg был выбран нами в силу своей популярности. Причем какой бы формат мы ни использовали, сверточная НС (СНС) осуществляет дальнейшее сжатие данных на фотографии. Отсюда и независимость как таковая от формата представления изображения.

В качестве изображений использовались фотографии деталей и составных частей вагонов, сделанные авторами в процессе проведения МПК в одинаковых

условиях равномерной люминесцентной освещенности, созданной УФ-источником излучения. Этот набор данных содержит в себе выборку, состоящую из двух классов изображений:

- изображения, содержащие дефект «def». Дефект представляет скопление магнитного порошка над естественной трещиной или искусственным дефектом с уже известными размерами в виде заводской вставки;

- изображения, содержащие фон («fon»), оставленный после проведения МПК с использованием люминесцентной суспензии в условиях отсутствия дефектов на поверхности. Фон представляет собой равномерное распределение частиц магнитного порошка на участке объекта контроля после операции намагничивания и нанесения люминесцентной суспензии.

На рис. 3 приведена схема эксперимента, который состоял из двух этапов: подготовительного и основного. На подготовительном этапе осуществлялся непосредственно сам МПК выбранных объектов, а на основном этапе происходила цифровая регистрация изображений и их дальнейшая обработка.

Объект контроля в процессе МПК, освещался при помощи УФ-источника излучения(Ultrafire WF-501B UV, Китай) с длиной волны 395 нм. С помощью цифровой фотокамеры с разрешением 64 Мп (фокусное расстояние $F=150$ мм) регистрировали изображение полученных индикаций на участке объекта контроля, после чего полученное цифровое изображение загружали на персональный компьютер для дальнейшей обработки (см. рис. 3). Освещенность контролируемой поверхности видимым светом измерялась циф-

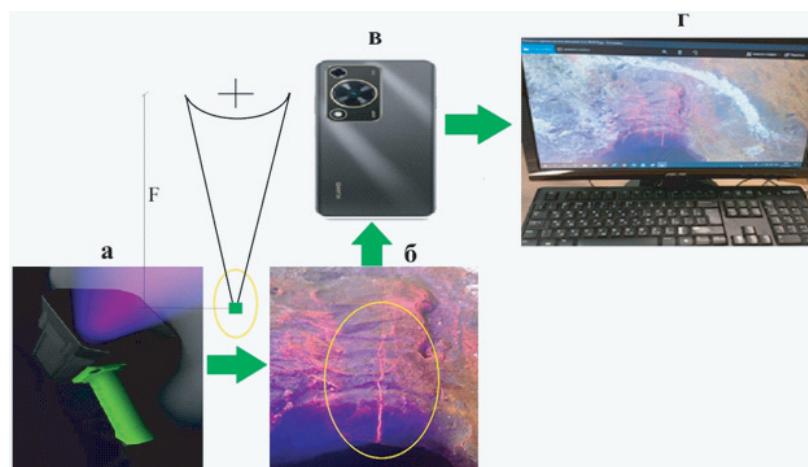


Рис. 3. Условная схема эксперимента: а – УФ-источник излучения; б – изображение участка объекта контроля после проведения МПК; в – цифровая камера; г – компьютер с программным обеспечением

ровым мультиметром (MASTECH MS-8229, Китай) и не превышала 20 лк.

В ходе эксперимента для получения качественных фотографий полученных индикаций после проведения МПК соблюдались такие параметры как равномерная УФ-освещенность поверхности объекта контроля (расстояние выдерживалось за счет стационарного штатива с возможностью фиксации УФ-источника излучения) и одинаковое расстояние от цифровой фотокамеры до объекта контроля.

Магнитопорошковому контролю подвергались следующие детали: маятниковая подвеска автосцепного устройства с продольной и поперечными трещинами, втулка шпинтона с продольной трещиной, фрагмент цельнокатаного колеса с поперечной трещиной на внутренней части обода, ролик подшипника с искусственным дефектом в виде вставки, гайка шестиугранная с фланцем поводка тележки с продольной трещиной).

По набору входных данных (рис. 4) можно предсказать результат, например, фоновое свечение индикатора или свечение дефекта (трещина, волосовина, ложные индикации по рискам и др.).

Итоговая оценка качества обучения НС после завершения процесса обучения проводилась на тестовом наборе данных, который также представлял подборку изображений, не входящих в первоначальный датасет¹, с магнитопорошковыми индикациями на упомянутых выше деталях.

Учитывая небольшое количество имеющихся изображений, важно было получить максимально хороший результат при распознавании дефекта, вероятность которого можно оценить в процентах. Наиболее оптимальным методом обучения является правило «80 на 20», т. е. 80% всех изображений НС будет использовать в качестве материалов для обучения, а оставшиеся 20% используются для проверки правильности работы НС. Это правило используется

¹Датасет – совокупность данных, систематизированных в определенном формате (в нашем случае датасетом является набор фотографий в формате «*.jpg»).

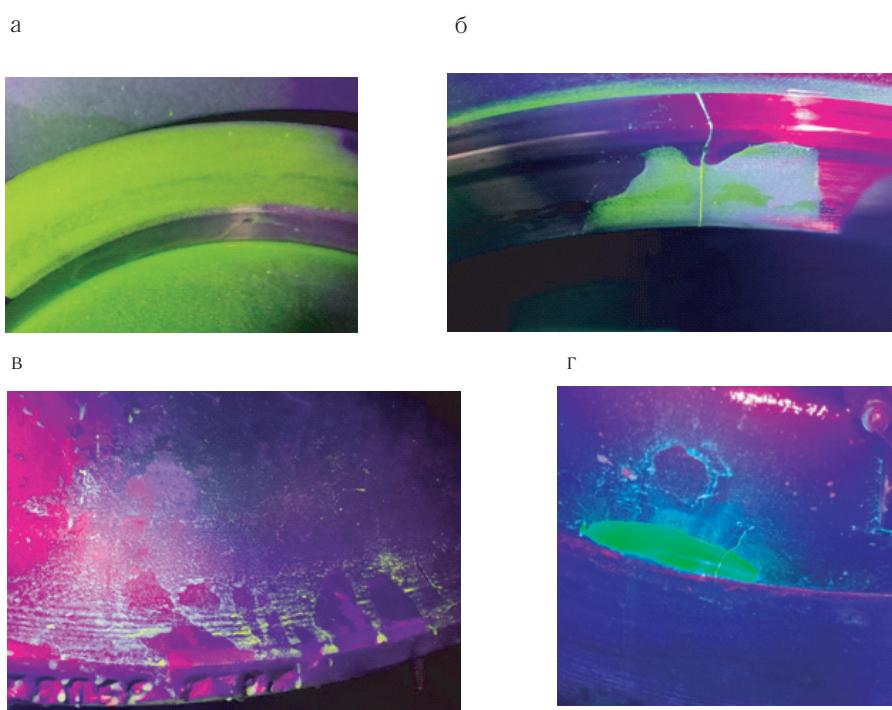


Рис. 4. Пример используемых изображений для формирования входных данных при обучении НС: а – фоновое свечение супензии КСФ-12 на поверхности упорного кольца подшипника буксового узла; б – свечение дефекта (трещины) на поверхности упорного кольца подшипника буксового узла; в – фоновое свечение супензии КСФ-12 на поверхности цельнокатаного колеса колесной пары; г – свечение дефекта (трещины) на поверхности цельнокатаного колеса колесной пары

А.Г. Отока, Р.Р. Икака, О.В. Холодилов
«ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИНДИКАЦИЙ
ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

практически для всех НС, от которых ожидают определенный результат на выходе [24–27].

Результаты исследований и их обсуждение

Последовательность написания кода на языке Python, с помощью которого происходило обучение НС для распознавания и классификации изображений состоит из следующих операций:

1. Импорт нужных нам библиотек в среду разработки (рис. 5).

2. Подключение облачного хранилища, в которое предварительно были загружены изображения

(рис. 6). Так как разработка производится в облачном сервисе, необходимо изображения в него загрузить. Реализовать данную задачу можно разными способами, в том числе подключить облачное хранилище в среду разработки.

3. Создание тестового и проверочного датасета (рис. 7).

4. Кэширование датасета, основной функцией которого является ускорение процесса извлечения данных (рис. 8).

5. Создание и компилирование² модели НС (рис. 9). Для нашей задачи хорошо подошла последовательная архитектура НС, состоящая из блоков свертки

²Без компилятора любой код на языке программирования будет для компьютера просто текстом — он не распознает команды и не сможет их выполнить

```
import matplotlib.pyplot as plt # импорт библиотеки для визуализации данных
import numpy as np # импорт библиотеки позволяющая ускорить работу с многомерными массивами и матрицами
import PIL #импорт библиотеки для обработки изображений
import tensorflow as tf # импорт библиотеки TensorFlow

from tensorflow import keras # импорт API (keras)
from tensorflow.keras import layers # импорт функций из TensorFlow и keras
from tensorflow.keras.models import Sequential # импорт функций из TensorFlow и keras
```

Рис. 5. Ввод библиотек в среду разработки Google Colab

```
from google.colab import drive # обращаемся к функции drive
drive.mount('/content/gdrive', force_remount=True) # подключаем облачное хранилище
```

Рис.6. Подключение облачного хранилища Google Drive

```
batch_size = 32 # размер мини-выборки

# ниже задаем размер изображения
img_width = 180
img_height = 180

# создаем тренеровочный датасет (датасет - массив данных)
train_ds = tf.keras.utils.image_dataset_from_directory(
    dataset_dir, # каталог данных
    validation_split = 0.2, # фун-ция разделения изображений
    subset="training", # вызываемый метод (тренировка)
    seed=123,
    image_size=(img_height, img_width),
    batch_size = batch_size)

# создаем проверочный датасет
val_ds = tf.keras.utils.image_dataset_from_directory(
    dataset_dir,
    validation_split=0.2,
    subset="validation",# вызываемый метод (проверка)
    seed=123,
    image_size=(img_height, img_width),
    batch_size = batch_size)
```

Рис. 7. Код созданного тестового и проверочного датасетов

с максимальным объединяющим слоем в каждом из них, и с полносвязным слоем на 128 единиц, вместе с нелинейной активационной функцией Relu.

6. Обучение НС (рис. 10). Для обучения НС указывалось количество эпох³ обучения и использовался метод fit. Метод fit используется для возвращения объекта, в котором хранятся значения функций потерь для тренировочной и проверочной выборки (датасета).

7. Проверка качества обучения НС, с использованием библиотеки Matplotlib. Определение точности и потерь⁴ НС по статистическим данным в виде графиков.

По результатам обучения НС были получены зависимости точности и потерь навыков обучения и проверки НС (рис. 11).

Видно, что к 10-й эпохе точность навыков обучения и проверки НС растет, а потери навыков обуче-

ния и проверки снижаются. Это говорит о том, что НС к 10-й эпохе начинает хорошо распознавать как тренировочный, так и проверочный датасет. Можно считать, что обучение НС прошло успешно.

В противном случае, как это часто бывает при разработке НС, потери точности при обучении снижаются, однако потери точности при проверке растут.

Это говорит о том, что НС хорошо справляется с изображениями, используемыми при ее тренировке, и плохо справляется с изображениями, используемыми для ее проверки. Это проблема называется overfitting (с англ. переобучение).

Для решения данной проблемы существуют общепринятые методики, такие как:

- увеличение датасета, либо путем поиска новых изображений, либо при помощи техники, которая называется «аугментация датасета». Аугментация — это прием, который позволяет расширить дата-

³Эпоха — один цикл обучения НС на массиве данных.

⁴Точность НС представляет показатель того, насколько правильно НС классифицирует изображения. Потери НС — показатель того, насколько далеко предсказуемое значение находится от желаемого выходного значения. Чем больше значение показателя потерь, тем хуже справляется НС со своей задачей и наоборот.

```
# кэшируем датасет
AUTOTUNE = tf.data.AUTOTUNE
train_ds = train_ds.cache().shuffle(1000).prefetch(buffer_size=AUTOTUNE)
val_ds = val_ds.cache().prefetch(buffer_size=AUTOTUNE)
```

Рис. 8. Кэширование датасета

```
# создаем модель НС
num_classes = len(class_names)

# ниже прописываем слои НС и используем функцию relu
model = Sequential([
    layers.experimental.preprocessing.Rescaling(1./255, input_shape=(img_height, img_width, 3)),
    layers.Conv2D(16, 3, padding='same', activation='relu'),
    layers.MaxPooling2D(),
    layers.Conv2D(32, 3, padding='same', activation='relu'),
    layers.MaxPooling2D(),
    layers.Conv2D(64, 3, padding='same', activation='relu'),
    layers.MaxPooling2D(),
    layers.Flatten(),
    layers.Dense(128, activation='relu'),
    layers.Dense(num_classes)
])

# компилируем модель

model.compile(
    optimizer= 'adam',
    loss=tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy(from_logits=True),
    metrics=['accuracy'])
```

Рис. 9. Создание модели сверточной НС

А.Г. Отока, Р.Р. Икака, О.В. Холодилов
«ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИНДИКАЦИЙ
ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

```
epochs = 10 # количество эпох обучения
# вызываем метод fit
history = model.fit(
    train_ds,
    validation_data=val_ds,
    epochs=epochs)

# выводим статистические данные в виде графиков (точность и потери)
# данный код можно найти в документации по работе с TensorFlow
acc = history.history['accuracy']
val_acc = history.history['val_accuracy']
loss = history.history['loss']
val_loss = history.history['val_loss']
epochs_range = range(epochs)
plt.figure(figsize=(8, 8))
plt.subplot(1, 2, 1)
plt.plot(epochs_range, acc, label='Training Accuracy')
plt.plot(epochs_range, val_acc, label='Validation Accuracy')
plt.legend(loc='lower right')
plt.title('Training and Validation Accuracy')
plt.subplot(1, 2, 2)
plt.plot(epochs_range, loss, label='Training Loss')
plt.plot(epochs_range, val_loss, label='Validation Loss')
plt.legend(loc='upper right')
plt.title('Training and Validation Loss')
plt.show()
```

Рис. 10. Обучение НС

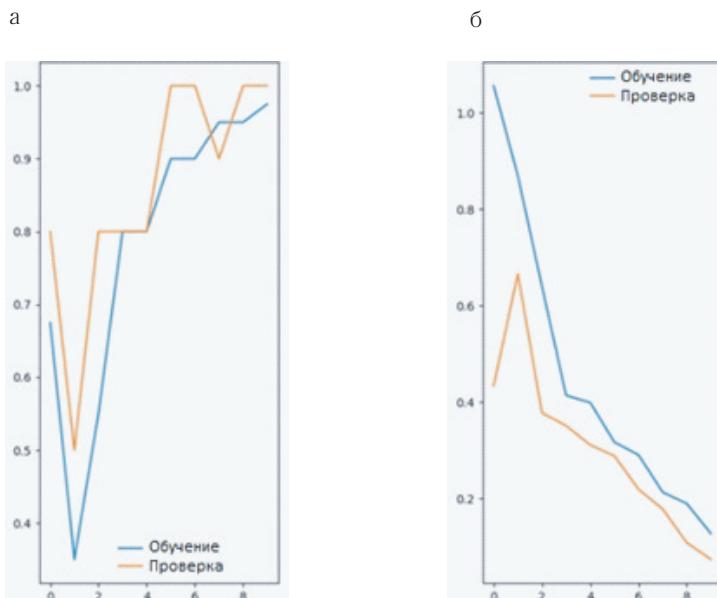


Рис. 11. Зависимость точности (а) и потерь (б) навыков обучения (тренировочный процесс) и проверки НС

сет в несколько раз путем несложных манипуляций с изображениями, а именно, картинки в датасете каким-либо образом поворачивают, отображают, искажают и т.д.

• регуляризация, это довольно простой математический прием, позволяющий повысить точность модели и уменьшить ненужные отклонения. Как правило в TensorFlow для этого используются методы Dropout или Batch Normalization [28–30].

Ручная проверка обученной модели НС (загрузка нового изображения, которое отсутствовало в датасетах (тестовых и проверочных) производится следующим образом. Указывается путь на изображение, находящееся в Google Drive и прописывается код, загружающий изображение в модель НС (рис. 12).

По итогам обучения НС с задачей классификации дефекта (трещины) и фона на образцах были получены следующие результаты.

```
# загружаем изображения и Google Drive
test = pathlib.Path('/content/gdrive/MyDrive/test/def/6e0c98d1-6734-405b-9108-cf67d781c261.jpg')

# загружаем изображение в модель НС
img = tf.keras.utils.load_img(test, target_size=(img_height, img_width))
img_array = tf.keras.utils.img_to_array(img)
img_array = tf.expand_dims(img_array, 0)
predictions = model.predict(img_array)
score = tf.nn.softmax(predictions[0])
# выводим результат проверки изображения на экран
print("На изображении {} ({:.2f}% вероятность)".format(
    class_names[np.argmax(score)],
    100 * np.max(score)))
img.show()
```

Рис. 12. Проверка работы НС

а

```
[ ] # загружаем изображения и Google Drive
test = pathlib.Path('/content/gdrive/MyDrive/test/fon/15d62bb4-23ed-48bf-b836-e1b10c4d3b63.jpg')

# загружаем изображение в модель НС
img = tf.keras.utils.load_img(test, target_size=(img_height, img_width))
img_array = tf.keras.utils.img_to_array(img)
img_array = tf.expand_dims(img_array, 0)
predictions = model.predict(img_array)
score = tf.nn.softmax(predictions[0])
# выводим результат проверки изображения на экран
print("На изображении {} ({:.2f}% вероятность)".format(
    class_names[np.argmax(score)],
    100 * np.max(score)))
img.show()

→ 1/1 [=====] - 0s 42ms/step
На изображении fon (82.33% вероятность)
```

б

```
[12] # загружаем изображения и Google Drive
test = pathlib.Path('/content/gdrive/MyDrive/test/def/6e0c98d1-6734-405b-9108-cf67d781c261.jpg')

# загружаем изображение в модель НС
img = tf.keras.utils.load_img(test, target_size=(img_height, img_width))
img_array = tf.keras.utils.img_to_array(img)
img_array = tf.expand_dims(img_array, 0)
predictions = model.predict(img_array)
score = tf.nn.softmax(predictions[0])
# выводим результат проверки изображения на экран
print("На изображении {} ({:.2f}% вероятность)".format(
    class_names[np.argmax(score)],
    100 * np.max(score)))
img.show()

→ 1/1 [=====] - 0s 43ms/step
На изображении def (97.98% вероятность)
```

Рис. 13. Результаты работы НС по определению магнитопорошковых индикаций фонового свечения (а) и дефекта (б)

На рис. 13 показано, как НС определила с точностью 97,98% изображение, содержащее дефект и с точностью 82,33% изображение, содержащее фон.

С учетом использования в работе только набора данных в виде двух классов изображений «def» и «fon», средняя точность НС составила 90,16%, что является приемлемым результатом при небольшой выборке в 60 фотографий.

Заключение

Таким образом, выбранная авторами конфигурация модели НС является удачной и вполне работоспособной при работе с распознаванием индикаций при проведении МПК. В дальнейшем в целях усовершенствования НС в датасет можно загружать изображения с ложными магнитопорошковыми индикациями, вызванными

А.Г. Отока, Р.Р. Икака, О.В. Холодилов
«ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ИНДИКАЦИЙ
ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

чрезмерной концентрацией магнитного индикатора в используемом объеме сусpenзий, а также наличием задиров, рисок и других повреждений механического характера.

Предложенный авторами алгоритм работы НС можно взять за основу при идентификации магнитопорошковых индикаций в ходе выполнения автоматического или автоматизированного МПК деталей подвижного состава с использованием специализированных стендов и видеосистем.



Литература

1. Alex Krizhevsky Ilya Sutskever Geoffrey E. Hinton ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks //Advances in Neural Information Processing Systems 25; Edited by: F. Pereira and C.J. Burges and L. Bottou and K.Q. Weinberger (NIPS 2012), pp. 1097-1105.
2. Jaswal, Deepika & Vishvanathan, Sowmya & Kp, Soman. Image Classification Using Convolutional Neural Networks. International Journal of Scientific and Engineering Research. 5, pp. 1661-1668. 10.14299/ijser.2014.06.002.
3. Chauhan, Rahul & Ghanshala, Kamal & Joshi, R. (2018). Convolutional Neural Network (CNN) for Image Detection and Recognition, pp. 278-282. 10.1109/ICSCCC.2018.8703316.
4. Назаренко, С. Ю. Применение искусственных нейронных сетей в радиационном неразрушающем контроле / С. Ю. Назаренко, В. А. Удод. - Текст : непосредственный // Дефектоскопия. - 2019. - № 6. - С. 54-70.
5. Поляков, А. В. О применении сверточных нейронных сетей при решении задачи неразрушающего контроля изделий / А. В. Поляков. - Текст : непосредственный // Успехи современной науки. - 2017. - Т. 1, № 5. - С. 200-210.
6. Стеношкин, В. В. Применение искусственных нейронных сетей в задачах ультразвукового неразрушающего контроля / В. В. Стеношкин, Г. Ю. Гуськов, В. В. Шишкун. - Текст : непосредственный // Теоретические и практические аспекты развития отечественного авиастроения: тезисы Всероссийской научно-технической конференции. - Ульяновск : УлГТУ. - 2016. - С. 43-45.
7. Возможность применения искусственных нейронных сетей для распознавания АЭ образов / С. К. Фомичев и [др.]. - Текст : непосредственный // J. of Mech. Eng. NTUU «Kyiv Polytechnic Institute». - 2011. - Т. 1, № 61. - С. 199-203.
8. Применение нейронных сетей для распознавания конструктивных элементов рельсов на магнитных и вихревых дефектограммах / Е. В. Кузьмин и [др.]. - Текст : непосредственный // Моделирование и анализ информационных систем. - 2018. - № 25(6). - С. 667-679.
9. Вавилов, В. П. Активный тепловой контроль композиционных материалов с использованием нейронных сетей / В. П. Вавилов, Д. А. Нестерук. - Текст : непосредственный // Дефектоскопия. - 2011. - № 10. - С. 10-18.
10. Huipeng Yu, Maodong KANG, Chengyang Ding et al. An automated fluorescent defect detection system in precision castings by convolutional neural network, 15 September 2023, PREPRINT (Version 1) available at Research Square. - doi:org/10.21203/rs.3.rs-3337794/v1.
11. Холичев, Д. Д. Исследование возможности применения нейронных сетей для решения задач капиллярной дефектоскопии / Д. Д. Холичев, Анваржон Ганижон угли Хоназаров. - Текст : непосредственный // Ресурсосберегающие технологии в контроле, управлении качеством и безопасностью : сборник научных трудов XI Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых учёных «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее», 8-10 ноября 2022 г., г. Томск. - Томск : Изд-во ТПУ. - 2023. - С. 259-263.
12. Чесноков, Д. В. Разработка алгоритмов автоматической обработки цифровых изображений в капиллярной дефектоскопии: магистерская диссертация / Д. В. Чесноков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт неразрушающего контроля (ИНК), Кафедра физических методов и приборов контроля качества. - Томск, 2016. - 124 с. - Текст : непосредственный.
13. Отока, А. Г. Автоматизированный магнитопорошковый контроль колесных пар с использованием систем видеонаблюдения и нейросетевых технологий / А. Г. Отока, О. В. Холодилов, П. А. Дащук. - Текст : непосредственный // Механика. Исследования и инновации: международный сборник научных трудов. - Вып. 16. - Гомель: БелГУТ, 2023. - С. 153-158.

14. Отока, А. Г. Перспективы автоматизации магнитопорошкового контроля колесных пар с использованием систем видеонаблюдения и нейросетевых технологий / А. Г. Отока, О. В. Холодилов. - Текст : непосредственный // Транспортная наука и инновации: материалы международной научно-практической конференции, посвященной юбилею СамГУПС. - Самара, 2023. - С. 51-57 с.
15. Картер, Джейд Сверточные нейросети / Джейд Картер. - Москва : Литрес. - URL: <https://www.litres.ru/book/dzheyd-karter/svertochnye-neyroseti-70965715/> (дата обращения: 30.12.2024). - Текст : электронный.
16. Michael Nielsen Neural Networks and Deep Learning. - URL: <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/index.html> (дата обращения: 30.12.2024). - Текст : электронный.
17. Сверточные нейронные сети (CNN). - URL: <https://yourtodo.ru/ru/posts/sverto-chnyie-nejronnyie-seti-cnn/> (дата обращения: 30.12.2024). - Текст : электронный.
18. Singh, S.A., Desai, K.A. Automated surface defect detection framework using machine vision and convolutional neural networks / J. Intell Manuf 34, 1995-2011 (2023). - doi:10.1007/s10845-021-01878-w.
19. Все символы в TensorFlow 2. - URL: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/all_symbols (дата обращения: 24.05.2024). - Текст : электронный.
20. Документация Keras 3 API. - URL: <https://ke-ras.io/api/> (дата обращения: 24.05.2024). - Текст : электронный.
21. Словарь IT. Keras, 2023. - URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/keras/> (дата обращения: 24.05.2024). - Текст : электронный.
22. Применение нейронных сетей для распознавания конструктивных элементов рельсов на магнитных и вихревых дефектограммах / Е. В. Кузьмин, О. Е. Горбунов и [др.]. - Текст : непосредственный // Моделирование и анализ информационных систем. - 2018. - Т. 25, № 6. - С. 667-679. - doi: 10.18255/1818-1015-2018-6-667-679.
23. Сикорский, О. С. Обзор сверточных нейронных сетей для задачи классификации изображений / О. С. Сикорский. - Текст : непосредственный // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. - 2017. - № 20. - С. 37-42.
24. Парасич, А. В. Формирование обучающей выборки в задачах машинного обучения / А. В. Парасич, В. А. Парасич, И. В. Парасич. - Текст : непосредственный // Обзор. Информационно-управляющие системы. - 2021. - № 4. - С. 61-70. - doi:10.31799/1684-8853-2021-4-61-70.
25. Свирина, А. Р. Классификация изображений с помощью сверточных нейронных сетей / А. Р. Свирина. - Текст : непосредственный // Молодой учёный. - 2024. - № 24 (523). - С. 96-99.
26. Разделение данных на обучающую и тестовую выборки в Python: подробное руководство и практические примеры. - URL: <https://zdrons.ru/veb-program-mirovanie/razdelenie-dannyy-na-obuchajushchiyu-i-testovuyu-vyborki-v-python-po-drobnoe-rukovodstvo-i-prakticheskie-primerы/?ysclid=m43xw297g132297176> (дата обращения: 30.12.2024). - Текст : электронный.
27. Обучающая и тестовая выборки (training set & testing set). - URL: https://vk.com/wall-210601538_290?ysclid=m43x8vbedg564952696 (дата обращения: 30.12.2024). - Текст : электронный.
28. Garbin, C., Zhu, X. & Marques, O. Dropout vs. batch normalization: an empirical study of their impact to deep learning. Multimed Tools Appl 79, 12777–12815 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08453-9>.
29. Guangyong, Chen & Chen, Pengfei & Shi, Yujun & Hsieh, Kim & Liao, Benben & Zhang, Shengyu. (2019). Rethinking the Usage of Batch Normalization and Dropout in the Training of Deep Neural Networks. 10.48550/arXiv.1905.05928.
30. Hinton, Geoffrey & Srivastava, Nitish & Krizhevsky, Alex & Sutskever, Ilya & Salakhutdinov, Ruslan. (2012). Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. arXiv preprint. arXiv.

МОНИТОРИНГ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ: АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ РИСКОВ

В данной публикации анализируются алгоритмы машинного зрения для мониторинга норм безопасности на стройках. Описывается процесс создания алгоритма: от сбора и аугментации изображений до обучения модели искусственного интеллекта. В предыдущей работе была разработана модель для определения опасной зоны вокруг крана и контроля перемещения персонала с выдачей предупреждений.

Ключевые слова: сооружения, инфраструктура, оптимизация операций, AI-технологии, информационные массивы, обучение алгоритмов

EDN: EWTMQY

Компьютерное зрение, охватывающее такие задачи, как детекция, классификация и сегментация объектов, является одной из ключевых технологий искусственного интеллекта, способных воспроизводить когнитивные функции человека. Эти технологии демонстрируют результаты, сопоставимые с человеческим интеллектом в областях, таких как обработка естественного языка и анализ данных. На строительных площадках для выявления объектов можно использовать различные методы, включая анализ больших наборов данных и сверточные нейронные сети, что способствует предотвращению опасных ситуаций [1] (рис. 1).

Объекты и методы исследования

Использование компьютерного зрения в управлении строительством включает в себя разнообразные подходы, направленные на улучшение эффективности, а также безопасность и качество контроля на строительных объектах. Для решения задачи обнаружения и

сегментации ситуаций требуется комплексный подход с обработкой изображений и алгоритмами машинного и глубокого обучения.

Общий алгоритм выполнения задачи:

1. Сбор данных (фото рабочих, средств индивидуальной защиты (СИЗ) и материалов).
2. Предварительная обработка (изменение размера, нормализация).
3. Обнаружение объектов с помощью алгоритмов (YOLO, Faster R-CNN).
4. Сегментация изображений (U-Net).
5. Классификация ситуаций (опасные зоны, неправильное использование СИЗ).
6. Визуализация результатов.
7. Оценка эффективности и разработка системы мониторинга для контроля на строительной площадке.

Для выявления и сегментации ситуаций на строительной площадке, связанных с перемещением стрелы строительного крана, необходимо создать алгоритм.



В.В. Соловьев



С.В. Федорова

Соловьев Владислав Викторович, ассистент кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: компьютерное зрение и алгоритмы обработки данных, разработка алгоритмов и информационных систем, инновационные, конструктивно-технологические решения при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений. Автор двух научных работ.

Федорова Снежана Владимировна, преподаватель кафедры «Транспортное строительство» Российской университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: современные конструктивные и технологические подходы в проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных объектов. Автор 12 научных работ.

В качестве исходных данных будут использоваться изображения работников, материалов, рабочих мест и участков стройки. Результатом должно стать определение максимального радиуса отклонения стрелы крана, что позволит выявить опасную зону под ней, а также идентифицировать объекты, находящиеся в этой зоне [2].

Этапы решения задачи включают в себя:

- сбор и обработку данных с камер, расположенных на стреле крана;
- разделение на обучающий и тестовый наборы;
- выбор и обучение модели;
- применение модели к тестовым данным;
- оценка ее производительности.

Выбор метода обучения

Для обнаружения и отслеживания объектов в динамических сценах эффективно использовать методы, основанные на сверточных нейронных сетях (CNN) и алгоритмах отслеживания, таких как Kalman filter или DeepSORT или рекуррентных нейронных сетях (RNN).

CNN: для распознавания различных объектов (например, технику и/или людей) обучаются на большом наборе данных вне зависимости от их размера, положения и частичных перекрытий.

Алгоритмы отслеживания: обрабатывают информацию из последовательности кадров для связывания обнаруженных объектов и формирования их траекторий. Это позволяет отслеживать объекты даже при временных перекрытиях или изменениях освещения.

Последовательность технической реализации обнаружения объектов (людей) с помощью CNN выглядит так.

Обучение на изображениях с людьми в разных позах и условиях, анализ кадров, с выделением признаков и фиксацией людей рамками. И далее отслеживание связывает рамки в траектории движения [3].

Для реализации обнаружения объектов (людей) с использованием RNN сначала собираются и аннотируются данные. После предобработки изображений выбирается архитектура, сочетающая в себе RNN для анализа временных зависимостей и CNN для извлечения признаков. Обучение модели включает в себя оптимизацию гиперпараметров и настройку функции потерь. После тестирования и оценки производительности модель интегрируется в систему, где ее эффективность регулярно обновляется на основе новых данных [4].

Процедуры обнаружения и отслеживания объектов в динамически изменяющихся условиях основываются на статистических методах и математических моделях, обеспечивая адаптацию к изменяющимся условиям и шумам [5].

Эти методы помогают компьютерному зрению анализировать изображения, выделять объекты и отслеживать их в динамически изменяющейся среде (рис. 2).

Структура рекуррентной нейронной сети GRU

В быстроменяющихся условиях критически важным становится не только точное определение текущего состояния объектов, но и анализ изменений их параметров со временем. В этой связи RNN представляют собой подходящий инструмент, благодаря их способности эффективно работать с последо-



Рис. 1. Строительные работы под подъемным механизмом крана

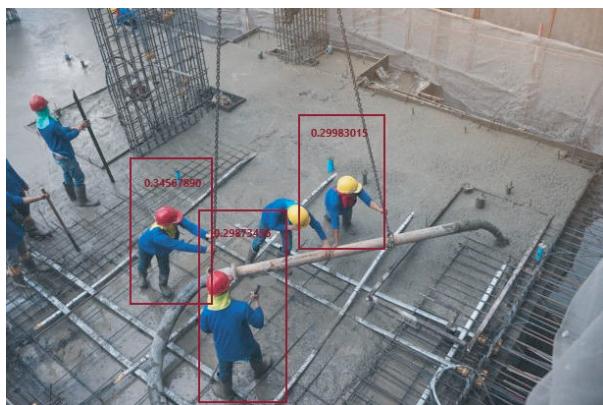


Рис. 2. Действия строительной бригады при перемещении материалов на высоте

вательными данными. Это особенно актуально для обработки временных последовательностей в аудио- и видеоматериалах. RNN состоят из последовательно повторяющихся модулей, которые анализируют как текущий вход, так и информацию, полученную на предыдущих шагах, формируя так называемое скрытое состояние. Это отличает их от feedforward нейронных сетей, предполагающих независимость всех входных данных, поскольку RNN изучают зависимости в данных с учетом временной последовательности через механизмы обратной связи (рис. 3). Скрытое состояние накапливает информацию о предшествующих данных, которая передается между ячейками сети. Несмотря на потенциал, стандартные RNN сталкиваются с проблемами, связанными с обработкой долгосрочных зависимостей, к которым относятся затухание и взрывной рост градиентов при обратном распространении ошибки, что затрудняет их применение в некоторых задачах [6].

Архитектура GRU (Gated Recurrent Unit) является разновидностью рекуррентных нейронных сетей, разработанных для анализа и обработки данных, имеющих последовательную структуру (рис. 4). Уникальность GRU заключается в применении стратегии шлюзо-

вания, состоящей из двух ключевых компонентов: шлюза сброса и шлюза обновления. Эти элементы контролируют процесс сохранения и удаления информации из скрытого слоя, облегчая таким образом решение проблемы долгосрочных зависимостей в анализируемых последовательностях. При сравнении с LSTM (Long Short-Term Memory), GRU демонстрирует более высокую эффективность и упрощенность в процессе обучения, не теряя при этом в качественных характеристиках при выполнении задач обработки последовательной информации.

Изначально, при $t=0$, начальное состояние вектора h_0 равняется нулю: $h_0=0$

$$\begin{aligned} z_t &= \sigma(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z), \\ r_t &= \sigma(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r), \\ \tilde{h}_t &= \Phi(W_h x_t + U_h (r_t \odot h_{t-1}) + b_h), \\ h_t &= (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t, \end{aligned} \quad (1)$$

где Φ – функция активации; x_t – входной вектор; h_t – выходной вектор (итоговый скрытый слой); \tilde{h}_t – вектор

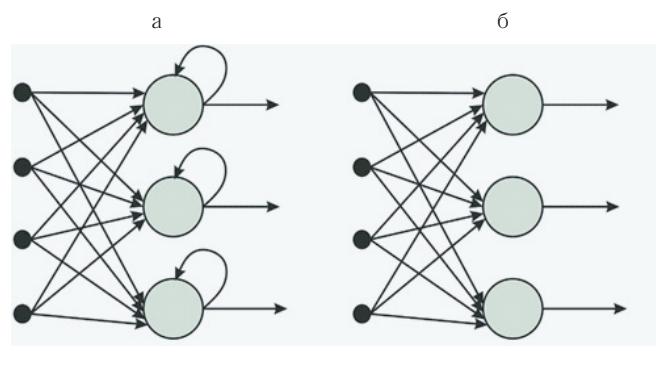


Рис. 3. Сравнение архитектур: а – рекуррентных сетей; б – традиционных нейронных сетей

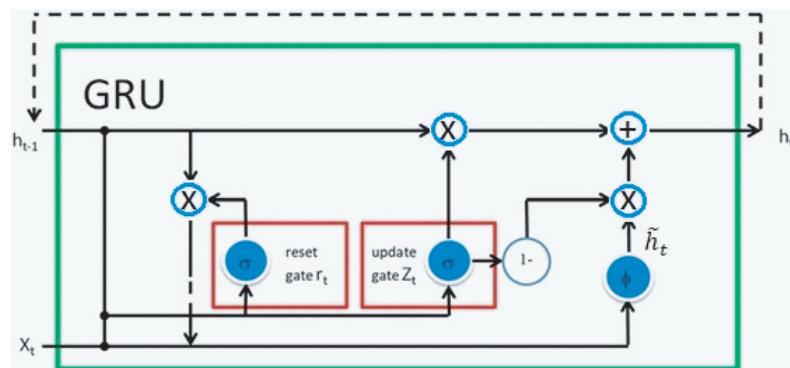


Рис. 4. Схема ячейки GRU

тор активации текущего состояния скрытого слоя; z_i – вектор шлюза обновления (update gate); r_i – вектор шлюза сброса (reset gate); W, U, b – матрицы и векторы параметров, которые необходимо настроить во время обучения; Θ – оператор произведения Адамара; σ – сигмоидная функция активации.

Выходные данные уровня GRU подаются на уровень классификации (например, полностью связанные уровни) для прогнозирования [7]. Уровень классификации обычно состоит из плотного слоя, за которым следует функция активации softmax для классификации классов.

Как и для остальных типов искусственных нейронных сетей, в процессе классификации объектов ключевым является процесс уменьшения значения функции потерь в контексте весового пространства:

$$\min_w Q(f(X, U), C), \quad (2)$$

где X обозначает входящую информацию, U представляет собой синаптические веса, задача которых – уменьшение ошибки, Q выступает как критерий оценки ошибки, f является функцией, формирующей выходные данные, а C определяется как набор классов, предназначенных для классификации.

Поставленная задача оптимизации (2) может быть решена методом градиентного спуска [8;9].

Безопасность на строительной площадке: модели и технологии

Для эффективного решения задачи следует учесть несколько ключевых аспектов:

- необходимо провести обучение на большом и разнообразном наборе данных, используя методы с учителем и без для повышения точности детекции и сегментации объектов (рис. 5);
- потребуется создать систему, которая будет автоматически анализировать данные с камер и дронов, предупреждая о возможных опасных ситуациях на строительной площадке [10];
- важно рассмотреть возможность интеграции IoT-датчиков для мониторинга условий труда, систем управления доступом и технологий дополненной реальности для визуализации данных и инструкций [11].

Здесь также стоит обратить внимание на необходимость предусмотреть систему стабилизации при получении изображения с камеры, расположенной на раскачивающейся поверхности, и в частности, расположенной на стреле подъемного грузового крана. Для обеспечения стабильности изображения можно использовать следующие методы:

1. Установка гироскопов и акселерометров на камеру, чтобы отслеживать движения и корректировать положение в реальном времени.

2. Оптическая стабилизация в объективе, компенсирующая дрожание и вибрации при съемке.

3. Системы компьютерного зрения для анализа изображений и автоматической коррекции стабилизации.

4. Механические стабилизаторы, такие как гимбалы, для компенсации вибраций и плавного движения камеры [12].

Выводы

Обнаружение аномалий на строительной площадке с использованием компьютерного зрения помогает снижать количество несчастных случаев. Системы управления безопасностью, объединяющие различные технологии, разрабатывают модели распознавания изображений, опираясь на синтетические данные и методы трансферного обучения, позволяя быстро реагировать на опасные ситуации, такие как травмы из-за движения стрелы строительного крана. Планируется улучшение этих моделей для повышения эффективности контроля на площадках.

При этом также важно усовершенствовать алгоритмы обработки изображений с камер на грузовом кране, что поможет в обнаружении и предотвращении опасных ситуаций из-за воздействия раскачивающейся стрелы строительного крана. К ключевым аспектам относятся:

- раннее обнаружение ситуации: это даст больше времени на принятие мер для предотвращения аварий;
- точное распознавание угроз: это поможет оператору крана быстрее и эффективнее реагировать на ситуацию [13];
- автоматизация мониторинга: системы компьютерного зрения могут в реальном времени анализировать данные и предупреждать об угрозах.

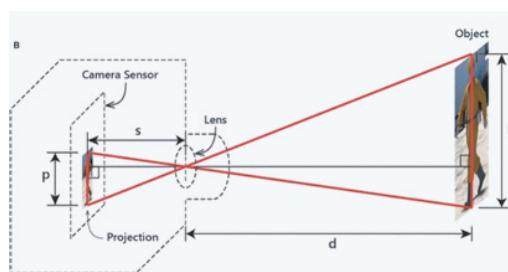


Рис. 5. Детекция объектов на строительной площадке

Литература

1. Кузина, О. Н. Управление строительством с использованием компьютерного зрения на строительной площадке / О. Н. Кузина. - Текст : электронный // Строительство и архитектура. - 2023. - Т.11, №4. - С.34. - URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=55053580> (дата обращения: 24.01.2025).
2. Роструд: статистика несчастных случаев на производстве за 2023 год. - URL: <https://nkrgrom.ru/news/rostrud-statistika-neschastnykh-sluchaev-na-proizvodstve-za-2023-god/> 55053580 (дата обращения: 24.01.2025). - Текст : электронный.
3. Cheng, T.; Lu, Q.; Kang, H.; Fan, Z.; Bai, S. Productivity Prediction and Analysis Method of Large Trailing Suction Hopper Dredger Based on Construction Big Data. Buildings 2022, 12, 1505. <https://doi.org/10.3390/buildings12101505> (дата обращения: 24.01.2025).- Текст : электронный.
4. Кузина, О. Н. Модель управления производительностью труда в строительстве методами искусственного интеллекта / О. Н. Кузина - Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. - 2023. - №3. - С. 68-73. - ISSN 2079-5920.
5. Основные положения теории искусственных нейронных сетей Pandia.ru. - интернет-издание. - URL: <https://pandia.ru/text/78/393/56772.php> (дата обращения: 24.01.2025). - Текст : электронный.
6. Федор Добровицкий. LSTM и GRU. Блог компании М. Видео-Эльдорадо. Python. Аналитика мобильных приложений. Машинное обучение. 15.12. 2023.- URL : <https://habr.com/ru/companies/mvideo/articles/780774/> (дата обращения: 24.01.2025). - Текст : электронный.
7. Владимир Быстрицкий. RNN, LSTM, GRU и другие рекуррентные нейронные сети. - URL: http://vbystricky.ru/2021/05/rnn_lstm_gru_etc.html (дата обращения: 24.01.2025). - Текст : электронный.
8. Абдулкадиров, Р. И. Новый подход к обучению нейронных сетей с помощью натурального градиентного спуска с импульсом на основе распределений Дирихле / Р. И. Абдулкадиров, П. А. Ляхов. - Текст: непосредственный // Компьютерная оптика. - 2023. - Т. 47, № 1. - С. 160-169. - DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1147.
9. Руликова, Н. С. Метод нейронных сетей в управлении портфелями проектов / Н. С. Руликова. - Текст : электронный // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. - 2011. - № январь -февраль. - С. 44 - 45. - URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-neytronnyh-setey-v-upravlenii-portfelyami-proektor?ysclid=m85ja5duvn517545849> (дата обращения: 24.01.2025).
10. U-Net: нейросеть для сегментации изображений. Информационный портал Neurohive. - URL : <https://neurohive.io/ru/vidy-nejrosetej/u-net-image-segmentation/>(дата обращения : 24.01.2025). - Текст : электронный.
11. Шеврикуко, Ю. Ф. Компенсация ошибок инерциальной навигационной системы на основе темпс датчиков посредством нейросетевых алгоритмов / Ю. Ф. Шеврикуко. - Текст : электронный// Аспирант и соискатель. - 2016. - №6 (96). - С. 96-103. - URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=28768387> (дата обращения : 24.01.2025).
12. Федина, Е. В. Анализ основных причин травматизма при эксплуатации башенных кранов. - Текст : электронный // Инженерный вестник Дона / Е. В. Федина, С. Л. Пушенко. - 2012. - №4-1 (22). - С. 172.- eISSN: 2073-8633. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18640238&ysclid=m85ixjb55f852819334> (дата обращения : 24.01.2025).
13. Алгоритм определения параметров основания зданий и сооружений с помощью обработки геолокационных изображений / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, В. В. Королев, А. А. Кузнецов. - Текст : электронный // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2022. - № 4. - С. 11 -17. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48317064&ysclid=m85j54qh8p140960899> (дата обращения : 24.01.2025). DOI 10.25791/pribor.4.2022.1331.

ПРИМЕНЕНИЕ ССЫЛОЧНОГО РАНЖИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТЕ



А.С. Филипченко

Описываются математические принципы работы алгоритма ссылочно-го ранжирования на основе синтеза линейной алгебры и теории графов. Выполняется адаптация алгоритма к графовой модели топологии параллельных специализированных вычислительных систем. Для апробации предложенного метода моделирования весовых характеристик узлов вычислительных систем используется ориентированный граф параллельной специализированной вычислительной системы «CDF 9/7». Демонстрируется программная реализация адаптированного алгоритма ссылочного ранжирования в виде веб-приложения с графическим интерфейсом.

Ключевые слова: моделирование, ранжирование, распараллеливание, топология, графы, алгоритм, процессоры

EDN: BMHCSJ

При моделировании параллельных специализированных вычислительных систем на транспорте актуальной задачей является определение весомости процессорных элементов. В рамках данной задачи требуется определить, какие из процессорных элементов многопроцессорной вычислительной системы являются более «важными», а какие – менее «важными». Ответ на этот вопрос позволит организовать эффективную неодноранговую систему приоритизации распределения вычислительных ресурсов внутри вычислительной системы.

При этом топология связей между процессорными элементами в вычислительной системе может быть представлена в виде графа. В этой интерпретации связи между процессорными элементами могут быть представлены как ребра графа, а сами процессорные элементы – как вершины [1;2].

В то же время существует алгоритм ссылочного ранжирования страниц, который используется,

например, в поисковых системах сети Интернет для подготовки списка релевантной выдачи на запрос. Такой алгоритм называется «PageRank» и используется, например, в поисковой системе Google [3]. Алгоритм применяет методы линейной алгебры к графу веб-страниц Интернета и возвращает список их приоритетов.

В рамках настоящей работы ставится цель адаптировать алгоритм ранжирования страниц «PageRank» к использованию в сфере моделирования параллельных специализированных вычислительных систем.

Принципы работы алгоритма ссылочного ранжирования

Алгоритм ссылочного ранжирования применяется на практике при решении задач, актуальных для транспортной отрасли. Например, алгоритм применяется в задаче выделения ролей остановок сетей общественного транспорта в Санкт-Петербурге [4].

Филипченко Александр Сергеевич, аспирант кафедры «Вычислительные системы, сети и информационная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), лауреат именной стипендии имени Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д.т.н., профессора Кочнева Ф.П. за высокие достижения в учебе. Область научных интересов: методы моделирования параллельных специализированных вычислительных систем на транспорте. Автор 22 научных работ. Имеет четыре патента на изобретения.

Взвешенные связи интегрируют информацию о расстоянии и количестве пересадок в маршрутах движения между станциями [4]. Алгоритмы ссылочного ранжирования также используются в интеллектуальной поддержке принятия решений при формировании программ тренажерной подготовки и производственных полетов и на основе методов семантического анализа текстов на основе нейросетевых моделей языка [5]. Еще алгоритм «PageRank» используется на транспорте в качестве вероятностного метода решения задачи построения матриц корреспонденций [6]. Метод находит свое применение в исследованиях, связанных с количественными, структурными и параметрическими изменениями транспортных потоков в городской транспортной системе [6].

Алгоритм «PageRank» дает точную оценку веса страницы и помогает ранжировать страницы для выдачи их в качестве результата в ответ на поисковый запрос [7]. В основе алгоритма лежит представление, что если страница А ссылается на страницу В, значит, страница А считает, что страница В — важная страница [8]. Ранги веб-страниц вычисляются в рамках цикла. Алгоритм предполагает возврат и пересчет всех рангов в рамках каждой итерации, так как «PageRank» остальных веб-страниц, ссылающиеся на веб-страницу А, уже изменится. В процессе разработки алгоритма «PageRank» создателям Google пришлось доказать эргодическую теорему, которая заключается в том, что процесс пересчета рангов веб-страниц в «конечном» итоге сойдется [9].

Алгоритм «PageRank» моделирует процесс случайного перемещения пользователя по страницам веб-сети. При этом перед каждым новым шагом с заданной вероятностью выбирается одно из двух действий [10]:

- пользователь с равной вероятностью выбирает одну из гиперссылок, представленных в виде ребер графа и принадлежащих текущей странице, и переходит на страницу, являющуюся вершиной графа, по выбранной ссылке;
- пользователь осуществляет перемещение на другую страницу, выбранную случайным образом из всех существующих страниц веб-сети.

Но каким образом передать граф на вход алгоритма, со всеми его вершинами, ребрами и их направлениями? Для решения этой задачи существует метод алгебраической формализации графовых структур данных путем преобразования их в матрицы смежности. Матрица смежности графа G с конечным числом вершин n определяется как квадратная матрица M размерностью $n \times n$, в которой значение элемента a_{ij} обозначает вес ребра из i -й вершины в j -ю. А в качестве веса ребра ij имеет смысл взять вероятность

перехода P_{ij} из вершины i в вершину j , которая представляется следующим тождеством (1).

$$P_{ij} = \frac{1}{n_i} = n_i^{-1}, \quad (1)$$

где n_i — число ребер, исходящих из вершины i .

Для решения проблемы вершин-петель в алгоритме «PageRank» предусмотрена функция перемещения [10], которая определяет, что в каждой итерации метка может:

- выполнить переход по случайному ребру с вероятностью β ;
- выполнить переход к случайной вершине с вероятностью $(1-\beta)$.

Величина β обычно выбирается в интервале [0,8; 0,9]. Для реализации функции перемещения необходимо подготовить дополнительную матрицу смежности TP , имитирующую полно связную топологию исходного графа. Такая матрица отвечает за выполнение перехода к случайной вершине. Чтобы получить модифицированную матрицу смежности M' с поддержкой функции перемещения необходимо выполнить преобразование (2).

$$M' = M \times \beta + TP \times (1 - \beta). \quad (2)$$

Далее в рамках алгоритма необходимо определить вектор начального распределения вероятностей, каждый элемент которого будет представлять вероятность перехода в соответствующую вершину графа. Обычно данный вектор инициализируется равномерным распределением вероятностей между всеми вершинами графа. Если матрицу переходных вероятностей представить как марковскую цепь, то динамика такой цепи с тактовым временем t будет описываться векторно-матричным рекуррентным уравнением (3).

$$P(t+1) = M' \times P(t), \quad (3)$$

где $P(t)$ обозначает вектор вероятностей переходов в момент времени t , а $P(t+1)$ — вектор вероятностей переходов на следующем шаге $t+1$ [11].

По результатам этого преобразования мы получим вектор той же размерности, но уже с другим распределением вероятности перехода к вершинам внутри него. Этот вектор будет отображать ранги вершин после прохождения t -й итерации по графу, представленному в виде матрицы смежности. Соответственно, чем дальше мы будем моделировать блуждание метки по графу, тем точнее мы получим вектор вероятностей. Таким образом, полученный вектор нам необходимо снова умножить на матрицу, чтобы получить новый, более точный вектор, чтобы снова умножить его на матрицу. Данный цикл требуется продолжать до тех пор, пока разница между соседними

векторами не достигнет бесконечно малых значений ϵ . В этот момент мы получим собственный вектор матрицы смежности графа, который и будет представлять устойчивое распределение вероятностей между вершинами. Именно этот собственный вектор и будет являться результатом работы алгоритма «PageRank».

Более того, вычисление собственных векторов в параметрической форме демонстрирует связь между их компонентами и древовидной структурой ориентированного графа [12]. Таким образом, чем выше вероятность перехода в вершину, тем выше ее ранг и тем она «важнее». От описанной теоретической базы перейдем непосредственно к задаче моделирования параллельных специализированных вычислительных систем на транспорте.

Графовая модель параллельной специализированной вычислительной системы на транспорте

Возьмем параллельную специализированную вычислительную систему, реализующую алгоритм «CDF 9/7». У алгоритма «CDF 9/7» имеется широкая сфера применения в транспортных задачах, в частности в обработке информации об окружающей обстановке [13], обнаружении препятствий на пути следования [14] и в сегментации железнодорожного пути [15]. Также алгоритм показывает хорошие показатели при исследовании его с использованием закона Амдала [2].

В процессе составления расписания параллельных вычислений улучшенной реализации алгоритма «CDF 9/7» путем модификации графа вычислений получен модифицированный граф связей между процессорными элементами в вычислительной системе [2]. Данный график показан на рис. 1.

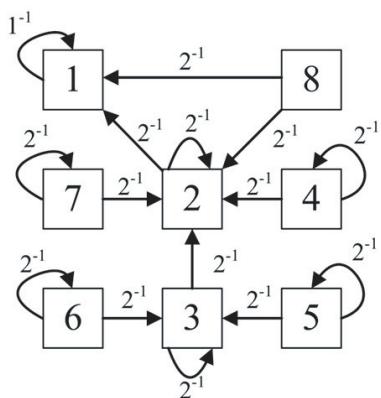


Рис. 1. Граф параллельной специализированной вычислительной системы «CDF 9/7» с взвешенными ребрами

Программная реализация ранжирования процессорных элементов в параллельной специализированной вычислительной системе

На основе описанного алгоритма ссылочного ранжирования на языке JavaScript разработано веб-приложение с графическим интерфейсом на HTML. При запуске программы отображает интерфейс, в котором пользователю необходимо ввести число процессорных элементов в исследуемой вычислительной системе. В зависимости от введенного числа программа формирует форму ввода матрицы смежности. Пример заполнения данной формы для графа нашей параллельной специализированной вычислительной системы приведен на рис. 2.

Нажатие на кнопку «Отправить» запустит процедуру нахождения собственного вектора матрицы смежности, после чего результаты ранжирования процессорных элементов будут выведены на экран в виде линейчатой диаграммы. Полученные в результате ранги процессорных элементов для параллельной специализированной вычислительной системы «CDF 9/7» показаны на рис. 3.

Данная программа для ЭВМ успешно прошла процедуру государственной регистрации в Роспатенте, получено соответствующее авторское свидетельство [16].

Заключение

В результате ссылочное ранжирование применено в задаче моделирования параллельных специализированных вычислительных систем на транспорте на примере вычислительной системы, реализующей алгоритм «CDF 9/7». Ранги процессорных элементов

Рис. 2. Заполнение матрицы смежности в программе ранжирования

А.С. Филипченко
«ПРИМЕНЕНИЕ ССЫЛОЧНОГО РАНЖИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
НА ТРАНСПОРТЕ»

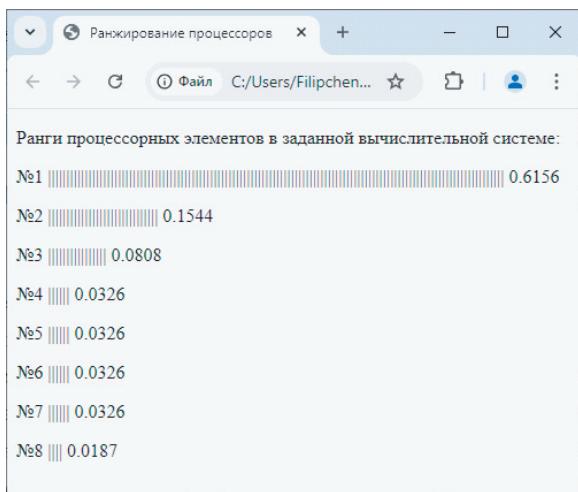


Рис. 3. Результат ранжирования процессорных элементов в параллельной специализированной вычислительной системе «CDF 9/7»

в данной модели разделились на три основных группы: высокие, средние и низкие.

Таким образом, можно сделать вывод, что в рамках обеспечения отказоустойчивости информационно-вычислительной инфраструктуры на транспорте, имеет смысл выполнить резервирование процессорных элементов путем дублирования в зависимости от их рангов. Данная задача может быть решена методом неопределенных множителей Лагранжа, в котором ранги будут представлены в виде стоимостей отдельных подсистем. Также сведения о рангах процессорных элементов позволят использовать неоднородную схему приоритизации распределения вычислительных ресурсов для увеличения производительности. Процессорным элементам с высокими рангами можно выделять больше ресурсов памяти и времени за счет процессорных элементов с низкими рангами.



Литература

1. Селиверстов, Е. Ю. Графовые модели графического процессора / Е. Ю. Селиверстов. - Текст : непосредственный // Системы компьютерной математики и их приложения. - 2017. - № 18. - С. 117-119.
2. Филипченко, А. С. Вычисление показателей эффективности оптимизированной реализации параллельного алгоритма CDF 9/7 / А. С. Филипченко. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы : материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 г. - Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. - С. 476-482. - DOI 10.30932/978-5002446094-2024-476-482.
3. Page, L. E. The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web / L. E. Page, S. M. Brin, R. Motwani, T. A. Winograd. - Текст : электронный // Proceedings of the 7th International World Wide Web Conference. - Brisbane, Australia. - 1998. - P. 161-172. - URL: <https://github.com/emnitham/Papers/blob/master/Google/Page%2CBrin%2CMotwani%2CWinograd-%20The%20PageRank%20Citation%20Ranking:%20Bringing%20Order%20to%20the%20Web.pdf> (дата обращения: 19.11.2024).
4. Role discovery in node-attributed public transportation networks: the study of Saint Petersburg city open data / Yu. V. Lytkin, P. V. Chunaev, T. A. Gradov [et al.]. - DOI 10.17586/2226-1494-2023-23-3-553-563. - Текст : непосредственный // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. - 2023. - Vol. 23, №. 3. - P. 553-563.
5. Перспективы применения технологий искусственного интеллекта при организации тренажерной подготовки пилотов в рамках концепции анализа фактических данных / А. Д. Худякова, Э. А. Болюта, Я. А. Жуткина [и др.]. - Текст : непосредственный // Теоретические и практические аспекты развития современной науки: теория, методология, практика : сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции, Уфа, 27 мая 2022 г. - Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2022. - С. 32-37.
6. Селиверстов, Я. А. Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов. - Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - 2015. - № 2-3(217-222). - С. 49-70. - DOI 10.5862/JCSTCS.217-222.5.
7. Клюквин, Р. В. Способы определения ранжирования страниц. Алгоритм PageRank / Р. В. Клюквин, Ю. С. Белов. - Текст : непосредственный // В мире науки и инноваций : сборник статей международной научно-

практической конференции. В 5 частях, Казань, 20 апреля 2017 г. Ч. 4. - Казань: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2017. - С. 49-52.

8. Подлесный, А. О. Применение алгоритма PageRank для определения весов web-страниц / А. О. Подлесный, О. С. Полякова, С. А. Виденин. - Текст : непосредственный // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей : материалы IV Международной научно-практической конференции, Курск, 17-18 октября 2014 г. / Председатель организационного комитета Горохов А. А. (ответственный редактор); Члены оргкомитета: Ивахненко А. Г., Сторублев М. Л. - Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2014. - С. 280-283.

9. Сарсенова, А. З. Алгоритм ссылочного ранжирования / А. З. Сарсенова. - Текст : непосредственный // Научное сообщество студентов: сборник материалов X Международной студенческой научно-практической конференции, Чебоксары, 17 июня 2016 г. - Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2016. - С. 136-138.

10. Фролов, А. С. Исследование подходов к реализации PageRank на языке параллельного программирования CHARM++ / А. С. Фролов, А. С. Семенов. - Текст : непосредственный // Современные информационные технологии и ИТ-образование. - 2016. - Т. 12, № 3-1. - С. 159-168.

11. Земков, А. В. Аналитический подход к выборочному поиску функций вероятностей состояний в марковских цепях / А. В. Земков. - Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. - 2023. - Т. 66, № 12. - С. 1035-1049. - DOI 10.17586/0021-3454-2023-66-12-1035-1049

12. Buslov, V. A. On the Characteristic Polynomial and Eigenvectors in Terms of the Tree-Like Structure of a Digraph / V. A. Buslov. - DOI: 10.1007/s10958-018-3854-5. - Текст : непосредственный // Journal of Mathematical Sciences. - 2018. - Vol. 232, № 1. - P. 6-20. - DOI: 10.1007/s10958-018-3854-5.

13. Савинов, К. Н. К вопросу инновационной железной дороги / К. Н. Савинов, М. Г. Яшин. - Текст : непосредственный // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. Проблемы и решения: сборник статей VI международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф, 18 мая 2023 г. / Под общ. ред. М. Г. Яшина. - Санкт-Петербург, Петергоф: Военный институт (железнодорожных войск и военных сообщений) - структурное подразделение Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации, 2023. - С. 6-15.

14. Попов, П. А. Поезд без машиниста - российские перспективы / П. А. Попов, А. Л. Охотников. - Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. - 2019. - № 8. - С. 4-6. - DOI 10.34649/AT.2019.8.001.

15. Мащенко, П. Е. Оптимизация модели нейронной сети U-HarDNet-70 для сегментации железнодорожного пути / П. Е. Мащенко, П. П. Ширяев. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2020. - № 6(91). - С. 35-38.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683722. Российская Федерация. Программа ранжирования процессорных элементов в параллельной специализированной вычислительной системе : № 2024681695 : заявлено 22.09.2024 : опубликовано 14.10.2024 / А. С. Филипченко. - Текст : непосредственный.

УСЛОВИЯ ТРУДА И РИСКИ БРИГАД, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТУАЛЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В статье рассматриваются условия труда и риски, с которыми сталкиваются бригады, обслуживающие экологически чистые туалетные комплексы (ЭЧТК). Рассмотрены негативные факторы рабочей среды при техническом обслуживании и ремонте ЭЧТК. Предложен комплекс мероприятий для обеспечения безопасности труда работников.

Ключевые слова: риски, условия труда, работники, подвижной состав, обслуживание ЭЧТК

EDN: DCDMCM

Политика компании ОАО «РЖД» направлена на сохранение здоровья работников. Она реализуется в соответствии со стратегией улучшения здоровья работников и политикой в области охраны труда, защиты окружающей среды и промышленной безопасности. На сегодняшний день численность работников ОАО «РЖД» составляет около 1 млн человек.

В ОАО «РЖД» предусмотрен комплекс мер, позволяющий эффективно снижать негативное влияние вредных (или неблагоприятных) факторов и улучшать условия труда работников, в число которых входит «Концепция здорового образа жизни в ОАО «РЖД» на 2020–2025 годы» [2]. Так, согласно разделу 7 «Офисная и производственная среда. Условия труда» данной программы, в целях профилактики неблагоприятного влияния производственных факторов на

самочувствие и здоровье работников ОАО «РЖД», снижения работоспособности и ухудшения их самочувствия, а также недопущения развития серьезных заболеваний в компании осуществляется мониторинг условий труда и состояния здоровья работников [1;2].

Состояние здоровья работающих граждан – это важнейший индикатор социально-экономического положения общества, который оказывает влияние на качество трудовых ресурсов, демографическую ситуацию в стране и производительность труда. Условия труда играют значительную роль в этом процессе, поскольку они создают постоянную опасность для здоровья работников различных профессий [3].

Внедрение новых технологий, таких как экологически чистые туалетные комплексы (ЭЧТК), способствует сохранению здоровья работников и улучше-



В.А. Кочнев

Кочнев Виктор Андреевич, соискатель кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность жизнедеятельности на транспорте, охрана труда. Автор 15 научных работ.

нию экологической ситуации на железнодорожной инфраструктуре. На сегодняшний день все новые вагоны и вагоны после капитального ремонта, оснащают ЭЧТК.

ЭЧТК обеспечивают сбор, транспортировку и утилизацию продуктов жизнедеятельности человека, соблюдая экологические нормы и требования. Оснащение вагонов подвижного состава ЭЧТК позволяет обеспечить комфорт и гигиеническую безопасность для пассажиров и обслуживающего персонала. Санитарно-гигиенические модули включают в себя душевые, умывальники, унитазы, душевые кабины или помывочные отделения.

ЭЧТК требуют регулярного обслуживания. Работники, обслуживающие ЭЧТК: слесари-сантехники, слесари-ремонтники и водители-операторы машин утилизации отходов. Они выполняют техническое обслуживание, ремонт и полное восстановление туалетных комплексов, а также модернизацию пассажирского транспорта. Обслуживание включает техническое обслуживание (ТО), диагностику, ремонт и замену изношенных деталей. ТО проводится согласно плановым графикам, например, ТО-1, ТО-2, ТО-3, ДР и КР. Кроме этого, возможно дополнительное сервисное обслуживание ЭЧТК в пункте оборота и на транзитных станциях в зависимости от маршрута поезда. Сервисное обслуживание ЭЧТК пассажирских вагонов в пути следования поездов на транзитных станциях включает опорожнение и дезодорацию накопительных баков, а также вывоз собранных отходов и их слив в системы канализации [4]. Условия труда работников, обслуживающих ЭЧТК, характеризуются

воздействием на них вредных и опасных факторов. В сфере обслуживания и ремонта ЭЧТК распространены болезни, которые влияют на работу всех систем организма: сердечно-сосудистой, опорно-двигательной, нервной и пищеварительной.

Боль в спине, по оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), достигла масштабов пандемии в развитых странах, представляя собой серьезнейшую проблему не только для медицины, но и для мировой экономики. Ее распространенность настолько высока, что она уверенно занимает второе место среди причин обращения к врачам после респираторных инфекций и третье – по количеству госпитализаций.

Работники, обслуживающие ЭЧТК подвержены высоким рискам развития профессиональных заболеваний позвоночника. Их деятельность характеризуется интенсивными локальными нагрузками на мышцы плечевого пояса и поясницы. Постоянное наклонение, поднятие и перемещение тяжестей (30–40 кг) до 100–300 раз за смену, причем часто под углом более 30 градусов, создают колоссальную нагрузку на позвоночник. Несмотря на развитие технологий, многие операции по очистке и ремонту ЭЧТК по-прежнему выполняются вручную, что увеличивает риск травмирования и развития хронических заболеваний.

Условия труда работников соответствуют классу 3.2 по тяжести труда. На рабочих местах работников присутствуют такие неблагоприятные факторы, как шум, вибрация, недостаточное освещение, а также загрязнение воздуха и средств индивидуальной защиты химическими веществами и микроорганизмами. Согласно



Рис. 1. Система оценки профессионального риска

«УСЛОВИЯ ТРУДА И РИСКИ БРИГАД, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТУАЛЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ»

[7], общая оценка условий труда по степени вредности и опасности относится к классу 3.2. Таким образом, работники этой профессии подвергаются воздействию различных вредных производственных факторов.

Система оценки профессионального риска представлена на рис. 1.

Согласно «Руководству по оценке профессионального риска для здоровья работников» [6], при анализе профессионального риска необходимо учитывать влияние факторов производства и условий труда на здоровье работников. Это влияние отражается в показателях заболеваемости с временной утратой трудоспособности и профессиональных заболеваний.

Учитывая, что количественная оценка риска возникновения профессиональных заболеваний является эффективным средством для анализа комплексного воздействия неблагоприятных факторов на здоровье работников, был произведен расчет индивидуального профессионального риска (ИПР) для работников ряда профессий. Расчет осуществлялся в соответствии с методикой, разработанной Н.Ф. Измеровым, Л.В. Прокопенко, Н.И. Симоновой и другими специалистами Клинского института охраны и условий труда [5]. При этом принимались во внимание параметры, такие как возраст работников, их стаж, состояние здоровья, уровень травматизма и комплексная оценка условий труда.

Для наглядности рассмотрим расчет ИПР для двух работников: одного в возрасте 35 лет и со стажем работы 10 лет и другого — в возрасте 60 лет и со стажем 40 лет. Расчет был выполнен по формуле [5]:

$$\text{ИОУТ} = \frac{100((\text{ПВ}-1)6+P)}{2334} = \frac{100((5-1)6+4)}{2334} = 1,2, (1)$$

где ПВ — показатель вредности условий труда на рабочем месте;

P — ранг, определенный в соответствии со значениями РТ (риска травмирования) и ОЗ (показателя защищенности рабочих средствами индивидуальной защиты) по методике [5].

Индивидуальный профессиональный риск рассчитан по формуле:

$$\text{ИПР} = (V_1 \times \text{ИОУТ} + V_2 \times 3 + V_3 \times B + V_4 \times C) \times \text{PTR} \times \text{ППЗ}, \quad (2)$$

где ИОУТ — интегральная оценка условий труда на рабочем месте;

3 — показатель состояния здоровья рабочих;

B — показатель возраста рабочих;

C — показатель трудового стажа рабочих;

V_{1-4} — коэффициенты, учитывающие значимость параметров и обеспечивающие перевод параметров в относительные величины;

PTR — показатель травматизма на рабочем месте;

ППЗ — показатель профессиональной заболеваемости.

$$\begin{aligned} \text{ИПР} &= (0,5 \times 1 / 15 \times 1,2 + \\ &+ 0,2 \times 1 / 5 \times 3 + 0,1 \times 1 / 5 \times 2 + \\ &+ 0,2 \times 1 / 5 \times 1) \times 1 \times 1,5 = \\ &= (0,04 + 0,12 + 0,04 + 0,04) \times 1 \times 1,5 = 0,36. \end{aligned}$$

Возраст работника 35 лет, трудовой стаж 10 лет (ИПР — 0,36).

Возраст работника 60 лет, трудовой стаж 40 лет (ИПР — 0,92).

Согласно рис. 2 уровень риска соответственно высокий и очень высокий.

В зависимости от категории профессионального риска определена срочность мероприятий по снижению риска (рис. 3) [6].

Шкала индивидуального профессионального риска (ИПР)			
1	2	3	4
↓	↓	↓	↓
Значение ИПР			
Менее 0,13	0,13-0,21	0,22-0,39	От 0,4 и выше
↓	↓	↓	↓
Общая характеристика ИПР			
Низкий риск. На рабочем месте не более двух факторов с классом 3.1. Группа диспансеризации работника Д-I. Работник моложе 30 лет. Трудовой стаж во вредных и (или) опасных условиях труда не более 10 лет.	Средний риск. На рабочем месте не более двух факторов с классом 3.3. Группа диспансеризации работника находится в диапазоне от Д-I до Д-II. Возраст работника не превышает 60 лет. Трудовой стаж во вредных и (или) опасных условиях труда не более 20 лет.	Высокий риск. На рабочем месте не более двух факторов с классом 3.4. Группа диспансеризации работника находится в диапазоне от Д-I до Д-III-Б. Возраст и трудовой стаж работника во вредных и (или) опасных условиях труда охватывают все диапазоны.	Очень высокий риск.

Рис. 2. Уровень индивидуального профессионального риска

Класс условий труда по руководству Р 2.2.2006-05							
	Оптимальный -1	Допустимый -2	Вредный - 3.1	Вредный - 3.2	Вредный - 3.3	Вредный - 3.4	Опасный (экстремальный) - 4
Индекс профабо-леваний, Ипз	-	<0,05	0,05-0,11	0,12-0,24	0,25-0,49	0,5-1,0	>1,0
Категория профессионального риска	Риск отсутствует	Пренебрежимо малый (переносимый риск)	Малый (умеренный) риск	Средний (существенный) риск	Высокий (непереносимый) риск	Очень высокий (непереносимый) риск	Сверх высокий риск и риск для жизни, присущий данной профессии
Срочность мероприятий по снижению риска	Меры не требуются	Меры не требуются, но уязвимые лица нуждаются в дополнительной защите	Требуются меры по снижению риска	Требуются меры по снижению риска в установленные сроки	Требуются неотложные меры по снижению риска	Работы нельзя начинать или продолжать до снижения риска	Работы должны проводиться только по специальным регламентам

Рис. 3. Классы условий труда и срочность мероприятий по снижению риска

На рис. 4 перечислены рекомендуемые меры профилактики, включая, такие как:

- соблюдение режима труда и отдыха;
- сокращение рабочего дня;
- предоставление дополнительного отпуска;
- досрочное назначение пенсии.

Выводы

Таким образом, работа слесарей-откачников связана с высокой нагрузкой на мускулатуру плечевого пояса, требуя поддержания определенной позы тела, а также периодического подъема и перемещения тяжелых предметов, включая наклоны корпуса.

Более того, вибрация от используемого оборудования, а также воздействие низких температур, особенно в холодное время года, дополнительно негативно влияют на состояние позвоночника и мышц. Вибрация же вызывает микротравмы мышц и связок [8].

Обеспечение профилактики профессиональных заболеваний у слесарей-откачников включает комплекс мероприятий:

- использование эргономичных инструментов и оборудования, обеспечение комфортного положения тела во время работы, снижение веса поднимаемых грузов;
- регулярные перерывы в работе, чередование статических и динамических нагрузок, выполнение гимнастики для спины и разминки, профилактический массаж;
- обучение безопасным методам работы, инструктаж по правильному подъему и перемещению грузов, приему оптимальных поз и положений тела;

- использование средств индивидуальной защиты, специальная одежда, обувь, перчатки, средства защиты от холода;
- медицинское обследование, регулярные профилактические осмотры, своевременное выявление и лечение профессиональных заболеваний.

Детальные медицинские осмотры, которые проводят специалисты по профессиональным заболеваниям, а также определение вероятности развития основных патологических синдромов с помощью анкетирования работников может дать более точную оценку состояния здоровья работников.

Отсутствие своевременной профилактики и лечения может привести к развитию хронических болей, инвалидности и значительному снижению качества жизни. Поэтому важно уделять внимание созданию безопасных условий труда и профилактике профессиональных заболеваний. Только комплексный подход, включающий как организационные меры, так и индивидуальные профилактические действия, может эффективно снизить риск возникновения профессиональных заболеваний.

Рекомендуемые меры профилактики	Класс условий труда по руководству Р 2.2.2006-05						
	Оптимальный -1	Допустимый -2	Вредный - 3.1	Вредный - 3.2	Вредный - 3.3	Вредный - 3.4	Опасный (экстремальный) - 4
Организационно-технические мероприятия	-	-	+	++	+++	++++	+
Средства индивидуальной защиты	-	-	+	++	+++	++++	+
Лечебно-профилактические мероприятия	-	-	+	++	+++	++++	+
Периодические медицинские осмотры	-	-	1 раз в 3 года	1 раз в 2 года	1 раз в год	1 раз в год	+
Режим труда и отдыха	-	-	+	++	+++	++++	+
Сокращенный рабочий день	-	-	-	1 час	2 часа	3 часа	>4 часов
Дополнительный отпуск	-	-	-	1 нед.	2 нед.	3 нед.	>4 нед.
Досрочное пенсионное обеспечение	-	-	-	-	5 лет	10 лет	>10 лет

Рис. 4. Классы условий труда и рекомендуемые меры профилактики: + – интенсивность проводимых мероприятий.

Литература

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (утверждена Советом директоров ОАО «РЖД» от 23 декабря 2013 г. № 19). - Текст : непосредственный.
 2. Концепция здорового образа жизни в ОАО «РЖД» на 2020-2025 годы. Приложение № 5 к протоколу заседания Правления ОАО «РЖД» от 06 июля 2020 г. № 40. - URL : <https://storage.yandexcloud.net/dobro-static/prod/docs/33bafe7-a166-4ca2-3ed0-51acc16a88bd/1%20%20Концепция%20ЗОЖ%20c%20реквизитами%20%282%29.pdf>. (дата обращения: 20.11.2024). - Текст : электронный.
 3. Измеров, Н. Ф. Глобальный план действий по охране здоровья работающих на 2008-2017 гг.: пути и перспективы реализации / Н. Ф. Измеров. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2008. - № 6. - С. 1-9.
 4. Ст.1.15.11.04-07. Стандарт санитарно-гигиенической и противоэпидемической безопасности при проведении работ по текущему обслуживанию, демонтажу и ремонту экологически чистых туалетных комплексов замкнутого типа пассажирских вагонов различного назначения и вагонов электропоездов. - Москва, 2007. - 20 с. - Текст : непосредственный.
 5. Методика расчета интегрального показателя уровня профессионального риска в организации и индивидуального профессионального риска в зависимости от условий труда и состояния здоровья работника / Н. Ф. Измеров, Л. В. Прокопенко, Н. И. Симонова [и др.]; под ред. Н. Ф. Измерова. - Москва : Научно-исследовательский институт медицины труда РАМН, 2010. - С. 132-162. - Текст : непосредственный.
 6. Р2.2.3969–23. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки : утверждено Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А. Ю. Поповой 7 сентября 2023. Судакт. - URL: <https://sudact.ru/law/r-223969-23-22-gigiena-truda-rukovodstvo-po/?ysclid=m99gtcbzuy820978114> (дата обращения: 4 марта 2025 года). - Текст : электронный.
 7. Р2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда = guide on hygienic assessment of factors of working environment and work load. criteria and classification of working conditions : утверждено Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 29 июля 2005 года : дата введения 1 ноября 2005 года. - Москва. - 152 с. - Текст : непосредственный.
 8. Гигиена труда: учебник / Н. Ф. Измеров, В. Ф. Кириллов, В. В. Матюхин [и др.]; под ред. Н. Ф. Измерова, В. Ф. Кириллова. - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2010. - 592 с. - Текст : непосредственный.

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА. ОСНОВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ



Д.С. Шульга

В статье представлены общие принципы и алгоритмы оценки профессиональных рисков, которые могут оказывать влияние на работников железнодорожного транспорта при выполнении работ в штатном режиме.

Ключевые слова: оценка профессиональных рисков, опасность, опасный объект, производственный процесс, работники железнодорожного транспорта

EDN: EUPKHN

Основной функцией оценки профессиональных рисков является выявление и анализ вероятностных опасностей возникающих у работников железнодорожного транспорта при штатной работе, а также влияние на работоспособность и причинение вреда здоровью.

Согласно Трудовому кодексу РФ в обязанность работодателей закреплено обеспечение безопасных условий труда, информирование работников о профессиональных рисках.

Риск представляет собой сочетание возможного возникновения опасных событий, тяжести травмирования или иного ущерба здоровью человека, которые вызваны этим событием в процессе труда [1].

Оценка риска представляет собой поэтапные алгоритмы выявления, описания и анализ рисков на рабочих местах, которые оказывают влияние на работников в результате их трудовой деятельности с последу-

ющим определением влияния рисков на безопасность трудовой деятельности и здоровье работников [1].

Профессиональный риск – определение вероятности причинения вреда здоровью работников как результат воздействия вредных и опасных факторов производственной среды и трудового процесса, а также иных факторов и событий при исполнении трудовых функций [2].

На сегодняшний день утвержденная и аттестованная в установленном порядке методика оценки профессиональных рисков отсутствует. Выбор методики с последующей оценкой профессиональных рисков работодатель осуществляет самостоятельно. В случае, если работодатель не может провести оценку самостоятельно, можно привлечь стороннюю организацию, которая имеет в своем штате специалистов по оценке профессиональных рисков, в этом случае методику оценки выбирает данная органи-

Шульга Дарья Сергеевна, преподаватель учебно-методического центра ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: оценка условий труда работников железнодорожного транспорта; оценка профессиональных рисков работников железнодорожного транспорта; безопасность труда. Автор шести научных работ.

зация. Методика оценки профессиональных рисков может применяться как для всей организации, так и для отдельно взятого структурного подразделения. Ее выбор зависит от проявления оцениваемого риска при выполнении однократных заданий, а также при внедрении нового оборудования или технологического процесса и при выполнении работ в штатном режиме [3]. При выборе метода оценки необходимо руководствоваться рядом факторов, таких как численность работников, характер их деятельности, сложность выполняемых рабочих операций, особенность самого объекта оценки.

Оценка профессиональных рисков подразделяется на четыре этапа (табл. 1).

На железнодорожном транспорте можно выделить основные опасности, влияющие на работников при выполнении производственных процессов (рис. 1) [5].

Выявленные опасности могут привести к негативным событиям, которые в свою очередь отрицательно влияют на работников (табл. 2).

Идентифицированные опасности и опасные события могут быть документарно оформлены в виде таблицы с указанием последствий влияния профессиональных рисков (табл. 3).

Таблица 1

Этапы проведения оценки профессиональных рисков

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4
Заключается в проведение идентификации вредных и опасных факторов производственной среды. Проводится с помощью анализа должностных инструкций, инструкции по охране труда, поэтапного изучения штатных операций технологического процесса, анализа результатов ранее проведенной специальной оценки условий труда, результатов производственного контроля, исследования рабочего места с осмотром используемых оборудования, материалов и сырья, опроса работников, анализа выдачи средств коллективной и индивидуальной защиты, статистических данных производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, анкетирования работников [4]	Установление для данной профессиональной группы и отдельного рабочего места опасностей и опасных событий с последующим их описанием	Описание и расчет уровней профессиональных рисков с последующими выводами об уровнях риска	Разработка мероприятий по предупреждению и снижению влияния профессиональных рисков

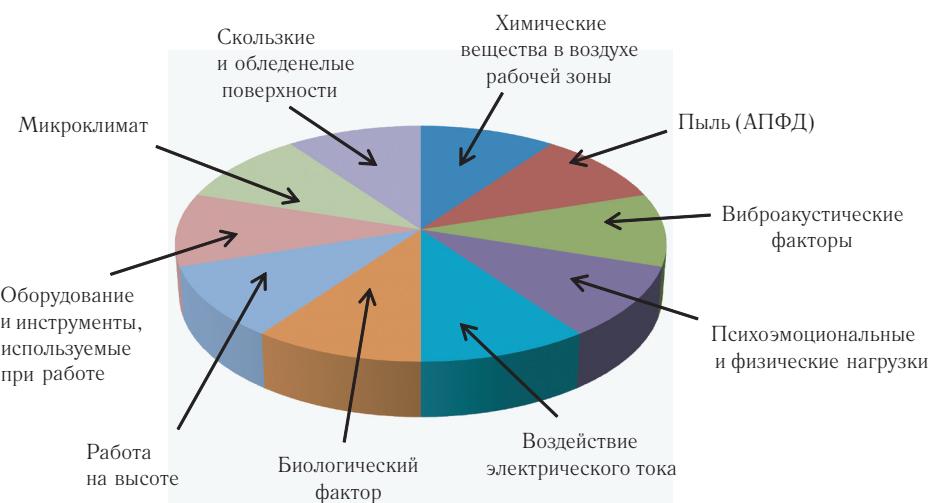


Рис. 1. Основные опасности, влияющие на работников при выполнении производственных процессов

Описание, с последующими расчетами и выводами приемлемости уровней рисков, фиксируются в карте оценки (табл. 4).

Расчет индекса профессиональных рисков по методу Файна-Кинни [7;8].

Расчет профессиональных рисков по данному методу осуществляется по формуле (1):

$$\text{ИПР} = \text{Вр} \cdot \text{Пд} \cdot \text{Пс}, \quad (1)$$

где ИПР – индекс профессионального риска;

Вр – вероятность опасности;

Пд – подверженность опасности;

Пс – последствия опасности.

При расчете индекса профессиональных рисков каждой установленной опасности присваиваются баллы по следующим показателям: вероятность

наступления опасности, подверженность опасности, последствия влияния опасности (табл. 5).

Следующим этапом оценки является разработка плана мероприятий по предупреждению и снижению влияния профессиональных рисков (табл. 6).

Вывод

Обеспечение безопасности труда работников железнодорожного транспорта является приоритетной задачей работодателей, с целью обеспечения бесперебойной работы всей железнодорожной отрасли в целом и сохранение здоровья работающих, уменьшения производственного травматизма, предупреждение числа профессиональных заболеваний, а также соблюдение требований ведомственных документов организации ОАО «РЖД» [4;9]. 

Таблица 2

Опасные события и их негативные последствия для здоровья

№ п/п	Опасные события	Негативные последствия, к которым могут привести опасные события
1	Работа с использованием химических веществ, высокоопасных химических веществ, образование пыли при выполнении определенных работ	1. Аллергические реакции 2. Отравления 3. Профессиональные заболевания
2	Работа на открытой территории в теплый и холодный периоды года	1. Переохлаждение организма 2. Обморожения 3. Тепловой удар
3	Работы с оборудованием, инструментами являющимися источниками повышенных уровней вибрационных факторов	1. Снижение слуха 2. Нейросенсорная тугоухость 3. Глухота 4. Влияние на сосуды верхних конечностей 5. Вибрационная болезнь
4	Работы, связанные с подъемом и перемещением тяжести, работа в неудобной или вынужденной позе	1. Травмы 2. Ушибы 3. Влияние на костно-мышечную систему и опорно-двигательный аппарат
5	Работа в дефиците времени, монотонные работы, диспетчеризация, ответственность за свою жизнь и жизнь других лиц, стрессовые ситуации	1. Стресс 2. Депрессия 3. Влияние на нервную систему организма
6	Работа на открытой территории в летний период года, вероятность укусов насекомых и диких животных, воздействие патогенных микроорганизмов	Заражение инфекционными заболеваниями передающимися через насекомых и животных при укусе, от патогенных микроорганизмов
7	Работа с электрооборудованием, которое находится под напряжением. Воздействие электрической дуги, шаговое напряжение	1. Электротравма 2. Нарушение ритма сердца
8	Работа на высоте	Падение с высоты, что может привести к травмам, ушибам, переломам, смертельным случаям

Таблица 3

**Идентифицированные опасности, опасные события, последствия
в зависимости от производственного процесса**

Наименование производственного процесса	Опасность	Опасное событие	Последствия влияния опасностей и опасных событий
Монтеры пути (дистанция пути)			
Работа с ручным виброприбором у монтера пути (электрошпалоподбойка)	Локальная вибрация	Воздействие локальной вибрации на верхние конечности работника [10]	1. Сужение сосудов 2. Вибрационная болезнь
Электромеханики СЦБ (дистанция сигнализации, централизации и блокировки)			
Работа на открытой территории (работники сортировочных горок)	Шум	Воздействие на слуховой анализатор	1. Снижение остроты слуха 2. Тугоухость 3. Глухота
Оператор дефектоскопной тележки (дистанция пути)			
Дефектоскопия рельсов	Ультразвук контактный [6]	Воздействие ультразвука на органы и системы	1. Локальное воздействие на организм 2. Влияние на нервную, сердечно-сосудистую системы 3. Невриты рук

Таблица 4

Карта профессиональных рисков

Идентифицированные опасности	Выполняемые штатные операции	Источники установленных опасностей	Приемлемость риска
Повышенный уровень шума	Работа с оборудованием, являющимся источником повышенного шума	Ручной виброприбор, углошлифовальная машина	Уровень риска приемлемый, меры не требуются
Электрический ток	Применение в работе электрооборудования, с высоким напряжением; отсутствие заземления; использование электрооборудования, имеющего неисправности	Оборудование, подключенное к электросети, находящееся в неисправном состоянии	Уровень риска неприемлемый, требуются корректирующие мероприятия в сжатые сроки

Таблица 5

Расчет индекса профессиональных рисков по методу Файна-Кини

Вр	Пд	Пс	ИПР
10 (точно случится)	10 (постоянно в течение смены)	7 (тяжелый несчастный случай)	700 (крайне высокий риск)

Таблица 6

План мероприятий по устранению неприемлемых уровней профессиональных рисков

Установленные опасности, опасные события	Мероприятия по предупреждению и снижению	Периодичность проведения мероприятий	Ответственный исполнитель
Работы, связанные с подъемом и перемещением тяжести, работа в неудобной или вынужденной позе	1. Соблюдение правил охраны труда, инструкций при переносе тяжестей 2. Строгое соблюдение режимов труда и отдыха 3. Организация безопасного рабочего места 4. Проведение обучения работников правилам безопасного труда 5. Использование автоматизированного труда 6. Регламентированные перерывы в течение рабочего дня (смены)	В установленные работодателем сроки	Назначенное ответственное лицо

Литература

1. ГОСТ 12.0.230-2007. Система управления охраной труда. Общие требования: издание официальное : введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 10.07.2007 № 169-ст). (ред. от 31.10.2013): дата введения 2007-07-10. - КонсультантПлюс. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1355-58/?ysclid=m4tp6hdhkm305067743 (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.
2. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 2024.08.08) : принят Государственной Думой 21 декабря 2001 года : одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года. - КонсультантПлюс. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/?ysclid=m4tpcic3qz968009667 (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.
3. Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков: Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 28 декабря 2021 г. № 926: дата введения 2021-12-28. - КонсультантПлюс. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_406016/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdadff518/?ysclid=m4tpjbjqbu262446522 (дата обращения: 25.11.2024). - Текст : электронный.
4. Об утверждении СТО РЖД 15.014-2017. Система управления охраной труда в ОАО «РЖД» Управление профессиональными рисками. Общие положения: Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». Распоряжение от 29 декабря 2017 года № 2805п. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/556523015?ysclid=m4tpmyhyig673355799> / Режим доступа: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.
5. Об утверждении примерного положения о системе управления охраной труда: Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 776н: дата введения 2021-12-14. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/727092790?ysclid=m4tpvczx5gr405983936>. - Режим доступа: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.
6. Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области». Ультразвук. Источники и влияние на организм человека. - URL: <https://orenfbuz.ru/news/ultraz-vuk-istochniki-i-vliyanie-na-organizm-cheloveka>. (дата обращения: 26.11.2024). - Текст : электронный.
7. ГОСТ 12.0.230.5-2018. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ = Occupational safety standards system. Health management systems. Risk assessment methods to ensure the safety of work: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное:утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 сентября

2018 г. № 578-ст; дата введения 2019.06.01; введен впервые. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200-160465?ysclid=m4trb4qio4176740837>. - Режим доступа: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.

8. Сайт Министерства труда и социального развития Новосибирской области. Памятка оценки профессиональных рисков. - URL: <https://mtsrf.nso.ru/page/9664> (дата обращения: 02.12.2024). - Текст : электронный.

9. СТО РЖД 15.001-2020. Система управления охраной труда в ОАО «РЖД». Общие положения. - Судакт. - URL: <https://sudact.ru/law/raspriazhenie-oao-rzhd-ot-17122020-n-2796r/?ysclid=m4tqc9h1996-82023947> (дата обращения: 02.12.2024). - Текст : электронный.

10. Шульга, Д. С. Оценка профессиональных рисков у монтеров пути / Д. С. Шульга, О. С. Сачкова. - Текст : непосредственный // Анализ риска здоровью-2024 : материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Пермь, 15-16 мая 2024 г.) : посвящается Десятилетию науки и технологий в России : в 2 томах / под редакцией А. Ю. Поповой, Н. В. Зайцевой. - Пермь. Т. 2. - 2024. - С. 128-134.

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РАБОТНИКОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ



Л.А. Леванчук

Для оценки влияния факторов производственного процесса на показатели риска здоровью работающих целесообразно выделить долю влияния на риск возрастных изменений здоровья. В результате исследования определены зависимости, которые в дальнейшем использованы для определения персонализированных показателей риска здоровью работающих в различных условиях транспортной отрасли без учета влияния возрастных изменений.

Ключевые слова: условия труда, риск здоровью, повозрастные коэффициенты

EDN: HCLIUK

Основным направлением государственной политики в области охраны труда является обеспечение сохранения жизни и здоровья работников [1]. Существующая в настоящее время система оценки условий труда (СОУТ) и результаты анализа утраты здоровья работающих в различных условиях транспортной отрасли имеют разнонаправленные векторы развития [2;3].

Вредные производственные факторы на рабочих местах различны, как по видам, природе, так и по уровням превышения. Поэтому важно, чтобы система управления профессиональным риском включала анализ профессиональной и производственно-обусловленной патологии, общей заболеваемости, оценку факторов профориска, выявление наиболее уязвимых стажевых и профессиональных групп риска, а также определение этиологической доли факторов рабочей

среды и доли возрастных изменений, не связанных с профессиональной деятельностью.

Объект исследования: динамика профессионально-обусловленных заболеваний работников старших возрастных групп.

Цель работы: обоснование метода оценки и прогнозирования риска производственно-обусловленных заболеваний работников старших возрастных групп, занятых в различных условиях труда.

Задачи: провести анализ динамики производственно-обусловленных заболеваний у работников в «допустимых» условиях труда в процессе всего периода трудовой деятельности. Определить основные нозологические формы заболеваний, наиболее значимых в предпенсионном и раннем пенсионном возрастах. Определить зависимости заболеваемости работающих от возраста, которые в дальнейшем

Леванчук Леонид Александрович, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС). Область научных интересов: охрана труда, организация риск-ориентированного контроля безопасности производственной деятельности. Автор 34 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет два патента и пять свидетельств на программы для ЭВМ и базы данных.

«ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ РАБОТНИКОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ»

будут использованы при разработке практических рекомендаций для оценки персонализированного профессионального риска утраты здоровья у работников различных возрастных групп, занятых во вредных условиях труда.

За период с 2014 по 2023 годы по данным аналитических справок для Министерства труда выявлено увеличение на 3,2% соотношения числа работающих с двумя и более профессиональными заболеваниями к общему числу работающих с впервые установленными диагнозами [11]. Данные указывают на высокую роль комплексного и сочетанного действия факторов производственной среды на здоровье работающих, что не учитывается при проведении СОУТ.

Соотношение числа работающих с установленными профессиональными заболеваниями в 2022 году и числа работающих с установленной инвалидностью составило 1:16. Это по международной классификации считается высоким уровнем профессиональной инвалидизации. Доля установленной инвалидности 1 группы в результате заболевания, связанного с профессией, в 2022 году увеличилась в 9 раз по сравнению с 2014 годом и составила 4%. Это указывает на увеличение числа лиц с полной потерей трудоспособности в результате профессиональной деятельности [1;11].

Более 43% утративших здоровье в результате профессиональной деятельности составляет возрастная группа 50–59 лет, 23% (каждый пятый) составляет профессиональная группа 40–49 лет. Анализ стажа работы показал, что наиболее часто утрата здоровья регистрируется при стаже 20–29 лет (34%) и стаже 30–39 лет (25%). При продолжительности стажа 10–19 лет также регистрируется утрата здоровья, связанная с профессиональной деятельностью (21%) [11].

Известно, что на показатель риска утраты здоровья работающими оказывают влияние как факторы производственной среды, так и возрастные изменения в организме [6;7;13–15]. В этой связи особую значимость приобретает управление профессиональными рисками, связанными с профессиональными рисками и рисками, связанными с возрастными изменениями у работающих.

Таким образом, разработка рекомендаций, направленных на определение величины риска утраты здоровья за счет возрастных изменений для оценки персонализированного риска при воздействии факторов производственной среды является актуальной.

Материалы и методы исследования

Для определение возрастных тенденций заболеваемости населения проведен анализ по данным обращаемости за медицинской помощью. В качестве объектов исследования выбрано четыре ТМО городов Ленинградской области и пригородов Санкт-Петербурга, с численностью населения более 50 тысяч жителей (города Тихвин, Пушкин, Павловск, Ломоносов). Использованы коды МКБ – X. Анализ проведен в соответствии с общепринятыми возрастными группами (18–29, 30–39, 40–49, 50–59, 60–69 и 70 лет и старше). Исходные данные – учетные и отчетные формы информационных баз ТМО. Статистическая обработка проведена в пакете стандартных программ Excel.

Результаты исследования

Результаты определения динамики показателей заболеваемости населения болезнями, ассоциированными с возрастом, не связанными с воздействием факторов производственной среды, представлены на рис. 1–4.

Взаимосвязь заболеваемости отдельными нозологическими формами болезней с возрастом с достаточной степенью точности описывается полиномом 2-й степени: коэффициент детерминации $R^2 > 0,9$. Для оценки риска персонализированной стажевой нагрузки в условиях воздействия неблагоприятных факторов производственной среды целесообразно вводить поправочные коэффициенты, обусловленные воздействием возрастных изменений, которые можно рассчитать на основе полученных формул.

Заключение

Результаты исследования позволили выделить формы производственно-обусловленных заболеваний, ассоциированных как с условиями труда, так и с возрастными изменениями организма работающих. К ним отнесены болезни системы кровообращения; болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, болезни уха и сосцевидного отростка, болезни эндокринной системы. Получены формулы регрессии, удовлетворительно описывающие зависимость заболеваемости населения от возраста. Эти зависимости будут в дальнейшем использованы при определении поправочных коэффициентов для прогноза персонализированного профессионального риска утраты здоровья при работе в различных условиях труда на объектах транспортной отрасли.

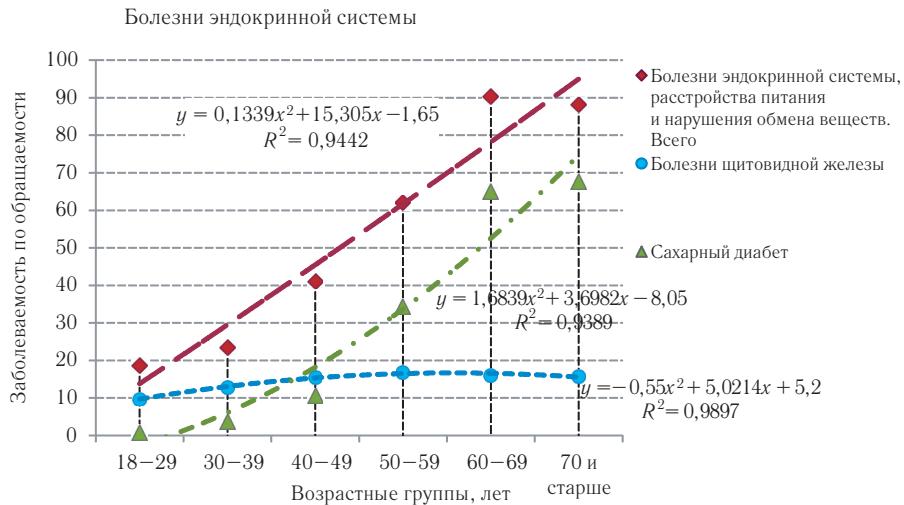


Рис. 1. Взаимосвязь заболеваемости болезнями эндокринной системы с возрастом
(на 1000 населения соответствующего возраста)



Рис. 2. Взаимосвязь заболеваемости болезнями уха и сосцевидного отростка с возрастом
(на 1000 населения соответствующего возраста)

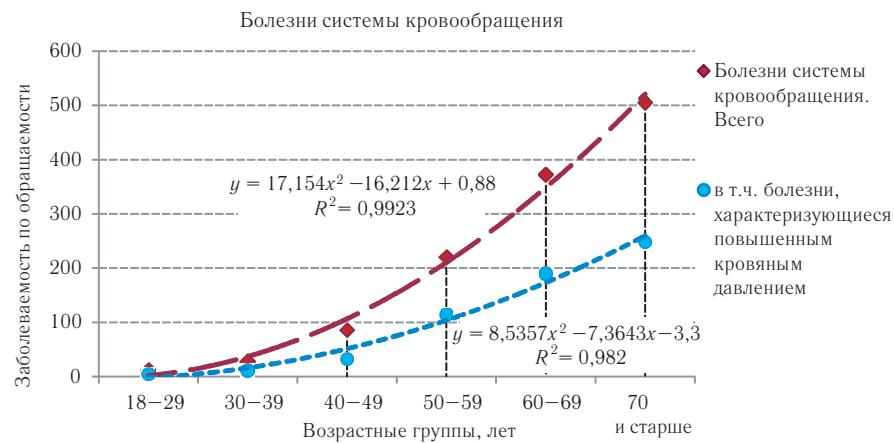


Рис. 3. Взаимосвязь с возрастом заболеваемости болезнями системы кровообращения
(на 1000 населения соответствующего возраста)

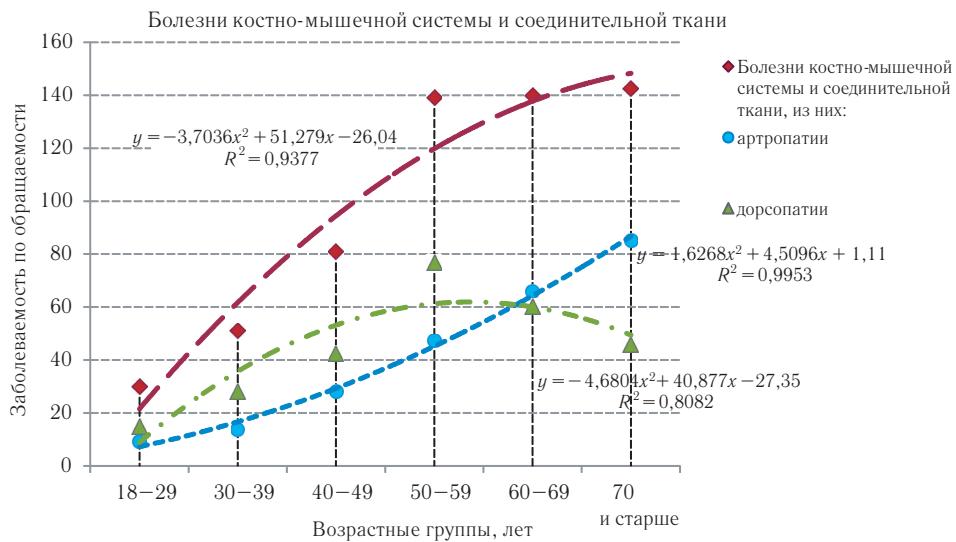


Рис. 4. Взаимосвязь с возрастом заболеваемости болезнями костно-мышечной системы (на 1000 населения соответствующего возраста)

Литература

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: государственный доклад. - Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. - 368 с. - Текст : непосредственный.
2. Гребеньков, С. В. Особенности профпатологической заболеваемости в период 2013-2022 годов / С. В. Гребеньков. - Текст : непосредственный // Медицина труда: проблемы сохранения профессионального здоровья в России на рубеже первой и второй четверти XXI века : сборник трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня основания кафедры медицины труда ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И. И. Мечникова Минздрава России (Санкт-Петербург, 23 мая 2024 года) Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. - С. 98-100.
3. Григорьева, Т. В. Динамика заболеваемости трудоспособного населения Санкт-Петербурга за последние 5 лет по данным диспансеризации / Т. В. Григорьева, О. В. Хабибулина. - Текст : непосредственный // сборник материалов международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда» (Минск, 23-24 ноября 2023 г.) / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Научно-практический центр гигиены. - Минск : Издательский центр БГУ, 2023. - С. 252-254.
4. Оценка медицинскими работниками степени влияния условий труда на развитие профессиональных заболеваний / Н. Н. Петрухин, О. Н. Андреенко, И. В. Бойко, С. В. Гребеньков. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2019. - № 8. - С. 463-467.
5. Кордюков, Н. М. Условия труда и профессиональная заболеваемость работников предприятий отдельных видов транспортного комплекса Санкт-Петербурга / Н. М. Кордюков, А. Е. Пономарев. - Текст : непосредственный // Медицина труда: проблемы сохранения профессионального здоровья в России на рубеже первой и второй четверти XXI века: сборник трудов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня основания кафедры медицины труда ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И. И. Мечникова Минздрава России (Санкт-Петербург, 23 мая 2024 года). - Санкт-Петербург : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. - С. 156-159.

6. Заболеваемость, инвалидность и смертность населения в трудоспособном возрасте / И. В. Бухтияров, Г. И. Тихонова, К. В. Бетц, М. С. Брылева, Т. Ю. Горчакова, А. Н. Чуранова. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2022.- Т. 62, № 12. - С. 701-706.
7. Медицина труда и промышленная экология / И. В. Бухтияров, Н. Ф. Измеров, Г. И Тихонова, А. Н Чуранова, Т. Ю. Горчакова, М. С. Брылева, А. А. Крутко. - Текст : непосредственный // Условия труда как фактор риска повышения смертности в трудоспособном возрасте. - 2017. - № 8. - С. 43-49.
8. Некоторые подходы и критерии оценки риска развития профессиональных заболеваний / Е. М. Гутор, Е. А. Жидкова, К. Г. Гурвич, И. В. Бухтияров, Е. В. Зибарев, С. М. Вострикова, П. А. Астанин. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2023. - Т. 63, № 2. - С. 94-101.
9. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). - URL:http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ru/statistics/population/demography/# (дата обращения: 29.02.2024). - Текст : электронный.
10. Санкт-Петербург в 2023 г. /Петростат. -Санкт-Петербург, 2024. -254 с./ Федеральная служба государственной статистики / Режим доступа: <https://78.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/11000124.pdf> (Дата обращения: 20.09.2024).
11. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2022 году: государственный доклад. - Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. - 368 с. - Текст : непосредственный.
12. Лапко, И. В. Современные технологии сохранения здоровья работников с учетом актуальных профессиональных рисков / И. В. Лапко, И. В. Яцына // Здравоохранение Российской Федерации. - 2022. - Т. 66, № 5. - С. 390-394. - Текст : непосредственный.
13. Ширванов, Р. Б. Анализ существующих подходов к оценке опасностей и профессиональных рисков работников промышленных предприятий Республики Казахстан / Р. Б. Ширванов. - Текст : непосредственный // Безопасность техногенных и природных систем, 2022. - № 2. - С. 14-23.
14. Абдрахманова, Н. Б. Регулирование труда работников, занятых во вредных и опасных условиях труда в странах ЕАЭС / Н. Б. Абдрахманова. -Текст : непосредственный // Медицина и экология. - 2018. - №3. - С. 4-5.
15. Оценка влияния производственных факторов на безопасность труда, состояние здоровья и качество жизни / С. К. Карабалин, Л. Б. Сейдуанова, Л. С. Ниязбекова, А. К. Сайлыбекова, М. М. Нурсеитов. - Текст : непосредственный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2018. - № 5-1. - С. 108-112.