

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



I
S
S
N
2
0
7
4
1
9
3
2
5



Транспорт

Моделирование транспортных процессов

Безопасность деятельности человека

2023 3

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:

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.16. Охрана труда (технические науки);
- 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).

Адрес редакции:

125315, Москва, Часовая ул., 22/2
Тел.: 8 (495) 649-19-00 доб. 385.
125315, Chasovaya Str., 22/2, Russia, Moscow
Тел.: 8 (495) 649-19-00 ext: 385. Fax: 8 (499) 151-18-37

E-mail: nttmag@rgotups.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 Южного речного вокзала, г. Москва (автор Д.Н. Тихонычев).

Отпечатано РОАТ РУТ (МИИТ):
125315, Москва, 3-й Балтийский пер, д.4, к.5

Подписано в печать 27.09.2023.

Усл. печ. л. 14,5
Формат 60×90^{1/8}.

Тираж 60 экз.
Тип. зак. 18

© Наука и техника транспорта, 2023



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. Горелик А.В.;
д-р техн. наук, проф. Космодамианский А.С.;
д-р техн. наук, проф. Безродный Б.Ф.;
д-р техн. наук, проф. Никитин А.Б.;
д-р ф.-м. наук, проф. Локтев А.А.;
д-р техн. наук, доц. Сычев В.П.;
д-р техн. наук, проф. Мондрус В.Л.;
д-р техн. наук, проф. Мкртычев О.В.;
д-р техн. наук, проф. Аксенов В.А.;
д-р техн. наук, проф. Шварцбург Л.Э.;
д-р техн. наук, проф. Николайкин Н.И.;
д-р техн. наук, проф. Сидоренко В.Г.;
д-р техн. наук, проф. Осьминин А.Т.;
д-р экон. наук, проф. Шкурина Л.В.;
д-р экон. наук, проф. Мирошниченко О.Ф.;
д-р экон. наук, проф. Белоусова Н.И.

Главный редактор
В.И. Апатцев

Ответственный редактор

В.А. Бугреев

Ответственный секретарь

В.А. Кочнев

Редакторы

Д.Н. Тихонычев, В.К. Тихонычева

Английский перевод

М.Л. Окулова

3' 2023

Транспорт



Д.И. Бодриков, Д.А. Акулов, И.А. Рыбкин, Р.С. Чубов, В.П. Смирнов

Вентиляция тяговых двигателей электровозов северного направления Восточного полигона РЖД

8



Т.В. Шепитько, И.А. Артюшенко, Е.А. Курчаткин

Влияние конструктивно-технологических особенностей насыпи и шага расстановки вертикальных столбов из щебня на устойчивость сооружения

11



А.В. Харитонов

Влияние массы тяговых электродвигателей на устойчивость движения высокоскоростного электропоезда

18



А.А. Бакин, С.П. Вакуленко

Исследование параметра интенсивности накопления пригородных пассажиров на остановочных пунктах в ожидании электропоезда

26



Д.Г. Евсеев, М.Ю. Куликов, П.С. Курин, А.С. Шинкарук

Совершенствование технического обслуживания и ремонта системы обеспечения комфорта пассажирских вагонов

37



П.В. Савченко, К.В. Менакер, Н.В. Романов, Л. Бадирила

Разветвленные рельсовые цепи с циклическим питанием без изолирующих стыков

41



С.П. Круглов, С.А. Исупов

Сравнительный анализ штатной и адаптивной системы подсыпки песка на локомотиве

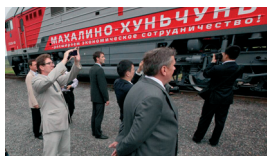
45



К.А. Сергеев, О.И. Мироненко, О.Ю. Кривич

Построение функциональной модели технологических процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава железных дорог

50



Р.Г. Король, А.С. Акельев

Распределение грузопотоков в системе пограничных пунктов пропуска транспортного коридора «Приморье-2»

52

Моделирование транспортных процессов



П.А. Козлов, И.С. Абдуллаев, О.В. Осокин

О двойственной сущности железнодорожного транспорта

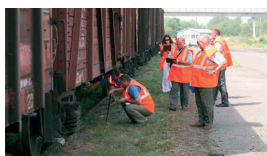
60



В.И. Чеботарев, Б.И. Давыдов, К.С. Каблукова

Об одном подходе к оценке качества оперативного управления движением поездов

66



В.Е. Нутович

Формализованные методы обработки информации, анализа и синтеза системы интеллектуального коммерческого осмотра вагонов

77

Безопасность деятельности человека



С.Л. Самошкин, О.С. Сачкова, А.В. Зайцев, М.А. Кружинов, Д.В. Климова

Проведение приемочных испытаний пневматического рессорного подвешивания тележек двухэтажных пассажирских вагонов проекта «Вагон 2020»

86



А.А. Демидов, А.В. Матешева, В.А. Пашинин

Методика определения селена с использованием ртутно-пленочного и графитового электрода в природных водах вблизи объектов железнодорожного транспорта

96



В.А. Бугреев, Р.М. Нигай, А.А. Романов, А.П. Чехов

Моделирование изменения состояния студентов при нагрузках

102



М.А. Журавлева, Н.И. Зубрев, С.М. Кокин

Сравнение вкладов тепловой станции и железной дороги в загрязнение почвы тяжелыми металлами

106



А.А. Москвин

Оценка состояния функциональных показателей организма машинистов локомотивных бригад при прогнозировании чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте

111

Transport

D.I. Bodrikov, D.A. Akulov, I.A. Rybkin, R.S. Chubov, V.P. Smirnov

Ventilation of Electric Locomotive Traction Motors of Northern Direction of Eastern Polygon of Russian Railways

8

The reduced reliability of insulation of traction motors of electric locomotives of the northern direction of the Eastern Polygon was established. It was revealed it is largely due to the irrational ventilation of the engines. The article considers the measures to reduce the insulation failures of traction motors.

Key words: Eastern Polygon of Russian Railways, electric locomotive, traction motor, ventilation, insulation

T.V. Shepitko, I.A. Artyushenko, E.A. Kurchatkin

Impact of Structural and Technological Features of Embankment and Spacing of Vertical Crushed Stone Columns on Structure Stability

11

The article analyses the efficiency of using vertical columns made of crushed stone in the areas of island permafrost distribution, the impact of this technology on the structure stability, and also considers the design of the embankment with different slope steepness and spacing of the columns.

Key words: transport, permafrost soils, embankment stability, vertical columns of crushed stone

A.V. Kharitonov

Influence of Traction Motors Weight on High-Speed Electric Train Movement Stability

18

When analysing the technical parameters of abroad trains, their maximum speed approaches 400 km/h, a tendency to reduce the weight of the locomotive underframe components was revealed, including the use of low-power traction motors, and the necessary traction power is achieved due to the complete motored axes of the electric train. To justify substantiate the feasibility of using this approach, the article carried out the computational investigation of the movement stability using the mathematical model of the Sapsan electric train at different weights and the design of suspending of traction motors on the bogie frame.

Key words: dynamic model, electric motor weight; critical speed, proportion of motored axes, regression analysis, computational investigation, universal mechanism

A.A. Bakin, S.P. Vakulenko

Research of Accumulation Intensity Parameter of Commuter Passengers at Stopping Points Waiting for Electric Train

26

The article presents the research results of the approach intensity of passengers to boarding electric trains. It is determined that the approach intensity of passengers is described by the probability density function of the log-logistic distribution (the Fisk distribution), and that the key parameter affecting the distribution is the train-to-train interval before and after departure of the commuter electric train.

Key words: passenger approach distribution, waiting time, accumulation intensity, log-logistic distribution

D.G. Evseev, M.Yu. Kulikov, P.S. Kurin, A.S. Shinkaruk

Improvement of Maintenance and Repair of Passenger Car Comfort System

37

Based on the analysis of service equipment, the paper presents the impact of diagnostics on the adoption of predictive measures to identify technical malfunctions of passenger cars in 2021 and 2022. The authors consider technical means of collection and processing of measuring information used in diagnostics, and software for creation of dynamic monitoring system of passenger car.

Key words: passenger car, comfort system, repair, maintenance, fault recovery

P.V. Savchenko, K.V. Menaker, N.V. Romanov, L. Badirila

Cyclic-Powered Branched Rail Circuits without Insulated Joints

41

The authors consider the structure and composition of the equipment of rail circuits without insulated joints at cyclic power supply with signal current. The article presents the purpose and interaction of branched rail circuit elements and gives an example of its operation algorithm.

Key words: rail circuit, cyclic power supply with signal current, tonal rail circuits

S.P. Kruglov, S.A. Isupov

Comparative Analysis of Standard and Adaptive System of Sand Adding on Locomotive Wheelset **45**

Based on the use of a linearized model of locomotive wheelset spinning, the authors carried out a comparative analysis of the behaviour of the standard sand adding system under the wheels and the proposed adaptive sand control system in typical spinning cases. As the latter, the spinning cases during train acceleration and when running over oil spots on rails are used.

Key words: spinning, relative sliding speed, sand adding, friction coefficient, adaptive control law

K.A. Sergeev, O.I. Mironenko, O.Yu. Krivich

Functional Model Construction of Railway Rolling Stock Repair and Maintenance Processes **50**

The article presents the functional model construction of the technological processes of repair and maintenance of railway rolling stock. This model construction is used in the technological design of objects and processes of railway car repair production. The authors describe the general technique of variant design.

Key words: technological processes, automatic coupling equipment of cars, rolling stock, design documentation

R.G. Korol, A.S. Akeliev

Distribution of Freight Flows in Border Checkpoint System of Primorye-2 Transport Corridor. **52**

The dynamics of the increase in the volume of cargo transported in the eastern direction requires the implementation of complex solutions to improve the traffic capacity of the transport and terminal logistics infrastructure. The authors carried out the assessment the workload of the border checkpoints of the Primorye-2 international transport corridor, in particular, the Makhhalino (RF) – Hunchun (PRC) railway border crossing and the Kraskino automobile checkpoint.

Key words: international transport corridors, simulation modelling, border checkpoints

Modelling of transport processes

P.A. Kozlov, I.S. Abdullaev, O.V. Osokin

On Dual Entity of Railway Transport **60**

The rail transport has a dual entity as a system and an element of the national economy system. In the second case, its function is to ensure the country economic connections with reliable and effective transport links. The formation of the structure should be considered from the functional positions. It is important to consider in infrastructure design and work organisation.

Key words: transport, structure, function, flow, railway, polygon

V.I. Chebotarev, B.I. Davydov, K.S. Kablukova

On One Approach to Quality Assessing of Train Traffic Operational Control. **66**

In this paper, the sequence of departure and arrival deviations at a station is considered as the Markov chain. Each link of this chain has a transient probability matrix the authors use to determine the efficiency index. Based on this numerical characteristic, a method for quality assessing of vehicle traffic control has been developed. Estimates obtained with the proposed method are shown to be consistent with those of another, earlier method.

Key words: stochastic model, deviation from a schedule, Markov chain, transition matrix

V.E. Nutovich

Formalised Methods of Information Processing, Analysis and Synthesis of Intelligent Commercial Rail Car Inspection System **77**

The article describes the information model of the intelligent commercial inspection implemented as part of the automated system of operational control and quality analysis of commercial work and freight transportation safety (ASKM ICO), a formal recurrent model, the task decomposition tree, constructed according to the object-oriented and method-oriented principle, a description of methods of auto-diagnostics of the condition of rail cars and cargoes: weighing, infrared scanning, laser scanning, neural network photodiagnosis, temperature control and radio frequency control. The architecture of the developed system and the test results are also given.

Key words: intelligent transport systems, neural network technologies, commercial rail car inspection, reliability assurance, ASKM ICO

Safety of human activity

S.L. Samoshkin, O.S. Sachkova, A.V. Zaitsev, M.A. Kruzhinov, D.V. Klimova

Acceptance Tests of Pneumatic Spring Suspension of Double-decker Passenger Car Bogies of Carriage-2020 Project **86**

The article describes the algorithm for acceptance tests of pneumatic spring suspension of double-decker passenger car bogies of the Carriage-2020 project. The methods of acceptance tests of pneumatic spring suspension of passenger cars of locomotive traction were developed and agreed upon. The tests were carried out in stationary conditions and on rail tracks.

Key words: traffic safety, rolling stock safety, acceptance tests, carriage models

A.A. Demidov, A.V. Matesheva, V.A. Pashinin

Selenium Determination Method Using Mercury-Film and Graphite Electrode in Natural Waters near Railway Transport Facilities **96**

Various approaches to detecting inorganic selenium in an aqueous medium using electrochemical methods have been studied. During the study, it was found that selenium does not precipitate on the surface of the graphite electrode if it is present in solutions. The effect of various parameters (background electrolyte content, pH, potential and accumulation time) on the selenide ion analytical signal was determined.

Key words: railway transport, aqueous medium, mercury-film electrode, background electrolyte, accumulation potential

V.A. Bugreev, R.M. Nigay, A.A. Romanov, A.P. Chekhov

Modelling State Change of Students under Academic Loads **102**

The article considers an approach to solve the behaviour problem forecasting over a certain time interval of the organism of a transport college student, with various factors and using data on his (her) initial state of health. The mathematical model of a person is used to solve this problem. The model is close to the real characteristics of the behaviour of the organism of the transport student. And this model is calculated numerically and analytically.

Key words: mathematical modelling, transport training profile, dynamic systems, health status

M.A. Zhuravleva, N.I. Zubrev, S.M. Kokin

Comparison of Thermal Plant and Railway Influence to Heavy Metal Soil Pollution **106**

The authors consider the combined influence of the railway and thermal power plants on the distribution of heavy metals in the adjacent territories. The sources of heavy metals in the flying ash of the thermal power plant are presented. The contribution of enterprises to the pollution of soil in the wayside zone was assessed.

Key words: heavy metals, wayside zone, thermal power plant, soil pollution

A.A. Moskvina

Assessment of Organism Functional Indicators of Locomotive Crew Drivers in Predicting Emergency Situations in Railway Transport **111**

The author considers the issue of assessing the state of organism functional indicators of locomotive crew drivers under various weather conditions, stressful situations during labour activity. The paper identifies the indicators which can be used in determining the risk group among drivers in predicting emergency situations in railway transport.

Key words: locomotive crew drivers, emergency, adaptation, railway

ВЕНТИЛЯЦИЯ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕВЕРНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА РЖД



Д.И. Бодриков



Д.А. Акулов

Установлена пониженная безотказность изоляции ТЭД электровозов северного направления Восточного полигона. Выявлено, что это в значительной мере обусловлено нерациональной вентиляцией двигателей. Рассмотрены мероприятия по уменьшению отказов изоляции тяговых электродвигателей.

Ключевые слова: Восточный полигон РЖД, электровоз, тяговый электродвигатель, вентиляция, изоляция

EDN: CGXNEV

Авторами выявлено, что все электродвигатели НБ-514 электровозов ВЛ85, поступающие в Улан-Удэнский локомотиво-вагоноремонтный завод (далее — УЛВРЗ) на капитальный ремонт имеют один и тот же характер износа изоляции обмоток. В верхней части остовов, поступивших на капитальный ремонт тяговых электродвигателей (ТЭД) изоляция главных полюсов (ГП), дополнительных полюсов (ДП), компенсационных обмоток (КО) не имеет следов интенсивного старения — достаточно монолитная, соответствующая требованиям, предъявляемых к изоляции после проведения капитального ремонта. Состояние изоляции остовных обмоток в верхней части

остовов двигателей НБ-514 соответствует состоянию изоляции всех остовных обмоток двигателей НБ-412М электровозов ВЛ60 и НБ-418К электровозов ВЛ80К, с равномерным распределением объемов вентилируемого воздуха по высоте остова ТЭД, ранее поступивших на капитальный ремонт в УЛВРЗ.

По результатам обследования двигателей НБ-514, поступивших на капитальный ремонт в УЛВРЗ установлено, что изоляция нижних остовных обмоток ГП, ДП, КО пористая, ослабленная, частично разрушенная и интенсивно осыпается.

В ТЭД НБ-514 (рис. 1) вентилирующий воздух подается через патрубок над коллектором, а выходит

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), начальник отдела электрических машин ПКБ ЦТ ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта, повышение безотказности локомотивов. Автор 27 научных работ.

Акулов Даниил Александрович, студент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов и электропоездов. Автор шести научных работ.

Рыбкин Иван Александрович, студент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов и электропоездов. Автор двух научных работ.

Чубов Роман Сергеевич, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов. Автор 32 научных работ.

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов. Автор 166 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

из двигателя со стороны, противоположной коллектору вверх под кузов электровоза через специальный кожух с поворотом вентилирующего воздуха на 270° . Это приводит к неравномерному охлаждению остовных обмоток по высоте остова двигателя.

Все обследованные нами двигатели НБ-514, поступившие на капитальный ремонт в УЛВРЗ имеют один и тот же характер старения изоляции, свидетельствующий о существенной неравномерности распределения вентилирующего воздуха по высоте двигателей от верхней части остова до нижней, вызывая интенсивный тепловой износ изоляции остовных обмоток в нижней части остова с минимальным охлаждением.

Это определяет:

- существенное уменьшение ресурса двигателя, обусловленного ресурсом изоляции остовных обмоток в нижней части остова;
- снижение тока двигателя, допускающего работу без перегрева изоляции якорной и остовных обмоток до 47 % тока продолжительного режима при отключенной вентиляции (см. рис. 3);
- невозможность подогрева зимой роликовых моторно-якорных и моторно-осевых подшипников со смазкой, теряющей вязкость при низкой температуре окружающего воздуха. При продолжительном отстое электровоза (до 12 часов и более) в зимний период эксплуатации, который продолжается полгода на северном направлении, подшипники переходят каждый раз из режима качения в режим скольжения

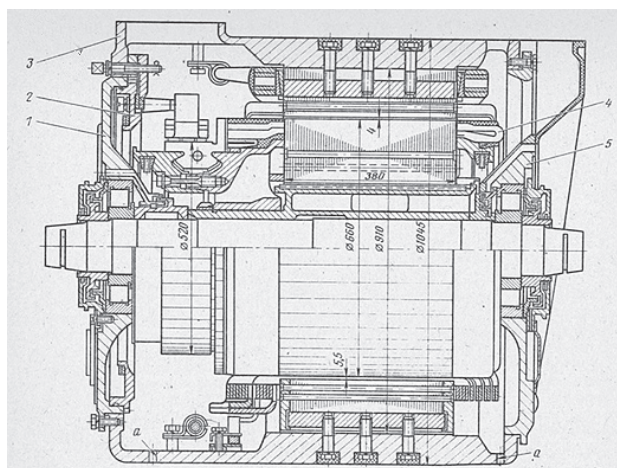


Рис. 1. Продольный разрез тягового двигателя НБ-514:
1, 5 – щиты подшипниковые; 2 – траверса; 3 – остов;
4 – якорь

с многократным увеличением мощности потерь в контактах ролики-кольца подшипников. Последующие пуск и работа электровоза с тяжеловесными поездами с значительным превышением мощности, тока и температуры обмоток ТЭД приводят к ускоренному износу изоляции якорных и остовных обмоток.

В двигателях НБ-412М (рис. 2) и НБ-418К вентилирующий воздух подается в ТЭД через патрубок над коллектором, а выходит через отверстия в торцевой стенке остова и в подшипниковом щите со стороны противоположной коллектору с поворотом потока воздуха на 90° .

Результаты обследования двигателей НБ-412М электровозов ВЛ60 локомотивного депо Вихоревка с поворотом потока вентилирующего воздуха на 90° в начальный период электрификации железных дорог Восточного полигона д-р техн. наук, профессор Академии электротехнических наук России Кучумовым Владиславом Алексеевичем, заведующим лабораторией электровозов АО «ВНИИЖТ» показали следующее.

Несмотря на некачественные электрощетки ЭГ-2а, с ресурсом $20-25 \cdot 10^3$ км, нелегированную коллекторную медь, выработку коллектора до 2,0 мм при пробеге электровоза $20-25 \cdot 10^3$ км, высокий параметр потока круговых огней (70–80) отказов/ 10^6 км, все обследованные двигатели НБ-412М имели качественную монолитную изоляцию якорных и остовных обмоток, характерную двигателям с равномерным

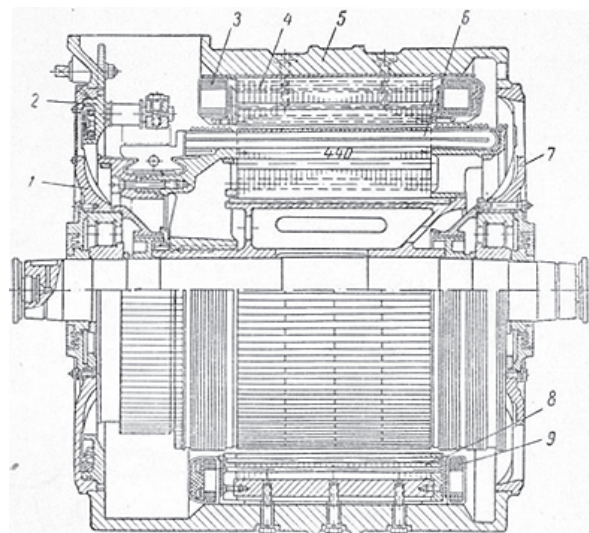


Рис. 2. Продольный разрез тягового двигателя НБ-412М:
1, 7 – подшипниковые щиты; 2 – поворотная траверса;
3 – катушка главного полюса; 4 – сердечник главного полюса; 5 – остов; 6 – обмотка якоря; 8 – сердечник дополнительного полюса; 9 – катушка дополнительного полюса

распределением вентилирующего воздуха по высоте остова двигателя.

Равномерное распределение объемов вентилирующего воздуха по высоте остова ТЭД, позволяет обеспечить:

- равный допустимый износ изоляции остовных обмоток, гарантирующий необходимую безотказность двигателя до капитального ремонта;

- повышение тока двигателей, допускающего работу без перегрева изоляции якорной и остовных обмоток до 73% тока продолжительного режима при отключенной вентиляции (рис. 3);

- возможность в зимний период эксплуатации осуществлять подогрев роликовых моторно-якорных и моторно-осевых подшипников со смазкой, теряющей вязкость при низкой температуре окружающего воздуха, теплым, вентилирующим воздухом, выходящим из двигателя через отверстия в торцевой стенке остова и в подшипниковом щите. Это позволяет эксплуатировать роликовые моторно-якорные и моторно-осевые подшипники лишь в режиме качения без превышения допустимых мощности, тока и температуры ТЭД, исключая интенсивный износ изоляции якорных и остовных обмоток.

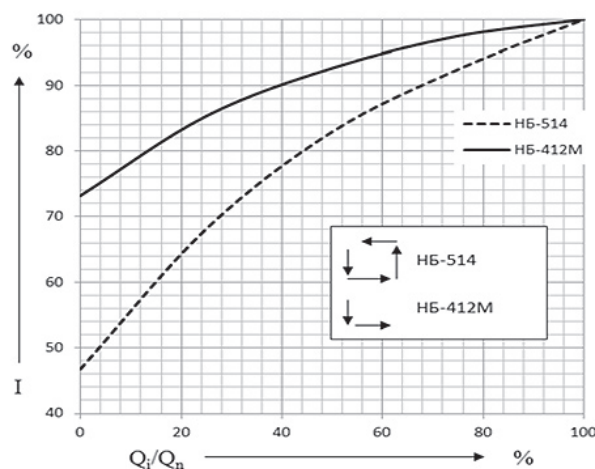


Рис. 3. Ток продолжительного режима ТЭД в зависимости от интенсивности вентиляции

Литература

1. Безотказность тяговых двигателей электровозов Восточного полигона / О.О. Соколов, Д.И. Бодриков, Р.С. Чубов, В.П. Смирнов. - Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - №4. - С. 17 - 19.
2. Электровоз ВЛ85 : Руководство по эксплуатации / Всесоюз. н.-и., проект.-конструкт. и технол. ин-т электровозостроения, Новочерк. электровозостроит. з-д. - Москва : Транспорт, 1992. - 480 с. — Текст : непосредственный.
3. Исмаилов, Ш. К. Диагностирование изоляции тяговых электродвигателей локомотивов и обеспечение оптимального температурно-влажностного режима ее эксплуатации : учебное пособие / Ш.К. Исмаилов, В.П. Смирнов, А.М. Худоногов. - Москва : ФГБОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2012. - 270 с. — Текст : непосредственный.
4. Протокол № ЭМ-11-67. Тепловые испытания тягового двигателя НБ-418К на постоянном токе. - Новочеркасск, 1967. - 23 с.- Текст : непосредственный.
5. Протокол № ЭМ-18-85. Тепловые испытания тягового двигателя НБ- 514 . - Новочеркасск, 1985. - 21 с. — Текст : непосредственный.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАСЫПИ И ШАГА РАССТАНОВКИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТОЛБОВ ИЗ ЩЕБНЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СООРУЖЕНИЯ

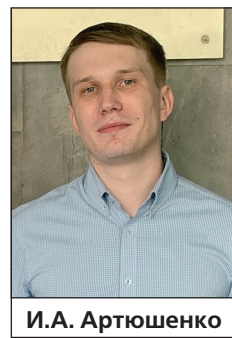
В статье проведен анализ эффективности использования вертикальных столбов из щебня на участках распространения островной мерзлоты, влияния данной технологии на устойчивость сооружения, а также рассмотрены конструкции насыпи с разной крутизной откосов и разным шагом расстановки столбов.

Ключевые слова: транспорт, многолетнемерзлые грунты, устойчивость насыпи, вертикальные столбы из щебня

EDN: SKBEJK



Т.В. Шепитько



И.А. Артюшенко

В рамках выполнения поручений Президента Российской Федерации предусмотрено увеличение провозной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей до 180 млн т к 2024 году. Федеральный проект «Развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона железных дорог», входящий в состав Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры, включен также в Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации.

Одним из объектов Дальневосточной железной дороги является рассматриваемый в статье участок «разъезд Холодникан на перегоне Золотинка-Аям». Сложность строительства в данном регионе обуслав-

ливается наличием многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна.

При строительстве транспортных объектов для обеспечения их надежности необходимо учитывать природно-климатические, гидрологические и мерзлотные процессы, игнорирование которых неблагоприятно сказывается не только на ходе строительства, но и на дальнейшей эксплуатации объекта. Для достижения требуемой надежности при строительстве и эксплуатации транспортных сооружений в статье рассмотрено применение технологии армирования грунтов основания вертикальными столбами из щебня.

Целью исследования является анализ эффективности при взаимодействии вертикальных столбов из щебня и различных конструкций насыпей. Для дости-

Шепитько Таисия Васильевна, доктор технических наук, профессор, директор Института пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), почетный транспортный строитель, советник РААСН, академик РАТ. Область научных интересов: проектирование и строительство объектов транспорта в криолитозоне. Автор 229 научных работ.

Артюшенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: возведение и усиление земляного полотна на участках распространения многолетнемерзлых грунтов. Автор 17 научных работ.

Курчаткин Егор Александрович, студент кафедры «Проектирование и строительство железных дорог» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: возведение и усиление земляного полотна на участках распространения многолетнемерзлых грунтов.

жения указанной цели использовались общенаучные методы, моделирование и сравнительный анализ.

Для обоснованного выбора рациональных конструктивно-технологических решений необходимо проанализировать и учесть при проектировании инженерно-геологические и природно-климатические факторы района строительства.

Вертикальные столбы из щебня являются одним из методов стабилизации слабых грунтов, применяемым для повышения прочности и надежности земляного полотна, уплотнения грунтового массива и уменьшения влажности грунтов.

Описание объекта исследования и его свойств

В качестве объекта исследования взят участок «Разъезд Холодникан на перегоне Золотинка—Аям Дальневосточной железной дороги», сооружаемый по II принципу проектирования с допущением оттаивания.

Гидрогеологические условия обследуемого участка определяются принадлежностью его к Байкальской гидрогеологической складчатой области, которая характеризуется блоковым строением, горным интенсивно расчлененным рельефом с чередованием высо-

ких хребтов и глубоких межгорных впадин, высокой неотектонической активностью, наличием глубинных разрывных нарушений и мощной толщи многолетне-мерзлых грунтов, прерываемой таликами различного генезиса. Одной из характерных черт гидрогеологических условий области является широкое развитие во всех типах структур трещинно-жильных вод зон тектонической трещиноватости. В зависимости от глубинности и раскрытости разломов встречаются пресные холодные и термальные воды. Трещинные грунтовые воды встречаются на склонах хребтов южной экспозиции и в их предгорных шлейфах. Подземные воды залегают на глубинах 5–15 м и дренируются родниками с дебитами 0,1–2 л/с.

Основание земляного полотна представлено следующими инженерно-геологическими элементами. Насыпь — насыпной грунт (песок средней крупности, средней степени водонасыщения), под насыпью до глубины 1,7 м залегает 1 Инженерно-геологический элемент (ИГЭ) суглинок текучий, следом за ним и до глубины 3 м вскрывается 2 ИГЭ суглинок мягкопластичный, далее идет мерзлый гнейс. Физико-механические характеристики для моделирования напряженно-деформируемого состояния сооружения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики для моделирования напряженно-деформируемого состояния сооружения

Характеристики			Наименование			
Параметр	Обозначение	Единица измерения	Суглинок мягкопластичный (при оттаивании текучий)	Суглинок текучепластичный	Гнейс мерзлый	Песок средней крупности (материал насыпи)
Удельный вес грунта сухой	γ	кН/м ³	17	19.4	26.5	22
Удельный вес грунта обводненный	$\gamma_{\text{обвод}}$	кН/м ³	17	19.4	27.5	20
Модуль деформации (Юнга)	E	МПа	3	7	30	26
Коэффициент Пуассона	ν	—	0.35	0.35	0.3	0.3
Сцепление	C	МПа	0.009	0.010	0.006	0.002
Угол внутреннего трения	ϕ	град	9	10	30	38

Анализ результатов, полученных при расчете с применением технологии усиления грунтов основания вертикальными столбами из щебня и без нее

В ходе исследования выполнено моделирование участка «Разъезд Холодникан на перегоне Золотинка—Аям Дальневосточной железной дороги ПК 3278+17». В результате моделирования (рис. 1), можно заметить значительные деформации, возникающие под основанием и откосами земляного полотна. Коэффициент устойчивости без усиления вертикальными столбами из щебня составляет 1,06. Как указывается в Инструкции по содержанию земляного полотна железных дорог, при соответствии геометрических параметров земляного полотна типовым поперечным профилям, расчетный коэффициент устойчивости откосов земляного полотна должен быть не менее 1,2.

На данном участке было произведено моделирование напряженно-деформируемого состояния насыпи

усиленной вертикальными столбами из щебня с разными уклонами откосов и шагами расстановки столбов.

Первоначально рассмотрим моделирование насыпи с откосами 1:1,5 и 1:2. Шаг расстановки колонн принимаем 2,6*2,2 так как данный шаг дает максимальный эффект. Типовые поперечные профили, результаты расчетов и изополя смещений показаны на рис. 2–5.

Исходя из Инструкции по содержанию земляного полотна железных дорог насыпь с уклоном 1:1,5 (рис. 1, 2) имеет недостаточную устойчивость, а насыпь 1:2 (рис. 3, 4) имеет слишком большой запас прочности, вследствие чего проведем расчет насыпи с уклоном 1:1,75 (рис. 6, 7).

Конструкция насыпи с уклоном 1,75 имеет удовлетворяющий результат расчетов, но дополнительно произведен расчет, где шаг колонн был увеличен, что в случае положительного результата позволит сэкономить на строительстве. Расчет насыпи с уклоном 1:1,75 приведен на рис. 8,9.

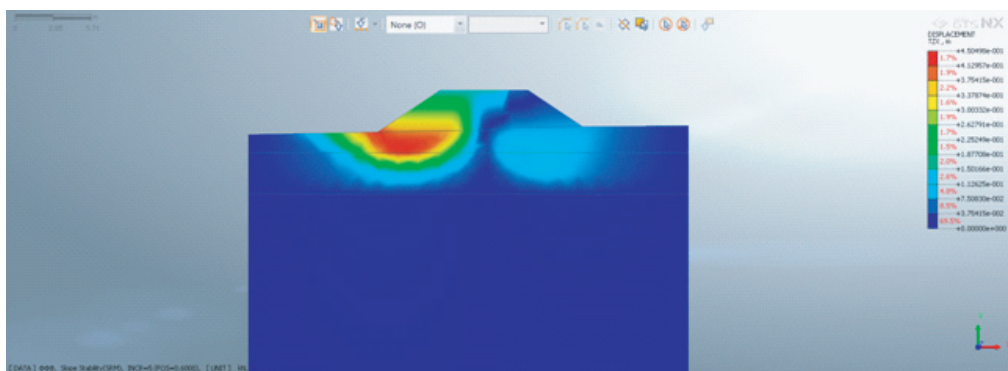


Рис. 1. Изополя смещений без усиления вертикальными столбами из щебня по результатам расчета устойчивости насыпи, смоделированные в программном комплексе Midas GTS NX (значение коэффициента устойчивости – 1,06)

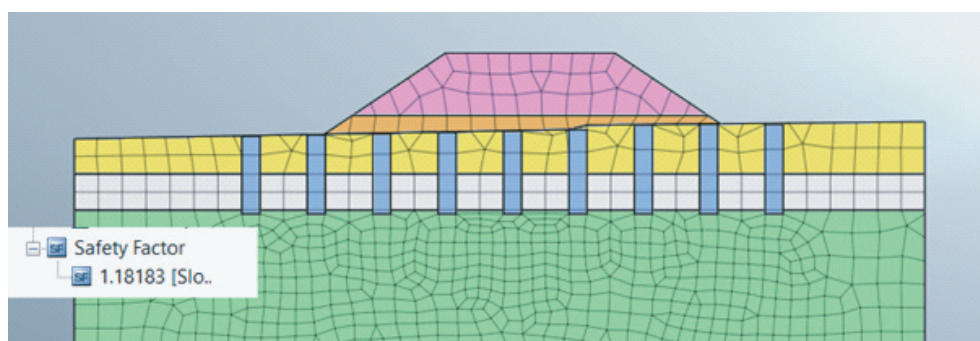


Рис. 2. Коэффициент устойчивости насыпи с уклоном откосов 1:1,5 и шагом колонн 2,6*2,2 м рассчитанный в программе Midas GTS NX

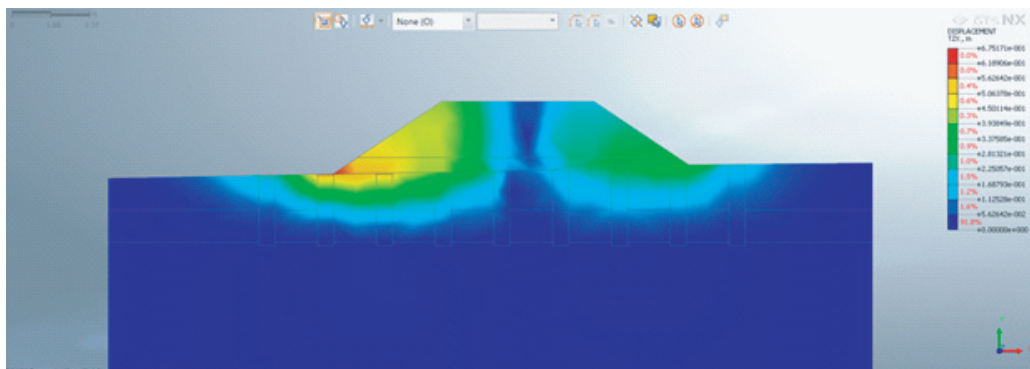


Рис. 3. Изополя смещений насыпи с уклоном откосов 1:1.5 и шагом расстановки вертикальных столбов из щебня 2.6*2.2 м по результатам расчета устойчивости насыпи, смоделированные в программном комплексе Midas GTS NX (значение коэффициента устойчивости – 1,18)

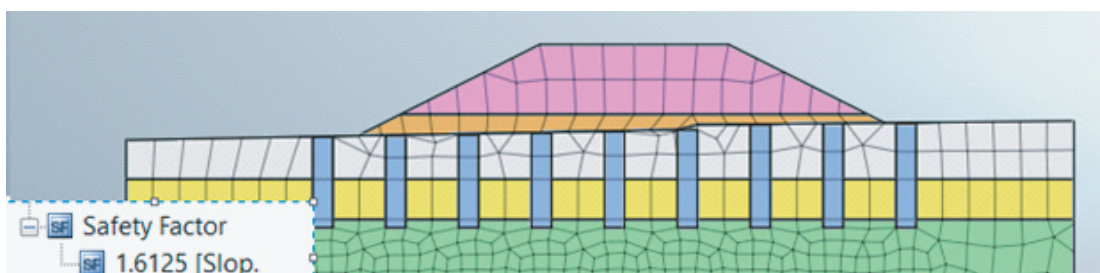


Рис. 4. Коэффициент устойчивости насыпи с уклоном откосов 1:2 и шагом колонн 2.6*2.2 м рассчитанный в программном комплексе Midas GTS NX

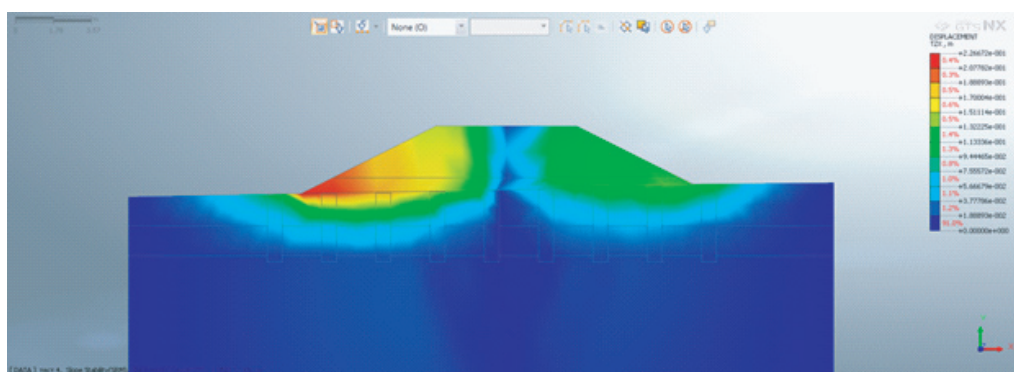


Рис. 5. Изополя смещений насыпи с уклоном откосов 1:2 и шагом расстановки вертикальных столбов из щебня 2.6*2.2 м по результатам расчета устойчивости насыпи, смоделированные в программном комплексе Midas GTS NX (значение коэффициента устойчивости – 1,61)

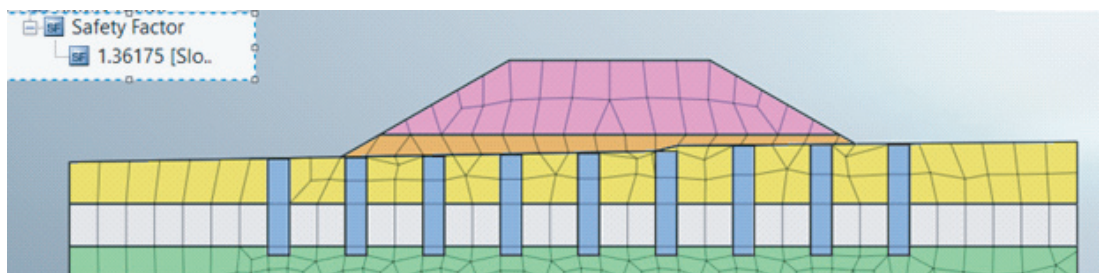


Рис. 6. Коэффициент устойчивости насыпи с уклоном откосов 1:1,75 и шагом колонн 2,6*2,2 м рассчитанный в программе Midas GTS NX

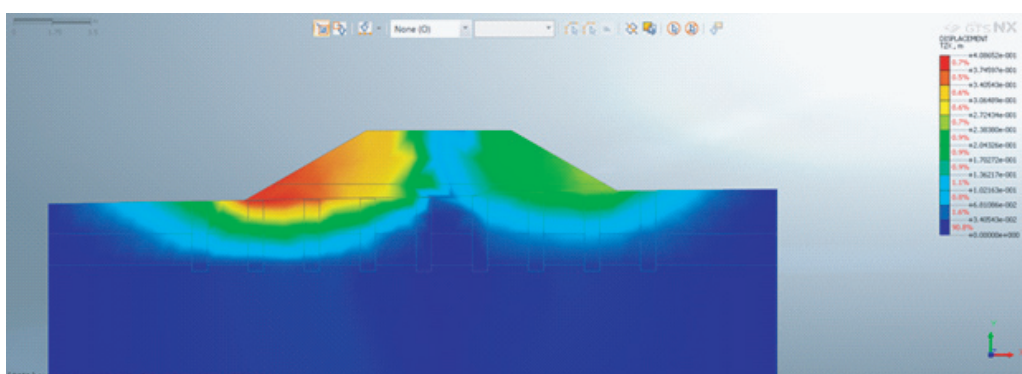


Рис. 7. Изополя смещений насыпи с уклоном откосов 1:1,75 и шагом расстановки вертикальных столбов из щебня 2,6*2,2 м по результатам расчета устойчивости насыпи, смоделированные в программном комплексе Midas GTS NX (значение коэффициента устойчивости – 1,36)

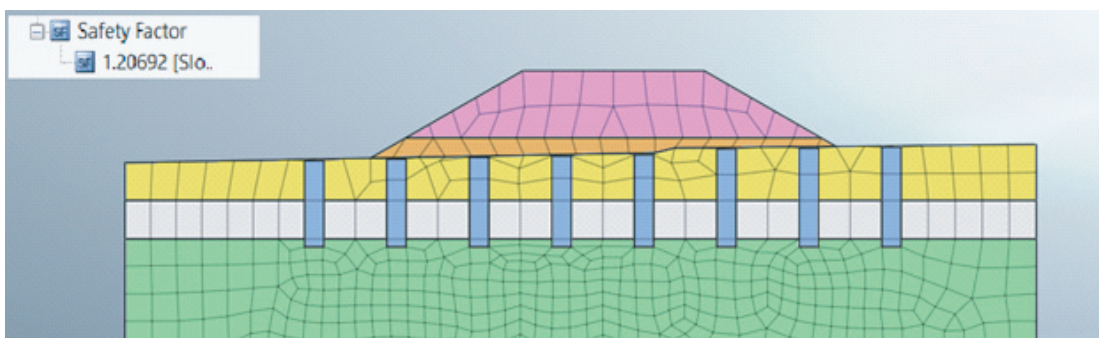


Рис. 8. Коэффициент устойчивости насыпи с уклоном откосов 1:1,75 и шагом колонн 3,0*2,6 м рассчитанный в программе Midas GTS NX

На основании результатов расчетов построена диаграмма (рис. 10) зависимости коэффициента устойчивости от различных шагов расстановки вертикальных столбов из щебня и конструкции насыпи.

Согласно проведенным расчетам наиболее высокий коэффициент устойчивости получен у насыпи с уклоном откосов 1:2 и шагом расстановки вертикальных столбов из щебня $2,6 \times 2,2$. В тоже время если рассматривать насыпь с уклоном откосов 1:1,75 и шагом расстановки вертикальных столбов из щебня $3,0 \times 2,6$ коэффициент устойчивости отвечает нормативным значениям, а увеличение расстояния между колоннами, способствует снижению затрат на их возведение. Таким образом, учитывая взаимосвязь различных контракций насыпей и разных шагов расстановки вертикальных столбов из щебня для усиления грунтов основания, возводимых по II принципу проектирования с допущением оттаивания, удалось показать наиболее оптимальное конструктивно-технологическое решение с точки зрения обеспечения устойчивости и технико-экономических показателей.

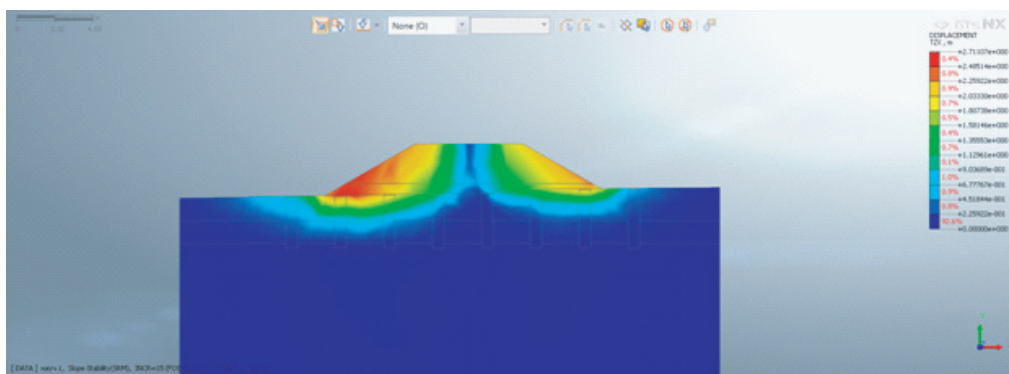


Рис. 9. Изополя смещений насыпи с уклоном откосов 1:1,75 и шагом расстановки вертикальных столбов из щебня $3,0 \times 2,6$ м по результатам расчета устойчивости насыпи, смоделированные в программном комплексе Midas GTS NX (значение коэффициента устойчивости – 1,21)

Зависимость коэффициента устойчивости от различных шагов расстановки вертикальных столбов из щебня и конструкции насыпи

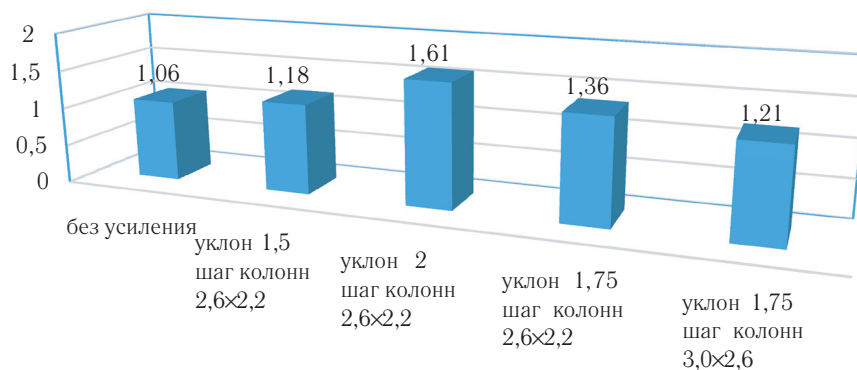


Рис. 10. Диаграмма зависимости коэффициента устойчивости от различных шагов расстановки вертикальных столбов из щебня и конструкции насыпи

Литература

1. Справочник по строительству на вечномёрзлых грунтах / А. Ф. Антонов, Ю. Я. Велли, В. В. Гальперин [и др.]; Под ред. Ю. Я. Велли, В.И. Докучаева, Н.В. Федорова. - Ленинград: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1977. - 552 с. - Текст: непосредственный.
2. Строительство путей сообщения на Севере: научно-практическое издание / Луцкий С.Я., Шепитько Т.В., Токарев П.М., Дудников А.Н. — М.: ЛАТМЭС, 2009. - 286 с. - Текст: непосредственный.
3. Шепитько, Т.В. Армирование грунтов основания вертикальными столбами из щебня в криолитозоне / Шепитько Т.В., Артюшенко И.А., Долгов П.Г.- Текст: непосредственный // Мир транспорта, 2019. — 17(4). - С. 68-78.
4. ЦП 544. Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути. - Москва / МПС России: Транспорт.- 2000. - 189 с. - Текст: электронный.-URL:<https://meganorm.ru/Data2/1/4293853/4293853169.pdf?ysclid=llamdp1mh9361333230> (дата обращения :14.08.2023)
5. Проектная документация АО «Росжелдорпроект», Строительство новой железнодорожной линии «Золотинка — Аям» - 2019. - Текст: непосредственный.
6. Шепитько, Т.В. Влияние вертикальных столбов из щебня на криогенные процессы грунтов основания земляного полотна / Т.В. Шепитько, И.А. Артюшенко.- Текст: электронный // Транспортные сооружения. - 2019. - Том 6, №4. - URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS419.pdf?ysclid=llam5wbu79900842765> (дата обращения :14.08.2023).
7. Шепитько, Т. В. Организационно-технологические решения при усилении земляного полотна в криолитозоне / Т. В. Шепитько, И. А. Артюшенко, А. А. Зайцев. - Текст: электронный // Транспортные сооружения. - 2022. - Т 9, № 2. - URL: <https://t-s.today/PDF/03SATS222.pdf>. - DOI: 10.15862/03SATS222 (дата обращения : 16.08.2023).
8. Pivarč, J. Stone columns — determination of the soil improvement factor / Slovak journal of civil engineering. — Vol. XIX, 2011. - № 3. - P. 17-21.
9. Kirsch, F., Sondermann, W. Field measurements and numerical analysis of stress distribution below stone column supported embankments and their stability / Kirsch, F., Sondermann, W. // International Workshop on Geotechnics of Soft Soils Theory and Practice. Noordwijkerhout, Netherlands. Verlag Glückauf GmbH, 2003. — P. 595-600.
10. Castro, J. Modeling Stone Columns. Materials, 2017. - 10 (782). - 23 p.
11. Shepitko, T.V. Features of the construction of the roadbed in the areas of high-temperature permafrost of the Northern Latitudinal passage Shepitko, T.V. Lutskiy, S.Y. Landsman, A.Y. Artyushenko, I.A. AIP Conference Proceedings this link is disabled, 2023, 2476, 020025

ВЛИЯНИЕ МАССЫ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА



А.В. Харитонов

При анализе технических параметров поездов зарубежных стран, конструкционная скорость движения которых приближается к отметке в 400 км/ч, выявлена тенденция снижения массы компонентов экипажной части, в том числе за счет применения маломощных тяговых электродвигателей (ТЭД), а необходимая тяговая мощность достигается за счет полного обмоторивания осей электропоезда. Для обоснования целесообразности использования данного подхода, в статье проведено численное исследование устойчивости движения с помощью математической модели электропоезда «Сапсан» при различной массе и конструкции подвешивания ТЭД на раму тележки.

Ключевые слова: динамическая модель, масса электродвигателя; критическая скорость, доля моторных осей, регрессионный анализ, численное исследование, универсальный механизм

EDN: CNPTIB

В Российской Федерации остро стоит проблема оснащения парка пассажирского подвижного состава новыми высокоскоростными электропоездами, которые будут отвечать современным требованиям. Для этого необходимо разработать новые конструкции экипажей, которые смогут обеспечивать требуемый уровень показателей безопасности движения и комфорта для пассажиров при высоких скоростях движения.

На сегодняшний день к ведущим странам в области скоростного и высокоскоростного движения относятся Япония, Китай, Франция, Германия, Испания, Италия и соответствующие компании производители подвижного состава, такие как Hitachi, Kawasaki, Alstom, Siemens, Bombardier, Sifang, Talgo. Создано несколько поколений высокоскоростных электропоездов, которые рассчитаны на эксплуатацию со скоростями 300 км/ч и выше. Увеличение конструкционной скорости движения всегда сопровождается снижением суммарного веса электропоезда. Об этом свидетельствует распределение удельных показателей

массы тары (рис. 1), полученное в ходе регрессионного анализа автором в работе [1].

Снижение массы компонентов экипажной части высокоскоростного поезда является актуальной проблемой. Наилучших результатов добились японские инженеры, постоянно совершенствуя конструкцию с применением легких рам тележек, колесных пар, корпусных элементов буксовых узлов и редукторов из алюминиевых сплавов [2]. При этом поезда Shinkansen строятся по принципу распределенной тяги с тяговым приводом II класса, доля обмоторенных осей которых составляет от 75 до 100%. На рис. 2 приведены зависимости мощности применяемых тяговых электродвигателей от конструкционной скорости поезда, а также соотношение мощности и массы ТЭД некоторых серий электропоездов [1].

Согласно представленным зависимостям, на электропоездах поездной композиции применяются двигатели мощностью до 700 кВт (рис. 2,а). С увеличением мощности, масса и габаритные размеры тяговых двигателей возрастают. Для обеспечения высокой

Харитонов Антон Витальевич, аспирант кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), ведущий технолог отдела нормирования материально-технических ресурсов на ремонт и техническое обслуживание локомотивов (ОНлок) Проектно-конструкторско-технологического бюро по нормированию – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: динамика скоростного и высокоскоростного рельсового транспорта. Автор двух научных работ.

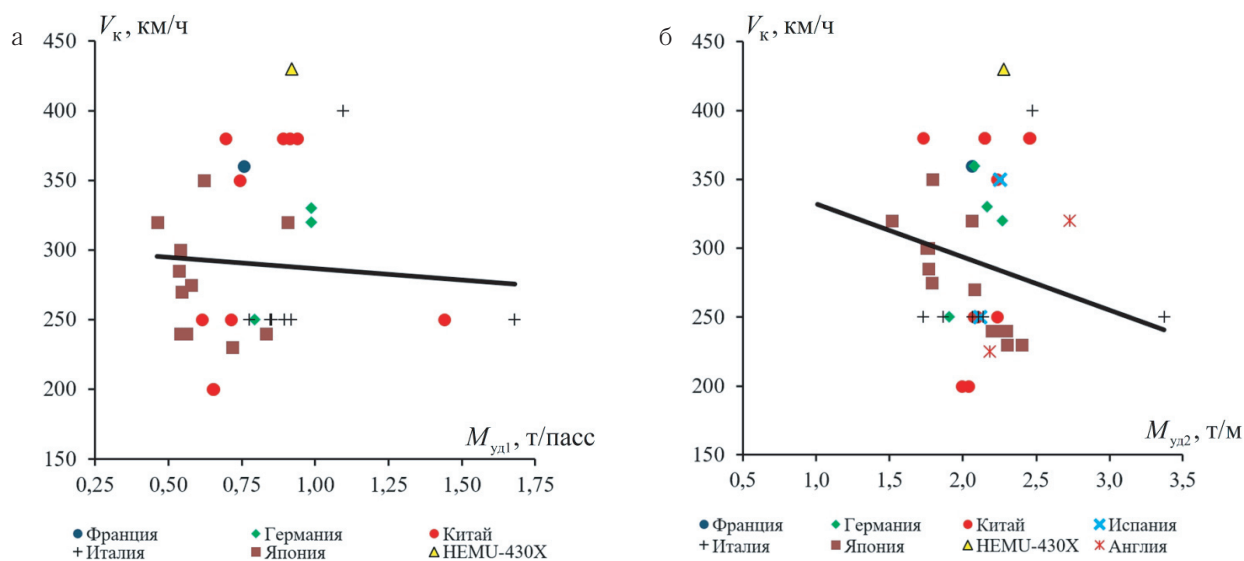


Рис. 1. Удельная масса тары на пассажира (а), на длину поезда (б) в зависимости от конструкционной скорости по некоторым электропоездам зарубежных стран

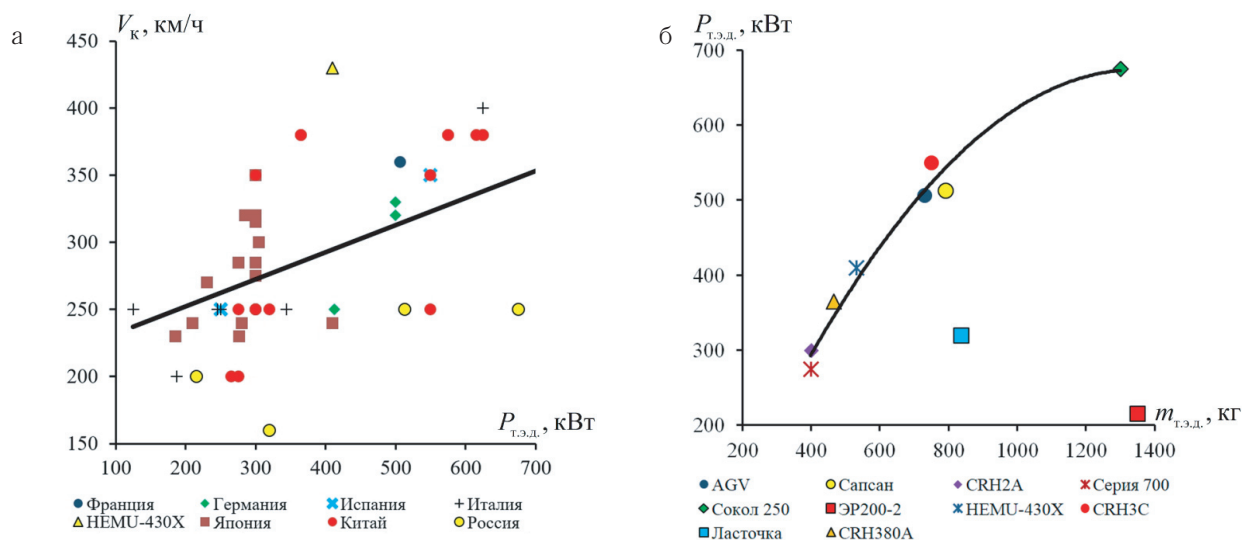


Рис. 2. Зависимость мощности ТЭД от конструкционной скорости поезда (а); соотношение мощности и массы ТЭД некоторых серий электропоездов (б)

скорости движения требуются двигатели повышенной мощности, однако большая масса двигателя увеличивает вес тележки, что влияет на динамическую устойчивость [3]. Согласно рис. 2,б, соотношение мощности и веса современных асинхронных ТЭД или двигателей с постоянными магнитами варьируется в диапазоне от 1,27 до 1,92 кг/кВт. Например, при-

меняемый на электропоезде CRH2A ТЭД серии YJ-92 при мощности 300 кВт имеет массу 400 кг; ТЭД YQ-365 поезда CRH380A — 465 кг при мощности 365 кВт и 75% доле моторных осей; ТЭД электропоезда «Сапсан» — 790 кг при мощности 513 кВт и 40% доле моторных осей [4]. В соответствии с рис. 3 [1], для электропоезда распределенной тяги с кон-

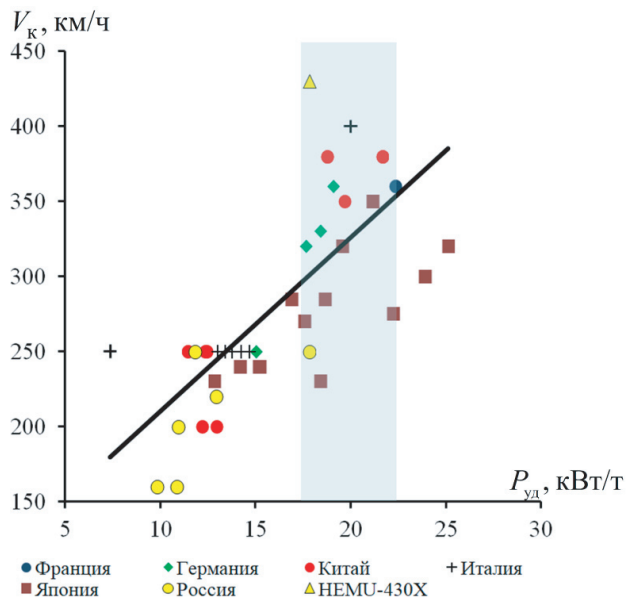


Рис. 3. Показатель удельной мощности в зависимости от конструкционной скорости движения электропоездов некоторых стран

струкционной скоростью выше 350 км/ч, показатель удельной мощности составляет от 17,3 до 22,3 кВт/т. Для электропоезда «Сапсан» данный показатель составляет 12 кВт/т.

Помимо снижения массы компонентов экипажной части, важным фактором, также влияющим на критическую скорость движения электропоезда, является конструкция подвешивания тяговых электродвигателей к раме тележки. Различают жесткое крепление ТЭД и упругое в поперечном направлении. В конструкции тележки электропоезда «Сапсан», оба двигателя опираются на поддон, гибко подрессоренный в поперечном направлении, который при движении поезда совершает поперечные перемещения относительно рамы тележки. Данная конструкция проявляет себя как инерционный демпфер [5], исследованием которого на устойчивость движения занимался автор в работе [6].

Для теоретического анализа влияния массы ТЭД на параметры конструкции тягового привода с инерционным демпфером, рассмотрим простейшую двухмассовую модель (рис. 4,а). В представленной модели упруго-диссипативные и инерционные параметры эквивалентны значениям параметров тележки SF 520 поезда «Сапсан».

Дифференциальные уравнения колебаний данной системы выглядят следующим образом:

$$\begin{cases} m_t \ddot{y}_t + (\beta_{2y}^{\text{ЭКВ}} + \beta_d^{\text{ЭКВ}}) \dot{y}_t + (\mathcal{K}_{1y}^{\text{ЭКВ}} + \mathcal{K}_{2y}^{\text{ЭКВ}} + K_{oc}^{\text{ЭКВ}}) y_t - \\ - \beta_d^{\text{ЭКВ}} \dot{y}_d - K_{oc}^{\text{ЭКВ}} y_d - \mathcal{K}_{1y}^{\text{ЭКВ}} q(t) = 0 \\ m_d^{\text{ЭКВ}} \ddot{y}_d + \beta_d^{\text{ЭКВ}} \dot{y}_d + K_{oc}^{\text{ЭКВ}} y_d - \beta_d^{\text{ЭКВ}} \dot{y}_t - K_{oc}^{\text{ЭКВ}} y_t = 0 \end{cases}, (1)$$

где m_t и $m_d^{\text{ЭКВ}}$ — масса рамы тележки и суммарная масса двигателей, т; $\beta_{2y}^{\text{ЭКВ}}$, $\beta_d^{\text{ЭКВ}}$ — суммарные коэффициенты демпфирования гасителей 2-й ступени рессорного подвешивания и подвески ТЭД соответственно, кНс/м; $\mathcal{K}_{1y}^{\text{ЭКВ}}$, $\mathcal{K}_{2y}^{\text{ЭКВ}}$, $K_{oc}^{\text{ЭКВ}}$ — суммарные жесткости связей 1-й, 2-й ступеней рессорного подвешивания и подвески ТЭД соответственно, кН/м; $q(t)$ — функция гармонического возмущения.

Переходя из области времени в область частоты, по методике [3], рассмотрим амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) поперечных перемещений элементов данной системы, в зависимости от различной массы тяговых двигателей (рис. 4,б).

Со снижением массы тяговых двигателей, амплитуда поперечных колебаний тягового привода возрастает. При этом резонансная амплитуда колебаний рамы тележки остается неизменной. Лишь при отсутствии тяговых двигателей (масса ТЭД равна нулю), резонансная амплитуда поперечных перемещений рамы тележки возрастает, так как, по сути, отсутствует инерционный демпфер. Отсюда можно сделать вывод, что изменение массы тяговых двигателей, в данном случае в диапазоне от 400 до 790 кг, будет оказывать слабое влияние на работу инерционного демпфера и поперечные перемещения рамы тележки. Масса ТЭД будет влиять на амплитуду поперечных колебаний тягового привода. По этой причине применение легких ТЭД в конструкции инерционного демпфера нецелесообразно, так как приведет к возникновению больших амплитуд и нарушению работы зубчатой муфты, допустимые поперечные перемещения элементов которой строго регламентированы [4]. Это важнейший вопрос, поскольку именно тяговая зубчатая муфта с бочкообразными зубьями является «слабым звеном» в конструкции тягового привода II класса и он нуждается в детальном изучении.

Как отмечается в работах [5;6], при совпадении собственной частоты колебаний демпфера и частоты возмущения достигается максимальный эффект виброгашения. При этом усилие в связи гасителя равно силе инерции его массы и полностью уравновешивает возмущающую силу, а амплитуда колебаний массы гасителя выражается следующим образом:

$$A_d = \frac{Q_\eta}{m_d^{\text{ЭКВ}} \omega_\eta^2}, \quad (2)$$

где Q_η — амплитуда возмущения, м; ω_η — частота возмущения, рад/с.

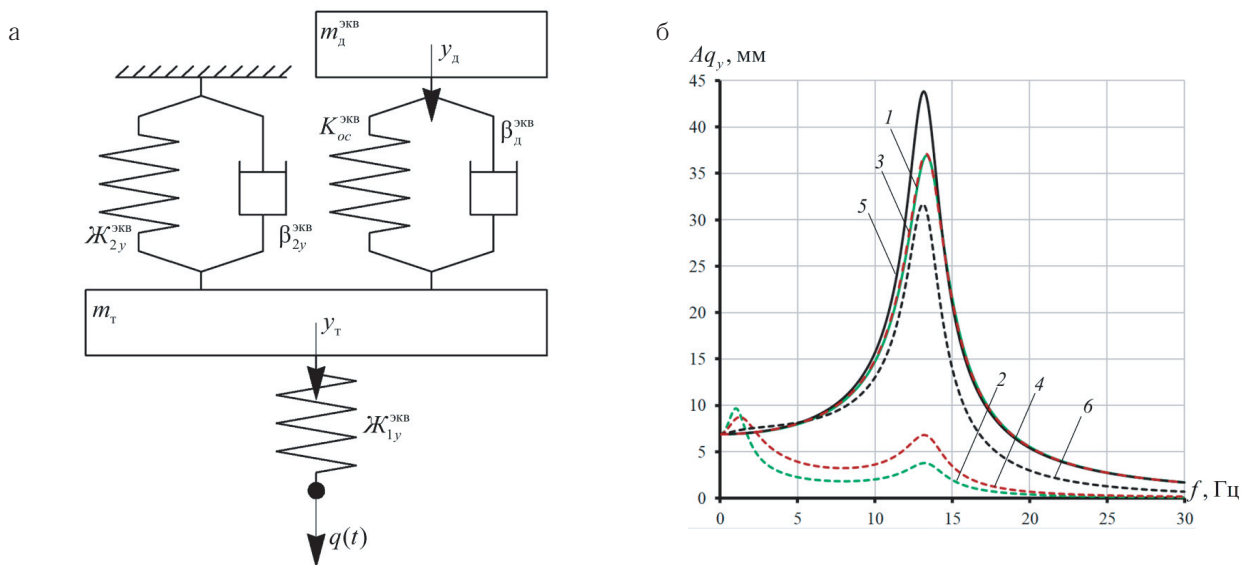


Рис. 4. Двухмассовая модель (а), АЧХ поперечных перемещений элементов рассматриваемой модели (б):
1 – рамы тележки при $m_d=790$ кг; 2 – поддона с ТЭД при $m_d=790$ кг; 3 – рамы тележки при $m_d=400$ кг;
4 – поддона с ТЭД при $m_d=400$ кг; 5 – рамы тележки при отсутствующих ТЭД; 6 – поддона при отсутствующих ТЭД

В связи с вышеизложенным, применение маломощных, легких тяговых электродвигателей и достижение необходимой тяговой мощности за счет полного обмотирования осей состава, может иметь преимущество. Кроме того, исключение из конструкции поперечно-подвижного подрессоривания ТЭД позволит упростить конструкцию тележки и облегчить условия работы зубчатой муфты.

Методология исследования

Для численного исследования влияния массы ТЭД на устойчивость движения электропоезда, разработана математическая модель скоростного электропоезда в программном комплексе «Универсальный механизм» (УМ) [7]. В качестве прототипа электропоезда были приняты значения массовых, инерционных, упруго-диссипативных параметров, а также пространственные координаты расположения силовых элементов модели экипажной части [5] согласно конструкции тележки SF-520 и кузовов вагонов электропоезда «Сапсан» с профилем колес ВНИИЖТ-РМ-70 [8;9] и рельс Р65.

Модель состоит из абсолютно твердых тел с нелинейными силовыми характеристиками упруго-диссипативных элементов рессорного подвешивания. Комплект из двух цилиндрических пружин 1-й ступени рессорного подвешивания моделируется билинейным силовым элементом, с заданием матриц жесткостей внешней и внутренней пружин [7]. Пневматическая

рессора 2-й ступени реализована моделью Берга с частотно-зависимой характеристикой динамической жесткости пневмоподвески [10]. Резинометаллические элементы рессорного подвешивания, упругие буферы с нелинейными силовыми характеристиками моделируются силовыми элементами типа «сайлент-блок», реализованными в УМ. Гидравлические гасители колебаний в УМ моделируются биполярными силовыми элементами с поточечным вводом нелинейных силовых характеристик. Подробная модель системы стабилизации поперечного наклона кузова состоит из торсионного вала с жестко посаженными на него рычагами и опорными втулками с сайлент-блоками, через которые он монтируется к траверсе. Рычаги соединяются с рамой тележки через вертикальные поводки. Узлы системы стабилизации в УМ связаны между собой шарнирными элементами. Угловая жесткость вращения между телами торсионного вала и рычагами торсиона задается с помощью линейного силового элемента. Модель моторной тележки включает в себя подробную модель тягового привода, в соответствии с конструкцией моторной тележки SF-520 [4]. Поддон ТЭД, редуктор, зубчатая муфта, статор и ротор ТЭД моделируются отдельными телами, связанными между собой упруго-диссипативными и шарнирными элементами. Модель передачи силы тяги включает в себя тяговый момент на валу ТЭД, задаваемый в УМ шарнирной силой и специальную силу «зубчатые колеса», моделирую-

щую зубчатое зацепление тягового редуктора. Модель моторной тележки электропоезда, разработанная в среде УМ, представлена на рис. 5.

Графические образы элементов экипажной части отчасти были разработаны в сторонних CAD-программах, остальные средствами УМ [7].

Методика определения критической скорости движения экипажа основана на использовании модуля многовариантных расчетов, реализованного в УМ. При этом задается выборка исследуемых скоростей движения и контролируемая переменная — поперечные перемещения колесных пар. При каждой скорости движения определяется вероятностная характеристика случайных поперечных колебаний колесной пары. В качестве вероятностной характеристики, по рекомендациям в [7], выбрано среднеквадратическое отклонение (СКО), которое в дискретной постановке определяется по следующей формуле [11]:

$$S_{x_q} = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=0}^{N-1} (X_i - \bar{M}_q)^2 \right]} \quad (3)$$

где N — число точек случайного процесса; X_i — i -е значение случайной величины; $\bar{M}$ — математическое ожидание случайного процесса.

В результате расчета строится зависимость СКО поперечных перемещений колесной пары от заданных скоростей движения. Критическая скорость оценивается по точке резкого роста СКО [7].

В соответствии с рекомендациями, изложенными в [7], при исследовании устойчивости движения в качестве возмущения используются детерминированные вертикальная и горизонтальная неровности.

При этом, число волн задавалось для вертикальной неровности — 3000, для горизонтальной — 1. Функция неровностей выглядит следующим образом.

$$\eta^{(в)}(x) = \frac{H}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi}{L} x \right), \quad (4)$$

где H — высота неровности, м; L — длина волны неровности, м; x — координата пути неровности, которая изменяется в пределах от 0 до $n_{\text{волн}} \cdot L$ ($n_{\text{волн}}$ — число волн неровности).

Общий вид модели электропоезда в УМ, состоящего из двух сцепленных вагонов, моторного головного SR В 01 и второго прицепного DR Т 02, представлен на рис. 6.

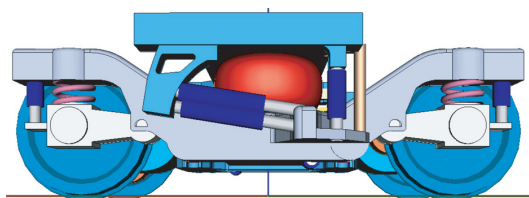
Результаты исследования

Исследовалась устойчивость рассмотренной модели состава в зависимости от массы тяговых двигателей в следующих конфигурациях: поддон с ТЭД упругий в поперечном направлении; поддон с ТЭД жесткий в поперечном направлении; индивидуальное жесткое крепление ТЭД к раме тележки (поддон исключен из конструкции). Массы ТЭД принимались от 400 до 800 кг.

Пример определения критической скорости модели электропоезда по росту СКО поперечных перемещений колесной пары представлен на рис. 7.

Полученные в ходе численного исследования зависимости критической скорости поезда от массы ТЭД при различных конфигурациях конструкции подвешивания ТЭД приведены на рис. 8. Как уже отмечалось в данной работе, в соответствии с рис. 8, изменение

а



б

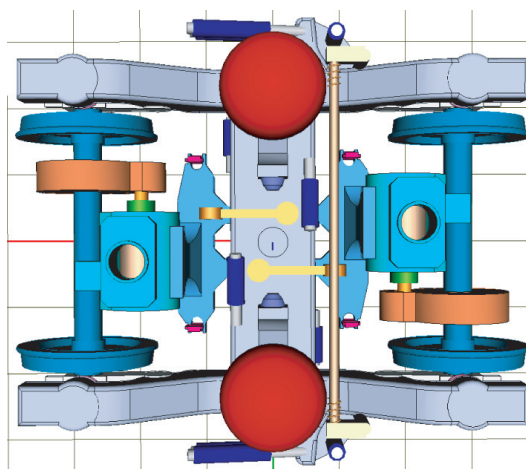


Рис. 5. Модель моторной тележки электропоезда «Сапсан» в УМ: вид сбоку (а), вид сверху (б)



Рис. 6. Модель двух сцепленных вагонов в УМ

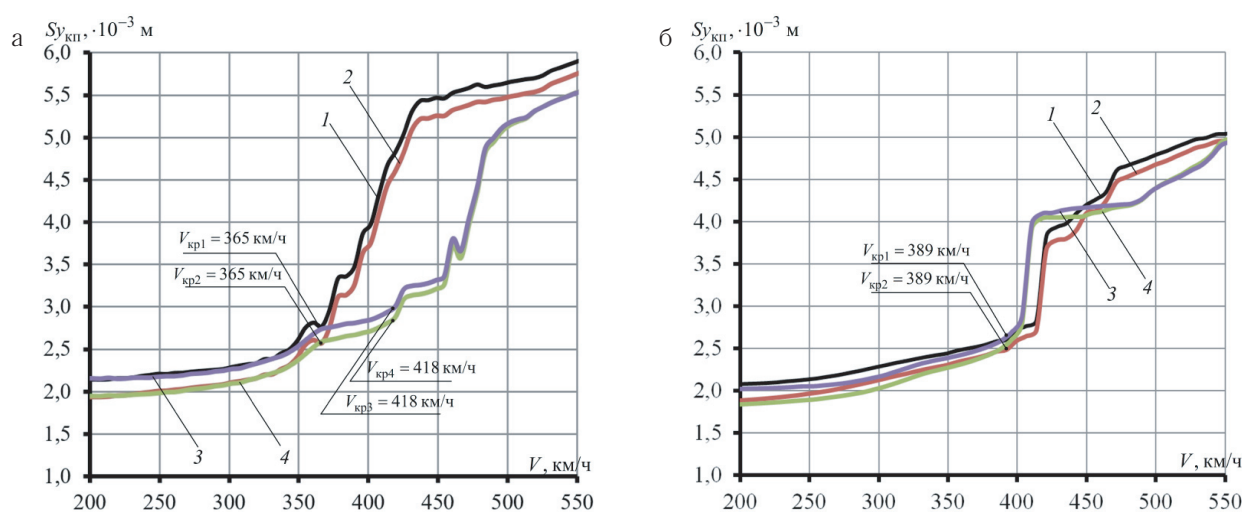


Рис. 7. Зависимость СКО поперечных перемещений колесных пар от скорости движения при $m_d=400$ кг с индивидуальным жестким креплением ТЭД к раме тележки (а), при $m_d=790$ кг с поперечно подвижным поддоном с ТЭД электропоезда «Сапсан» (б): 1 – первая колесная пара; 2 – вторая колесная пара; 3 – третья колесная пара; 4 – четвертая колесная пара

массы ТЭД оказывает незначительное влияние на критическую скорость движения электропоезда с поперечно-подвижным поддоном с ТЭД. Наименьшие значения критических скоростей зафиксированы для конструкции с жестко закрепленным в поперечном направлении поддоном с ТЭД, так как дополнительная масса поддона увеличивает вес тележки. Максимальное значение критической скорости зафиксировано для варианта с индивидуальным жестким креплением ТЭД к раме тележки при наименьшей массе тягового двигателя 400 кг.

Зависимость показателя удельной мощности поезда от доли моторных осей состава при установке различных типов ТЭД рассчитывается следующим образом.

$$P_{уд} = [P_{dj} \cdot n_i] / M_{i,j}, \quad (5)$$

где P_{dj} – мощность j -го типа тягового электродвигателя, кВт; n_i – число моторных осей поезда при i -й доле обмоторивания; $M_{i,j}$ – полная масса состава при i -й доле моторных вагонов и j -м варианте массы ТЭД, т.

Зависимости, рассчитанные по формуле (5) представлены на рис. 9. В расчете был принят десятивагонный электропоезд и три типа тяговых электродвигателя, которые рассмотрены ранее на рис. 2,б). Как видно на рис. 9, для обеспечения показателя удельной мощности поезда выше 17 кВт/т, возможно применение ТЭД массой 400 кг при 100% доле моторных осей или ТЭД массой 465 кг при 80% доле моторных осей или ТЭД массой 530 кг при 70% доле моторных осей.

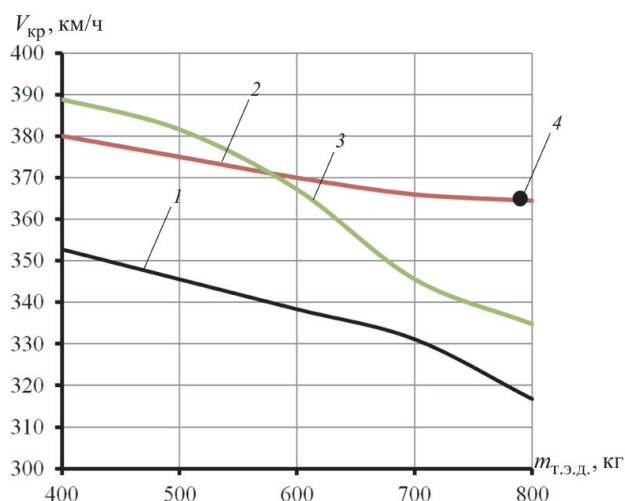


Рис. 8. Зависимости критической скорости от массы ТЭД:
1 – поддон с ТЭД, жесткий в поперечном направлении;
2 – поддон с ТЭД, упругий в поперечном направлении;
3 – индивидуальное жесткое крепление ТЭД к раме тележки; 4 – значение для электропоезда «Сапсан»

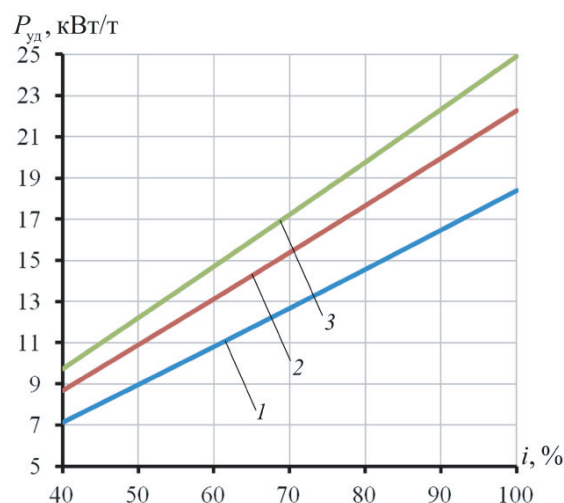


Рис. 9. Зависимости показателя удельной мощности поезда от доли моторных осей состава при установке различных типов ТЭД: 1 – для двигателя с $m_d=400$ кг и $P_d=300$ кВт; 2 – для двигателя с $m_d=465$ кг и $P_d=365$ кВт; 3 – для двигателя с $m_d=530$ кг и $P_d=410$ кВт

Обсуждение и заключение

Проведенное в данной работе исследование позволяет сделать следующие выводы:

- на современных скоростных и высокоскоростных электропоездах применяются ТЭД, соотношение мощности и массы которых приближается к единице;
- применение легких ТЭД в конструкции с поперечно подрессоренным ТЭД нецелесообразно, так как приводит к возникновению больших поперечных амплитуд колебаний тягового привода, величина которых строго регламентирована прочностью упругих связей и характеристиками зубчатой муфты;
- применение легких тяговых электродвигателей с жестким опиранием на раму тележки способствует повышению критической скорости подвижного состава, по сравнению с ТЭД и конструкцией тягового привода электропоезда «Сапсан», а необходимую тяговую мощность возможно обеспечить полным обмоториванием осей состава.



Литература

1. Рыбников, Е. К. Технические параметры эксплуатируемых высокоскоростных электропоездов и выбор их нормативных значений для проектирования перспективных электропоездов / Е. К. Рыбников, А. В. Харитонов - Текст : непосредственный // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы VI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. - Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2021. - С. 94 - 100.
2. Киселев, И. П. Краткий обзор истории высокоскоростных поездов Японии : в 3 частях .Ч. 1 / И. П. Киселев - Текст : непосредственный // Железные дороги мира. - 2005. - № 7.- С. 7-16.
3. Механическая часть тягового подвижного состава : учебник для студентов вузов ж.-д. транспорта / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г. П. Бурчак [и др.]; под ред. И. В. Бирюкова. - репринтное издание - Москва : Альянс, 2013. - 440 с. - ISBN 978-5-91872-025-7. - Текст : непосредственный.



4. Высокоскоростные поезда «Сапсан» В1 и В2: учебное пособие / Н. Ю. Богомолов [и др.]; под ред. А. В. Ширяева. - Москва : ОАО «Российские железные дороги», 2013. - 522 с. - ISBN 978-5-89035-737-3 - Текст : непосредственный.
5. Корнев, Б.Г. Динамические гасители колебаний : теория и технические приложения / Б. Г. Корнев, Л. М. Резников. - Москва : Наука, 1988. - 303 с. - ISBN 5-02-013816-9. - Текст : непосредственный.
6. Yuan Yao, Hong-Jun Zhang, Shi-Hui Luo, The mechanism of drive system flexible suspension and its application in locomotives // Taylor and Francis, 2015. V. 30. P. 69-79.
7. Руководство пользователя Universal mechanism . Моделирование динамики железнодорожных экипажей : сайт. - Текст : электронный. - URL: http://www.universalmechanism.com/download/90/rus/08_um_loco.pdf (дата обращения: 10.02.2023).
8. Киселев А. А. Эквивалентная конусность и ее влияние на движение подвижного состава / А. А. Киселев, Л. С. Блажко, А. В. Романов - Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. - 2017. - № 2(14). - С. 247 - 255.
9. Киселев А. А. Влияние геометрических параметров железнодорожного пути на величину эквивалентной коничности колесной пары / А. А. Киселев, Л. С. Блажко, А. С. Гапоненко, А. В. Романов - Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. - 2019. - № 2(16). - С. 202 - 211.
10. Sayuadi H., Shokouhi N. Improvement of Passengers Ride Comfort in Rail Vehicles Equipped with Air Springs, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, no. 53, pp. 827–833.
11. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей : учебник для студентов вузов / Е. С. Вентцель. - 10-е издание, стереотипное. - Москва : Academia, 2005 (ГУП Саратов. полигр. комб.). - 572 с. - ISBN 5-7695-2311-5. - Текст : непосредственный.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ИНТЕНСИВНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПассаЖИРОВ НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ В ОЖИДАНИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА



А.А. Бакин



С.П. Вакуленко

В статье представлены результаты исследования интенсивности подхода пассажиров на посадку в электропоезда. Установлено, что интенсивность подхода пассажиров описывается функцией плотности вероятности логлогистического распределения и определено, что ключевым параметром, влияющим на распределение, является межпоездной интервал до и после отправления пригородного электропоезда.

Ключевые слова: распределение подхода пассажиров, время ожидания, интенсивность накопления, логлогистическое распределение

EDN: KLTHIP

Построение графика движения поездов на участках с совмещенным движением поездов различных категорий и интенсивным движением пригородных электропоездов является трудоемкой задачей и при текущем уровне развития цифровых технологий необходима автоматизация данного процесса. При решении оптимизационных задач организации пригородных перевозок исследователи принимали определенные допущения. Так, например, параметр подхода пригородных пассажиров к пассажирскому остановочному пункту принимался равномерно-постоянным.

Доктор технических наук Ю.О. Пазойский принимал величину интенсивности пассажиропотока постоянной в течение пикового или непикового периода при решении задачи выбора схемы прокладки

поездов на графике и для решения оптимизационных задач с критерием минимума пассажиро-часов ожидания [1]. Кандидат технических наук Роменский Д.Ю. при решении задачи корректировки графика движения пригородных поездов в пиковых период принимал интенсивность накопления пассажиров равномерной [2].

Однако, как показал анализ интенсивность подхода пассажиров неравномерна, пассажиры подстраиваются под расписание движения пригородных поездов [7;8], подвозящий автотранспорт тоже подстраивает свое прибытие на станцию или остановочный пункт к отправлению пригородного поезда [9]. От «качества» расписания движения пригородных поездов зависит также общий осваиваемый пассажиропоток

Бакин Алексей Алексеевич, ассистент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортные системы страны, регионов и городов, управление процессами перевозок, моделирование транспортных процессов. Автор 11 научных работ, в том числе одной монографии.

Вакуленко Сергей Петрович, кандидат технических наук, профессор, директор 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.

пригородного комплекса, таким образом задаваться постоянным в течение расчетного периода параметром накопления ошибочно [6].

Для более точного определения населенности пригородных поездов, параметров пассажиро-часов ожидания, пассажиро-часов в движении при построении оптимизационных моделей организации пригородных перевозок необходимо уточнение параметра подхода пригородных пассажиров к станции или остановочному пункту [3,4].

Цель исследования заключается в определении закономерностей прибытия пригородных пассажиров на пассажирские остановочные пункты для определения технико-технологических параметров организации пригородных перевозок.

Анализ данных о проходах пассажиров на остановочные пункты

Для исследования был выбран полигон Октябрьского направления Московского железнодорожного узла. Использовались данные прохода пассажиров через турникетные линейки на основных пассажирообразующих станциях рассматриваемого полигона в период с 12 декабря 2021 года по 30 апреля 2022 года, с момента ввода нового графика движения. За данный период было совершено более 5,1 млн проходов на рассматриваемых остановочных пунктах. При обработке статистической информации учитывались следующие параметры:

- станция отправления;
- станция назначения;
- время прохода;
- дата прохода;
- категория тарифа.

Собранная статистическая информация была обработана, а проходы пассажиров через турникетные линейки по каждой станции были сегментированы с учетом пункта назначения (остановочные пункты были разбиты на зоны, соответствующие маршрутам пригородных поездов), дня недели (учитывались как рабочий/выходной день) и применяемого тарифа (обычный/повышенный). После этого данные по проходам пассажиров по каждой станции и каждому остановочному пункту для каждого рассматриваемого сегмента были сопоставлены с действующим расписанием пригородных поездов для данного сегмента данных (день недели, тариф).

На основании обработанных результатов были получены данные, об интервале поступления пассажиров на остановочный пункт до прибытия пригородного электропоезда. Исследованием установлено, что на распределение подхода пассажиров на остановочный пункт оказывает влияние межпоездной интервал

до и после отправления пригородного электропоезда. В зависимости от величины межпоездного интервала изменяются параметры распределения подхода пассажиров. Выделим характерные ситуации (сценарии) расписания движения и распределения подхода пассажиров.

Малая интенсивность движения пригородных электропоездов. Межпоездной интервал до и после отправления пригородного электропоезда более 60 минут. Распределение характеризуется низкой интенсивностью подхода пассажиров на остановочный пункт в период более 30 минут до отправления и резким падением после. Мода графика распределения подходов пассажиров находится в диапазоне 10–15 минут до отправления пригородного электропоезда.

Средняя интенсивность движения пригородных электропоездов. Межпоездной интервал до и после отправления пригородного электропоезда находится в диапазоне от 15 до 30 минут в течение рассматриваемого периода. График распределения подхода пассажиров является менее растянутым, чем при низкой интенсивности. Мода графика находится в диапазоне 5–10 минут до отправления пригородного электропоезда. Интенсивность подхода пассажиров на протяжении всего периода не снижается ниже 30% от максимальной интенсивности подхода пассажиров в рассматриваемый период.

Высокая интенсивность движения пригородных электропоездов. Межпоездной интервал до и после отправления пригородного электропоезда не превышает 15 минут в течение рассматриваемого периода. График распределения подхода пассажиров остается волнообразным, но стремится к линейной зависимости. Мода графика находится в диапазоне 3–7 минут до отправления пригородного электропоезда. Интенсивность подхода пассажиров на протяжении всего периода не снижается ниже 80% от максимальной интенсивности подхода пассажиров в рассматриваемый период.

Неравномерная интенсивность движения пригородных электропоездов. При сценарии неравномерного отправления двух пригородных электропоездов подряд (в интервале, не превышающем 5–10 минут) при интервалах более 30 минут до и после отправления рассматриваемой пары электропоездов, график распределения видоизменяется. Так, для первого из двух отправляемых в паре электропоездов мода графика распределения смещается ближе ко времени отправления с 10–15 минут в интервал 4–8 минут до отправления, а мода второго теоретически может находиться за пределами периода межпоездного интервала. При этом совместный график распределения подхода пассажиров является симме-



Рис. 1. Интенсивность подхода пассажиров на Ленинградский вокзал, купивших билет повышенного тарифа в выходной день с 12:30 по 13:50 до остановочного пункта Тверь

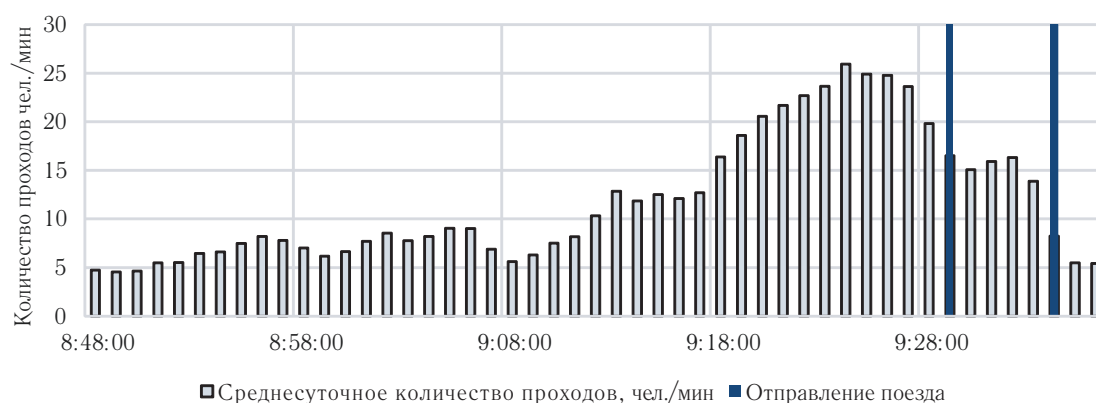


Рис. 2. Интенсивность подхода пассажиров на остановочный пункт Крюково, купивших билет повышенного тарифа в выходной день с 8:48 по 9:36 по направлению в Москву

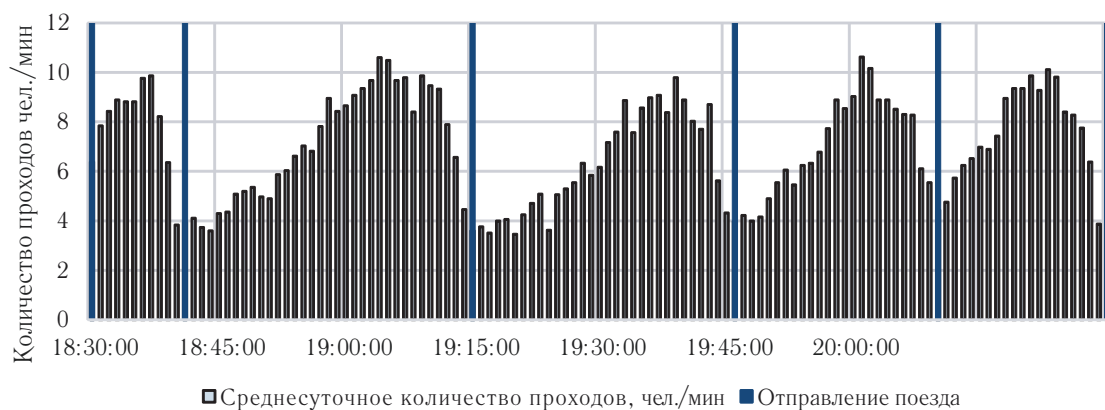


Рис. 3. Интенсивность подхода пассажиров на Ленинградский вокзал, купивших билет повышенного тарифа в выходной день с 18:30 по 20:30 на остановочные пункты Химки, Сходня, Крюково

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ИНТЕНСИВНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРОВ НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ В ОЖИДАНИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА»

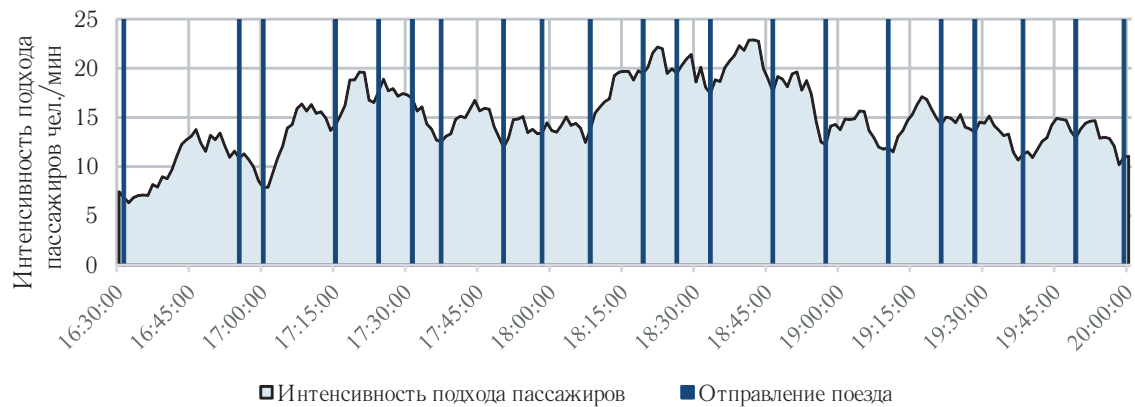


Рис. 4. Интенсивность подхода пассажиров на Ленинградский вокзал, купивших билет обычного тарифа в рабочий день с 16:30 по 20:00 на остановочные пункты Химки, Сходня, Крюково

тричным остальным.

На рис. 1–4 приведены примеры интенсивности подхода пассажиров, соответствующие описанным выше характерным ситуациям.

На рис. 5 представлен график плотности распределения подхода пассажиров на остановочный пункт в зависимости от величины межпоездного интервала перед отправлением пригородного электропоезда. При построении графика принято условие, что пригородный электропоезд отправляется в конце минуты, указанной в расписании, а пассажир, приходящий на пассажирскую платформу в ту же самую минуту, прибывает за 0,5 минут до отправления электропоезда.

Ось абсцисс задана количеством минут до отправления пригородного электропоезда, а ось ординат — вероятностью подхода пассажира пригородного электропоезда. На графике представлена плотность распределения подхода пассажиров в период от 0 до 30 минут до отправления поезда, а также 5 минут после.

$$P(x) = \frac{N_x}{N} = 1 \quad (1)$$

$$N = \sum_{0,5}^{k-0,5} N_x, \quad (2)$$

$$x \in \{-4,5; -3,5; \dots; 0,5; 1,5; 2,5; \dots; k-0,5\},$$

где $P(x)$ — вероятность прохода пассажира на остановочный пункт за x минут до отправления пригородного электропоезда;

N_x — количество случаев прихода пассажира на остановочный пункт за x минут до отправления пригородного электропоезда;

N — суммарное количество случаев прихода пассажира на остановочный пункт в период до отправления пригородного электропоезда;

k — межпоездной интервал перед отправлением пригородного электропоезда.

Аппроксимация функции распределения подхода пассажиров на остановочный пункт для посадки в пригородные электропоезда в зависимости от межпоездного интервала

При отправлении пригородного электропоезда через незначительный интервал после отправления рассматриваемого поезда искажаются параметры распределения подходов пригородных пассажиров, поэтому для аппроксимации функции интенсивности подхода пассажиров на остановочный пункт необходимо исключить влияние от подхода пассажиров к другим пригородным электропоездам, отправляющимся позже, поэтому для аппроксимации функции будут учитываться только те статистические данные, в которых после отправления пригородного электропоезда следующий отправляется не ранее чем через 30 минут.

Полученные в результате обработки статистических данных распределения имеют экстремум, который при уменьшении межпоездного интервала смещается ближе к оси Y , но при этом не достигает нулевого значения. Распределение подходов пассажиров на остановочный пункт является ассиметрично правосторонним распределением. Необходимо отметить, что распределение подхода, без учета опаздывающих пассажиров, происходит от 0 до бесконечности, что соответствует полубесконечному носителю распре-

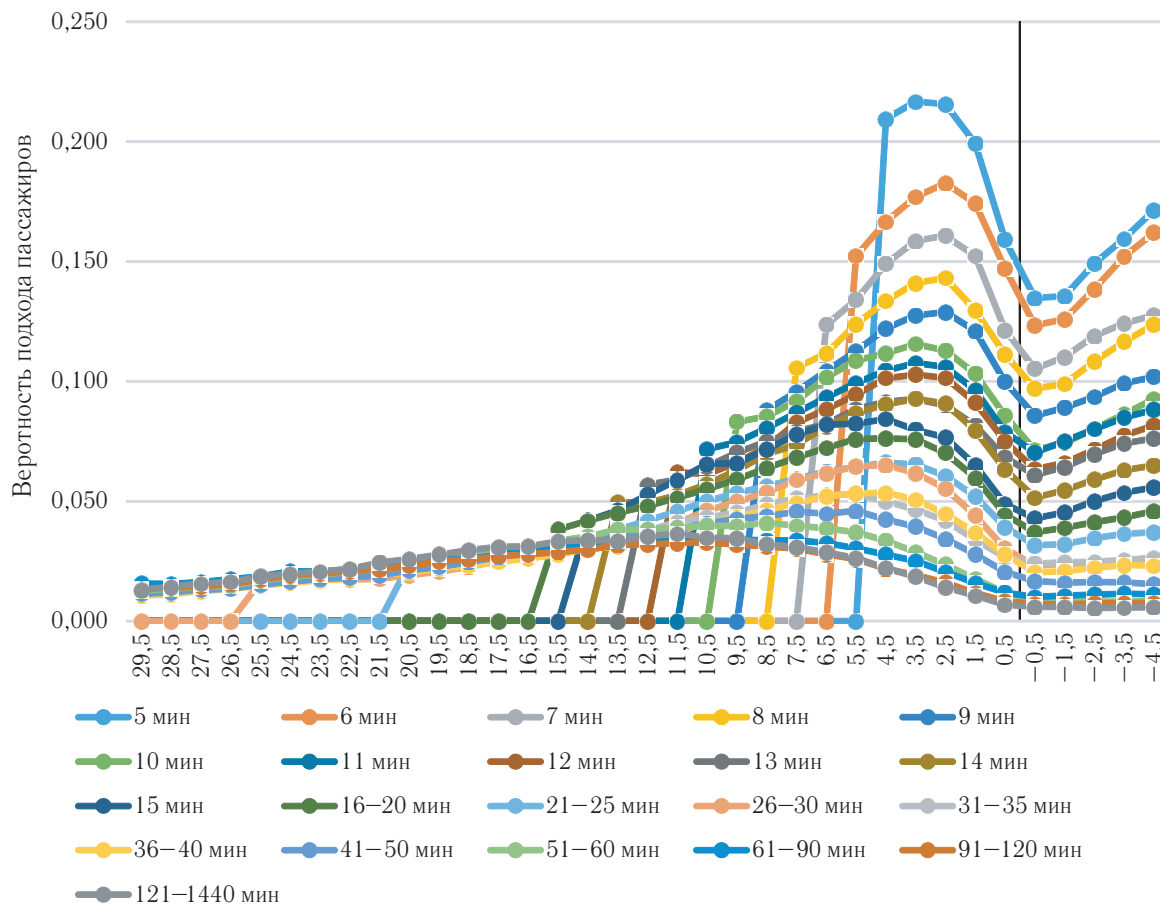


Рис. 5. Графики плотности распределения подхода пассажиров на остановочный пункт в зависимости от межпоездного интервала перед отправлением пригородного электропоезда

деления. Наиболее подходящими для аппроксимации данного распределения являются гамма-распределение, логнормальное распределение и логлогистическое распределение.

Полученные данные показывают, что часть пассажиров опаздывает ко времени отправления электропоезда. Поэтому при аппроксимации функции распределения плотности вероятности для рассматриваемых функций необходимо добавлять коэффициент сдвига k по оси X . Часть пассажиров при межпоездном интервале до 30 минут приходит на остановочный пункт до отправления предыдущего пригородного электропоезда, поэтому в рассматриваемый диапазон попадает только часть пассажиров и, следовательно, необходимо ввести дополнительный параметр (коэффициент охвата c), характеризующий распределение и показывающий какая часть пассажиров приходит на пассажирскую платформу в установленный межпоездный интервал.

При добавлении коэффициента сдвига и коэффициента охвата в формулу распределения случайной величины X формула плотности распределения при гамма-распределении принимает вид:

$$f(x|a, \beta, k, c) = (x+k)^{a-1} \frac{e^{-\beta(x+k)} \beta^a}{\Gamma(a)} \cdot \frac{1}{c}, \quad (3)$$

для $x > 0$; $a, \beta > 0$; $k \in \mathbb{R}$; $c \in (0; 1]$.

При логнормальном распределении формула плотности распределения принимает вид:

$$f(x|\mu, \sigma, k, c) = \frac{1}{(x+k)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x+k)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{1}{c}, \quad (4)$$

для $x > 0$; $\sigma > 0$; $\mu, k \in \mathbb{R}$; $c \in (0; 1]$.

При логлогистическом распределении формула плотности распределения принимает вид:

$$f(x|a, \beta, k, c) = \frac{(\beta/a)((x+k)/a)^{\beta-1}}{\left(1 + ((x+k)/a)^\beta\right)^2} \cdot \frac{1}{c}, \quad (5)$$

для $x > 0$; $a > 0$; $\beta > 0$; $k \in \mathbb{R}$; $c \in (0; 1]$.

Для оценки аппроксимирующих функций распределения плотности вероятности подхода пассажиров на остановочный пункт был проведен регрессионный анализ. Подобранные распределения достаточно правдоподобно описывают эмпирические значения распределения подхода пассажиров на остановочный пункт: совпадает максимум распределений и эмпирических значений, а также лево- и правосторонняя кривизна статистических данных и распределений имеют сходство.

Выбор достоверно описывающей функции подхода пассажиров на остановочный пункт между двумя подобранными распределениями должен учитывать достоверность аппроксимации данных распределений. Коэффициент детерминации для трех подобранных функций равен 1, что показывает высокий уровень аппроксимации. Сравнение уровня достоверности аппроксимации суммой квадратов остатков показало, что логлогистическое распределение описывает зависимость наиболее точно.

Принимая во внимание схожий уровень достоверности рассматриваемых распределений, а также тот факт, что при подборе функции распределения не учитывались значения распределения пассажиров непосредственно после отправления предшествующего электропоезда (не учитывались опоздания пассажиров), при выборе аппроксимирующей функции кроме уровня достоверности должны также учитываться фактор простоты функции и логические зависимости параметров рассматриваемых распределений от величины межпоездного интервала. В дальнейшем исследовании распределение подхода пассажиров на

остановочный пункт будет описываться логлогистическим распределением.

На рис. 6 приведено сопоставление аппроксимированных графиков распределения и гистограмм плотности распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при межпоездном интервале до отправления пригородного электропоезда 11–15, 26–30 и 61–90 минут, в ситуациях, когда следующий пригородный электропоезд отправляется не ранее чем через 30 минут.

Для данного распределения необходимо определить, как изменяются параметры масштаба A и формы B , а также коэффициент сдвига k функции в зависимости от величины межпоездного интервала после отправления пригородного электропоезда.

Определение параметров функции распределения подхода пассажиров в зависимости от величины интервала до и после отправления пригородного электропоезда

Плотность распределения подхода пассажиров на остановочный пункт соответствует формуле логлогистического распределения, с добавлением параметра — коэффициента сдвига. Функция плотности вероятности логлогистического распределения в таком случае выглядит следующим образом:

$$f(x|a, \beta, k) = \frac{(\beta/a)((x+k)/a)^{\beta-1}}{(1 + ((x+k)/a)^\beta)^2}, \quad (6)$$

для $x > 0$; $a > 0$; $\beta > 0$; $k \in \mathbb{R}$.

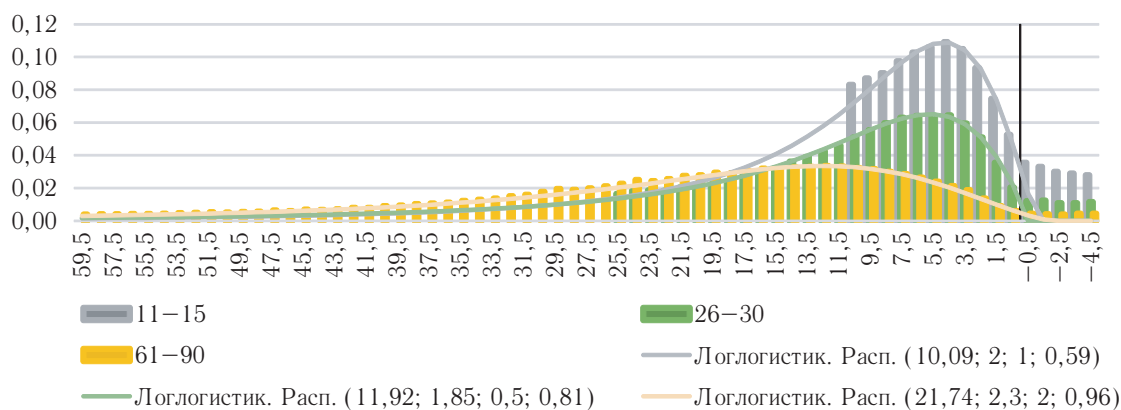


Рис. 6. Сопоставление аппроксимированных графиков распределения и гистограмм плотности распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при межпоездном интервале до отправления пригородного электропоезда 11–15, 26–30 и 61–90 минут, в ситуациях, когда следующий пригородный электропоезд отправляется не ранее чем через 30 минут

Очевидно, что параметры a, β, k зависят от величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда. Введем дополнительные переменные $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$ обозначающие значение величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда.

Для определения зависимости переменных a, β, k от значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$ был проведен регрессионный анализ для различных значений $i_{\text{после}}$ (более 30, от 10 до 30 и менее 10 минут).

Необходимо отметить, что параметр a логлогистического распределения является параметром масштаба, т.е. характеризует статистическую дисперсию распределения вероятности. Чем больше параметр масштаба, тем более разбросано распределение.

Свойством данного распределения является взаимосвязь параметров a, β и моды распределения случайной величины. Свойство является очень удобным для проведения регрессионного анализа, так как отбросит необходимость определения одного изменяющегося параметра. Мода логлогистического распределения определяется по следующей формуле:

$$Mo = a \frac{(\beta - 1)^{1/\beta}}{(\beta + 1)}, \quad (7)$$

где Mo — мода распределения подхода пассажиров на остановочный пункт.

Исходя из представленной формулы параметр a можно определять по следующей формуле:

$$a = Mo / \frac{(\beta - 1)^{1/\beta}}{(\beta + 1)}. \quad (8)$$

Проведенный регрессионный анализ функций распределения плотности распределения позволяет сделать выводы о характере зависимости параметров аппроксимирующей функции:

1. Мода распределения увеличивается для трех рассмотренных значений $i_{\text{после}}$ при увеличении значения межпоездного интервала до отправления пригородного электропоезда. Причем значение моды распределения увеличивается быстрее для больших значений межпоездного интервала после отправления пригородного электропоезда ($i_{\text{после}}$). Мода распределения для всех значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$ приведена на рис. 7.

2. Параметр a коррелирует со значением параметра моды распределения. На основании данного свойства и с учетом существующей зависимости моды распределения и параметров a, β , параметр a можно определять, зная функциональные зависимости моды распределения и параметра β . Значения параметра a для всех значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$ приведено на рис. 8.

3. Параметр β для всех значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$ находится в диапазоне от 1,75 до 2,5. Значения параметра a для всех значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$ приведено на рис. 9. С учетом бессистемного колебания значения параметра в диапазоне 1,75–2,25 в исследовании предлагается принять значение данного параметра как константу.

Среднее значение параметра для значений $i_{\text{после}} \leq 10$ составляет 1,868; для $i_{\text{после}} \in [11; 30]$ минут составляет

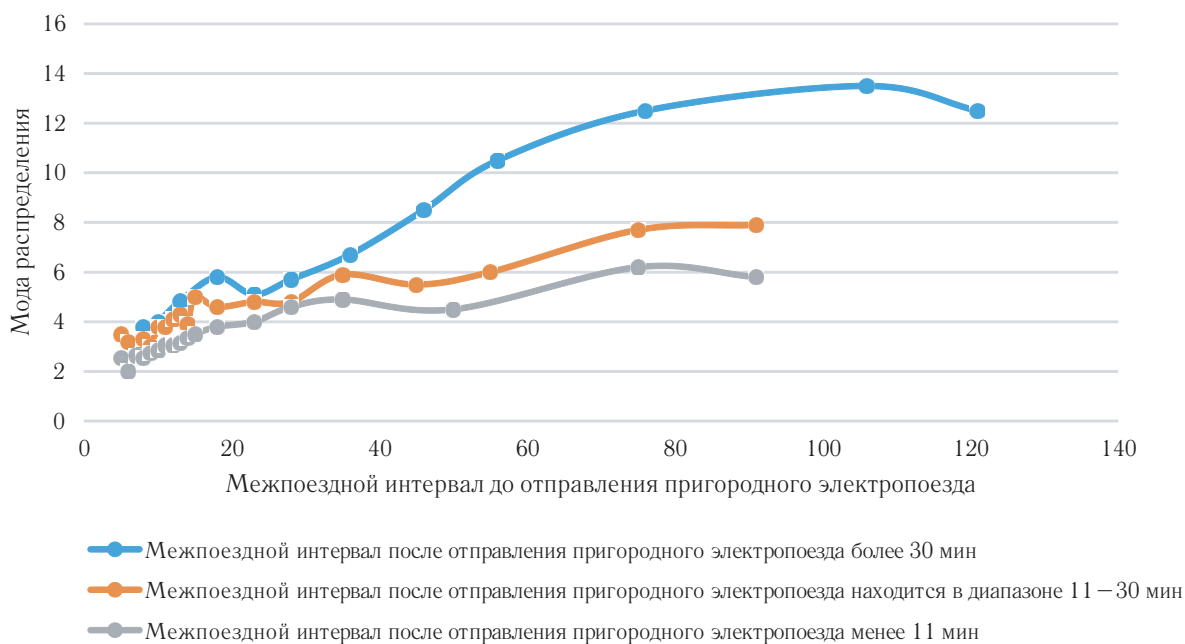


Рис. 7. Значение моды логлогистического распределения в зависимости от величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРА ИНТЕНСИВНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРОВ НА ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТАХ В ОЖИДАНИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА»

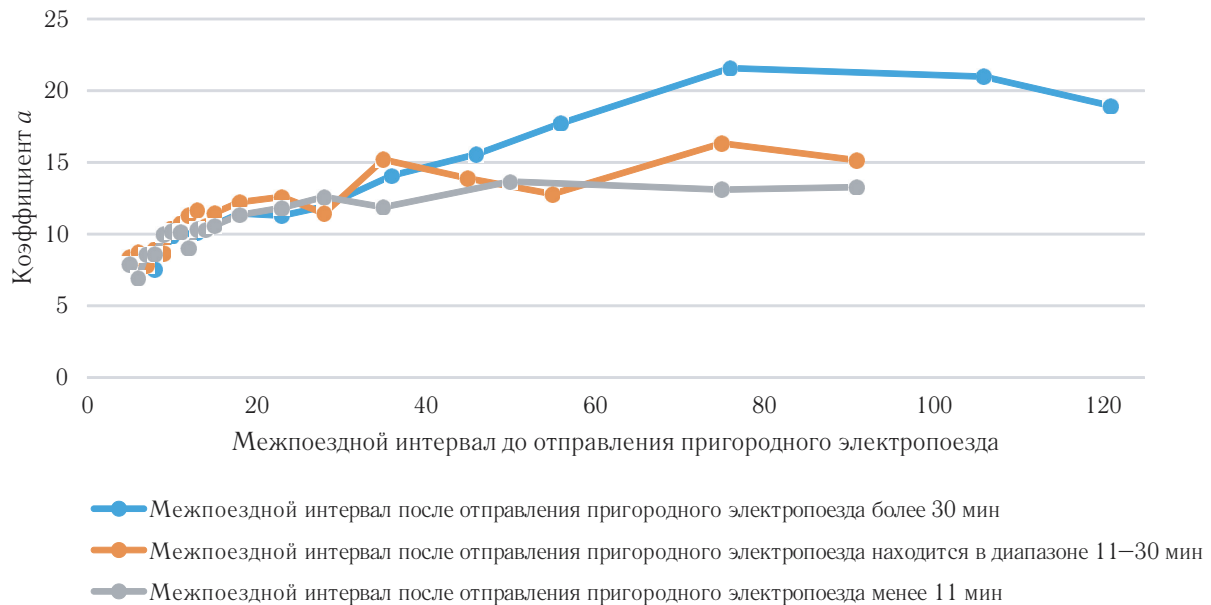


Рис. 8. Параметр α логлогистического распределения в зависимости от величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда

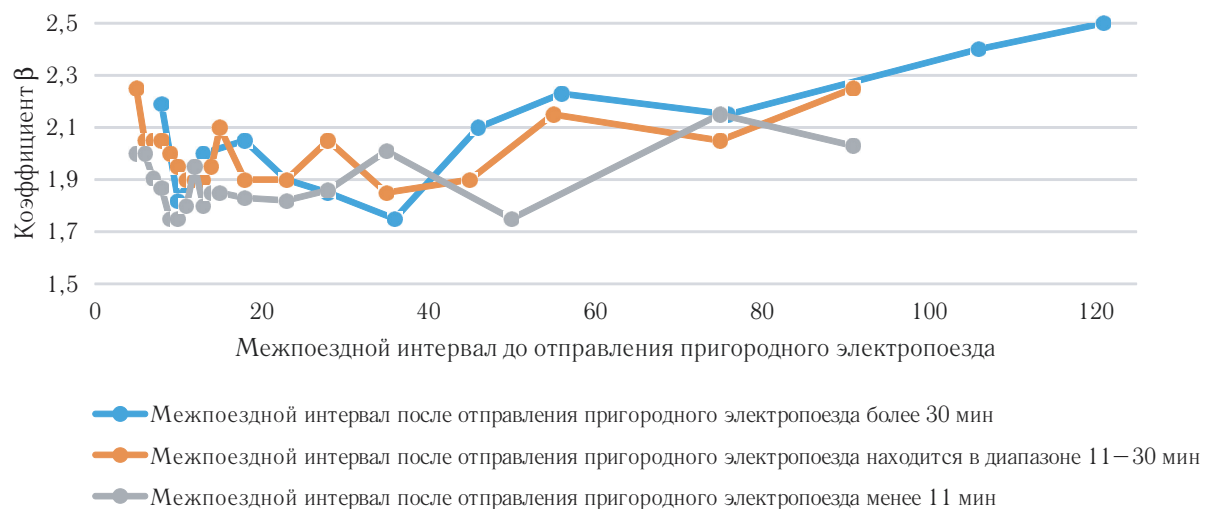


Рис. 9. Параметр β логлогистического распределения в зависимости от величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда

2,0055; для $i_{\text{после}} > 30$ составляет 2,081. Очевидно, что при увеличении $i_{\text{после}}$ увеличивается значение рассматриваемого параметра. Данный фактор можно объяснить тем, что при уменьшении значения параметра β , при неизменном значении моды распределения, хвосты распределения становятся более «тяжелыми», что в свою очередь оказывает влияние на распределение пассажиров для рассмотренных отправок электропоездов. То есть имеется в виду,

что при меньших значениях $i_{\text{после}}$ на статистические распределения оказывали влияние хвосты предыдущих распределений, делая распределения более размытыми, тем самым уменьшая значение параметра β . Поэтому для аппроксимируемой функции независимо от значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$ необходимо применять значение параметра $\beta = 2,081$.

4. Коэффициент сдвига в подобранных значениях функции принимает значение 2 для значений межпо-

ездного интервала после отправления менее 30 минут, а для значений межпоездного интервала после отправления более 30 минут — значение 1. Коэффициент сдвига необходим для учета опаздывающих пассажиров и одним фактором его снижения с увеличением $i_{\text{после}}$ являются временные потери для пассажиров в случае опоздания. Из-за отсутствия более точных данных подберем для коэффициента сдвига линейную аппроксимирующую функцию с помощью метода наименьших квадратов. Полученные коэффициенты линейной функции представлены в следующей формуле:

$$\begin{cases} k = 2,22165 - 0,019588 \cdot i_{\text{после}} & \text{для } i_{\text{после}} < 133,421 \\ k = 0 & \text{для } i_{\text{после}} \geq 133,421 \end{cases} \quad (9)$$

Очевидно, что значение коэффициента не может быть меньше 0, поэтому при величине $i_{\text{после}}$ больше установленного значения коэффициент сдвига принимает значение 0.

На рис. 10 приведен график функции коэффициента сдвига в зависимости от значений межпоездного интервала после отправления электропоезда.

Для определения параметра a необходимо установить функциональные зависимости моды распределения от значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$. Для этого были собраны статистические значения моды распределения в зависимости от $i_{\text{до}}$ для трех значений $i_{\text{после}}$. На основании моды распределения подобранных функций можно сделать предположения о характере подбираемой функции:

- подбираемая функция должна быть положительна для всех значений аргумента;

- значение функции не должно снижаться при увеличении аргумента;

- функция должна стремиться к определенному значению (максимальному значению моды) при стремлении аргумента к бесконечности.

На основании обозначенных выше требований и проведенного регрессионного анализа подходящей функцией для описания изменения моды выбрана степенная функция

$$z(x) = \theta_1 \cdot x^{\theta_2}, \quad (10)$$

где θ_i , $i=1, 2$ — параметры функции;

x — заданная абсцисса.

На рис. 11 представлены графики аппроксимирующей функций описывающие моду распределения подхода пассажиров в зависимости от значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$.

В соответствии с полученной зависимостью моды распределения подхода пассажиров на остановочный пункт (см. рис. 11) можно определять значения параметра a логлогистического распределения, описывающего процесс подхода пассажиров на остановочный пункт. В том числе полученные данные можно экстраполировать для получения промежуточных значений.

Выводы

На основе результатов проведенных исследований можно проводить комплексные, системно связанные расчеты важных технико-технологических параметров организации пригородных пассажирских перевозок.

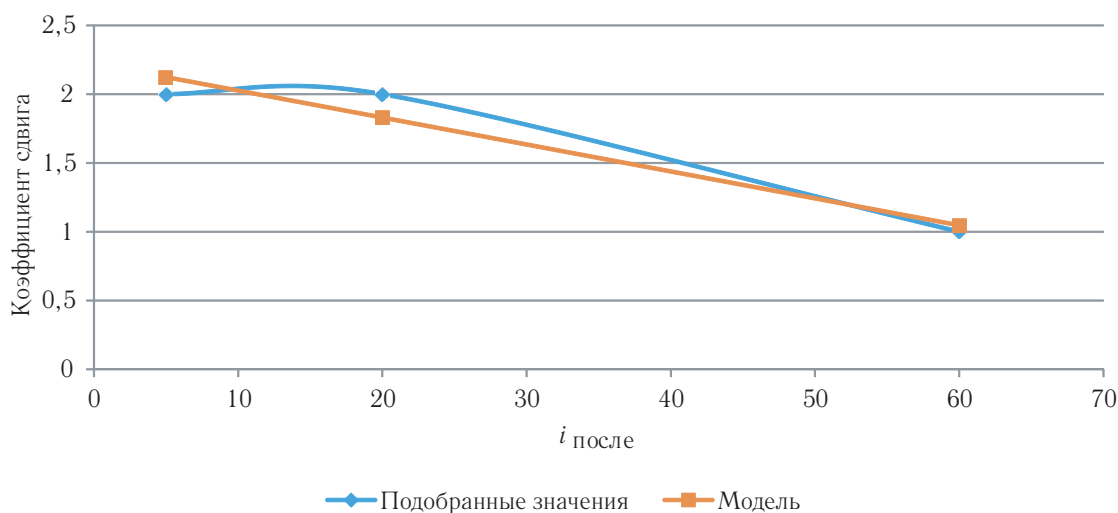


Рис. 10. Коэффициент сдвига логлогистического распределения в зависимости от величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда

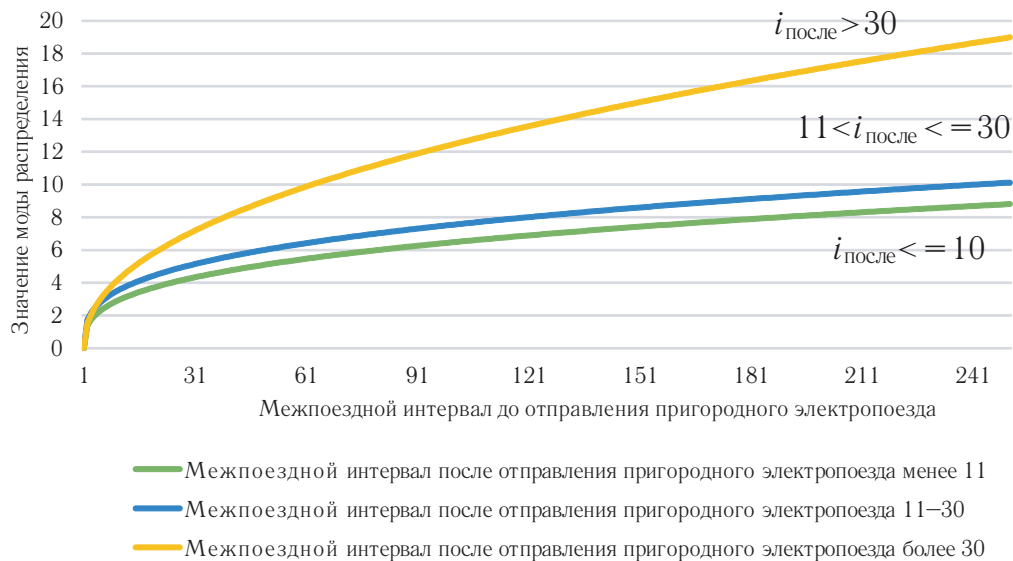


Рис. 11. Графики, описывающие моду распределения подхода пассажиров в зависимости от значений $i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$

К таким параметрам можно отнести: параметры графика движения поездов (размеры движения, интервалы движения), населенность пригородных электропоездов, количество билетных касс, количество турникетов, размеры пассажирских платформ и других пассажирских обустройств, обеспечения удобной и безопасной посадки пассажиров на пригородные поезда.

Полученные формулы могут быть использованы для построения математических моделей, рассчитывающих населенность пригородных поездов как для нормативных, так и проектных графиков движения. Это позволит прогнозировать количество перевезенных пассажиров в конкретных поездах, оптимизируя при этом расписание движения пригородных электропоездов, интервал между ними, а также необходимое их количество и их составность.

Кроме того, данные модели также позволят моделировать населенность пригородных электропоездов в режиме реального времени, а также прогнозировать их населенность в случаях сбоев в движении и, следовательно, позволят принимать более обоснованные управленческие решения в части проектирования графиков и диспетчерского регулирования [5].

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. - Текст : непосредственный. Место защиты ФГБОУ ВО Моск. гос. ун-т путей сообщения.
2. Роменский, Д. Ю. Пригородно-городские железнодорожные пассажирские перевозки на диаметральных маршрутах крупных транспортных узлов : на примере Московского транспортного узла : специальность 2.9.4. «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Роменский Дмитрий Юрьевич. - Москва, 2021. - 240 с. Место защиты ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта».
3. Ahmad Tavassoli, Mahmoud Mesbah, Ameneh Shobeirinejad Modelling passenger waiting time using large-scale automatic fare collection data: An Australian case study // Transportation Research Part F. - 2018. - №58. - С. 500-510.

4. S. K. Jason Chang, Spring C. HSU Modeling of Passenger Waiting Time in Intermodal Station with Constrained Capacity on Intercity Transit // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. - 2003. - №5. - С. 9-22.
5. Вакуленко, С. П. Роль моделирования и прогнозирования в транспортном планировании . - Текст : непосредственный / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова // Вопросы устойчивого развития общества. - 2022. - № 4. - С. 1396-1400. - EDN: XXSYD.
6. Бутыркин, А. Я. Модели прогнозирования пассажирских перевозок на железнодорожном и авиационном транспорте / А. Я. Бутыркин, Е. Б. Куликова, О. Н. Мадяр . - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 1. - С. 19-27. - EDN: WMYYS.
7. Вакуленко, С. П. Субъективность представлений и объективная оценка комфортного времени ожидания пассажиром транспорта / С. П. Вакуленко . - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги : в 2 частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года ; под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. - Гомель: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2022. - С. 86-88. - EDN: JPKUMQ.
8. Расписание движения поездов с учетом удобства пересадки для пассажиров / С. П. Вакуленко, Л. Р. Айсина, В. Н. Шмаль, А. М. Насыбуллин . - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. - 2022. - № 4. - С. 67-74. - EDN: MAQPSK.
9. Организация совместных пассажирских автоперевозок на малоинтенсивных направлениях / С. П. Вакуленко, А. С. Кравцов, А. М. Насыбуллин [и др.] . - Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. - 2022. - № 4(94). - С. 41-46. - EDN: SXWJMY.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМФОРТА ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Показано влияние диагностики на принятие предиктивных мер по выявлению технических неисправностей пассажирских вагонов, произошедших в 2021 и 2022 годах, на основании проведенного анализа сервисного оборудования. Рассмотрены технические средства сбора и обработки измерительной информации, используемые в диагностике, программное обеспечение с целью создания системы динамического мониторинга пассажирского вагона.

Ключевые слова: пассажирский вагон, система обеспечения комфорта, ремонт, техническое обслуживание, устранение

EDN: WRQKJX



Д.Г. Евсеев



М.Ю. Куликов

На заре зарождения железнодорожного транспорта пассажирские перевозки были очень примитивными и предоставляли минимальный набор функций. Как правило, пассажиры ехали на жестких деревянных скамьях, для размещения личных вещей и багажа не хватало места из-за малого свободного места, а интенсивные шум и вибрации не позволяли им отдохнуть в длительных поездках.

С общим техническим развитием во всех сферах и отраслях, качество предоставления услуг также улучшалось. Ускорение поездов, улучшение комфортабельности перевозки позволили поднять на новый уровень организацию обслуживания. Вместе с этим

также стали увеличиваться и требования к качеству предоставляемых услуг и комфортабельности.

В соответствии с Долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. №466-р одной из ее задач является повышение эффективности функционирования железнодорожного транспорта, в том числе и пассажирского за счет его технического совершенствования, улучшения и оптимизации системы технического обслуживания и ремонта, а также внедрения мониторинговой системы [4]. Вместе с тем, одной из задач Стратегии развития железно-

Евсеев Дмитрий Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов: транспортное машиностроение, технология производства и ремонта подвижного состава. Автор более 250 научных работ, в том числе трех учебников, пяти монографий. Имеет более 40 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

Куликов Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортное машиностроение, технология производства и ремонта подвижного состава, металлорежущие станки и инструменты. Автор более 80 научных работ, в том числе двух монографий.

Курин Павел Сергеевич, начальник пассажирского вагонного депо Москва-3 - структурного подразделения Московского филиала Акционерного общества «Федеральная пассажирская компания». Область научных интересов: безопасность движения, пассивная безопасность внутреннего оборудования подвижного состава.

Шинкарук Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, главный ревизор по безопасности движения поездов Акционерного общества «Федеральная пассажирская компания». Область научных интересов: безопасность движения, повышение продолжительности жизненного цикла пассажирского вагона, хребтовые балки, жизненный цикл подвижного состава. Автор более 10 научных работ.

дорожного транспорта в РФ до 2030 года, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р является приведение уровня качества и безопасности перевозок в соответствие с требованиями мировых стандартов на основе технологического и технического развития железнодорожного транспорта [3].

Для реализации поставленных Правительством задач при использовании услуг пассажирских перевозок перевозчик не только гарантирует своевременное перевозку пассажиров по маршруту, но и обеспечивает заранее оговоренным в условиях проезда уровнем комфорта. Поэтому важнейшей частью реализации заявленных условий является работоспособность элементов пассажирского вагона, отвечающих за комфортабельность [2].

Основными элементами пассажирского подвижного состава [1], отвечающими за обеспечение комфорта при проезде пассажиров являются система кондиционирования воздуха (УКВ), экологически чистые туалетные комплексы (ЭЧТК), установки для подогрева и охлаждения жидкости и продуктов питания, приспособления для комфортного обслуживания маломобильных пассажиров, система мониторинга противопожарного состояния вагона и др. Из-за отказов в работе вышеуказанного оборудования создается риск необеспечения комфортных условий проезда пассажиров и задержки пассажирского поезда при его следовании.

Система обеспечения комфорта пассажиров (СОКП) напрямую зависит от технического состояния пассажирского вагона. Так, при анализе выхода из строя элементов СОКП (табл. 1) за период с 2021 по 2022 гг. установлено, что наибольшее количество неисправностей приходится на выход из строя ЭЧТК, электрооборудования (генератор) и УКВ.

Отказы также могут носить разный по времени устранения характер (краткосрочный и долгосрочный). Краткосрочные отказы (с восстановлением до 4 часов) как правило устраняются в процессе следования поезда по маршруту, либо на транзитной станции, а долгосрочные (восстановление более 4 часов) устраняются, как правило, в производственных условиях пунктов формирования и оборота, что обеспечивает значительный простой вагона и исключения его из перевозочного процесса.

По результатам анализа времени на устранение возникших в пути следования неисправностей (табл. 2) можно сделать вывод, что за наибольшее время устраняются неисправности ЭЧТК, электрооборудования (генератор) и УКВ.

При устранении неисправности пассажирского вагона значительное время занимает выявление неисправности и определение места ее устранения либо на ремонтно-экипировочных путях при подготовке или обслуживании в составе поезда (либо с подачей на пути текущего оцепочного ремонта с исключением вагона из эксплуатации). Поэтому наличие монито-

Таблица 1

Анализ неисправностей оборудования пассажирских вагонов в пути следования

Элементы системы обеспечения комфорта	2021 год					2022 год				
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	Итого	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	Итого
ЭЧТК	301	329	472	321	1423	320	200	1219	794	2533
Генератор	19	17	83	17	136	7	11	25	61	104
Вентиляция/УКВ	21	593	981	6	1601	18	305	1660	29	2012
Водоснабжение	7	14	8	8	37	13	11	23	29	76
Подъёмник ММП	1	2	1	0	4	0				0
Пожарная сигнализация	0	1	0	0	1	0				0
Кипятильник	1	1	1	0	3	2	2	5	1	10
Морозильная камера	0	1	1	0	2	2	2	1	3	8
В/в магистраль	4	7	3	6	20	23	3	17	25	68
Отопление	2	0	0	5	7	1	3	2	18	24
Информационная магистраль, портал «Попутчик»	27	88	21	48	184	58	26	20	15	119
Итого	383	1053	1571	411	3418	444	563	2972	975	4954

Таблица 2

Время на устранение неисправностей в 2022 году (час)

Элементы системы обеспечения комфорта	Краткосрочный (0–4 часов)	Долгосрочный (свыше 4 часов)	Итого
ЭЧТК	1674	859	2533
Генератор	11	93	104
Вентиляция/УКВ	560	1452	2012
Водоснабжение	54	22	76
Кипятильник	2	8	10
Морозильная камера	1	7	8
В/в магистраль	13	55	68
Отопление	7	17	24
Информационная магистраль, портал «Попутчик»	42	77	119
Итого	2364	2590	4954

ринговой системы оповещений о неисправном состоянии элементов СОКП позволит еще в пути следования предварительно определить или установить источник неисправности, а также определить объем ремонта вагона и потребное количество запасных частей и материалов.

По результатам рассмотрения данных отказов сервисного оборудования, с учетом внедрения и создания новых и современных систем мониторинга и контроля состояния наиболее ответственных узлов и деталей пассажирского вагона, данный вопрос является весьма актуальным.

Для их реализации разработана система диагностического мониторинга пассажирского вагона с возможностью применения автоматического выявления неисправностей вагонов с помощью специальных приборов и установок. Для их реализации определены основные элементы пассажирских вагонов, на которые устанавливаются диагностические датчики, а именно:

1. Генератор.
2. Аккумуляторная батарея.
3. Автоматические двери.
4. Климатическая установка (УКВ).
5. Кипятильник.
6. Морозильная (холодильная) камера.
7. Кондиционер.
8. Магистраль водоснабжения.
9. Информационная магистраль.
10. Туалетные комнаты.

Мониторинг полученных данных осуществляется по следующему алгоритму.

1. Периодически считывается информация от контролируемых составляющих системы обеспечения комфорта пассажирского вагона.

2. Обработка поступивших результатов контроля.

3. Передача результатов контроля.

Информация с контролирующих датчиков поступает в управляющий компьютер штабного вагона. Обобщенная со всего состава поезда и зашифрованная информация передается в центр мониторинга, где производится расшифровка и анализ результатов контроля конкретного состава, по результатам которого определяется вид неисправностей, причины, приводящие к их возникновению и примерный план устранения. Эта информация передается на предприятие, где планируется обслуживание данного состава для реализации намеченного плана ремонта.

Данная система позволяет оперативно определить неисправный узел или агрегат вагона, его возможный дефект, запланировать подачу вагона на позицию текущего отцепочного ремонта до прибытия вагона в пункт назначения с целью оперативного восстановления работоспособности оборудования, а также осуществить заказ запасных частей и материалов, что, в свою очередь, приведет к снижению нахождения вагона в нерабочем парке и повысит его основной показатель — нахождение вагона в эксплуатационном парке. 

Литература

1. 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 2021-03-01 / разработан Закрытым акционерным обществом «Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ») .- Москва, Стандартинформ, 2020 . - 39 с. - URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/740/74010.pdf> (дата обращения 15.01.2023). - Текст : электронный.
2. Оценка качества предоставляемых услуг АО «ФПК» за январь-декабрь 2022 года глазами пассажиров (на основе индексов CSI и NPS) // АО «ФПК», 2023. - С. 33. - Текст : непосредственный.
3. Об утверждении Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р : официальный сайт . - URL : <https://mintrans.gov.ru/documents/7/1010> (дата обращения 22.01.2023г.) . - Текст : электронный.
4. Об утверждении Долгосрочной программы развития ОАО «Российские железные дороги» до 2025 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-р : официальный сайт . - URL : <http://government.ru/docs/36094/> (дата обращения 15.01.2023г.). - Текст : электронный.

РАЗВЕТВЛЕННЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ С ЦИКЛИЧЕСКИМ ПИТАНИЕМ БЕЗ ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ

Рассмотрены структура и состав оборудования рельсовых цепей без изолирующих стыков при циклическом питании сигнальным током. Описаны назначение и взаимодействие элементов разветвленной рельсовой цепи, приведен пример алгоритма ее функционирования.

Ключевые слова: рельсовая цепь, циклическое питание сигнальным током, тональные рельсовые цепи

EDN: ICFSEN



П.В. Савченко



К.В. Менакер

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее динамично развивающихся видов транспорта, на долю которого приходится более 85% грузооборота (без учета трубопроводного транспорта). [1]. Увеличение объемов перевозимых грузов повышает требования, предъявляемые к пропускной способности железнодорожных участков и станций, значение потребной пропускной способности неуклонно стремится к величине наличной пропускной способности. Этот факт, в свою очередь, накладывает все более жесткие требования к технической оснащенности перегонов и станций, а также к нормативным значениям показателей надежности и безопасности устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Одним из важнейших элементов систем железнодорожной автоматики и телемеханики является рельсовая цепь (РЦ), от надежности функционирования которой напрямую зависит значение наличной пропускной способности железнодорожных участков и станций, однако, РЦ является и одним из наименее надежных элементов инфраструктуры. Анализ надежности работы РЦ показал, что за последние 5 лет число отказов рельсовых цепей имеет тенденцию к увеличению. При этом среднее число отказов РЦ за 5 лет (период с 2018 по 2022 годы) оказалось меньше, чем за 10 лет (период с 2013 по 2022 годы), однако статистический анализ динамики отказов позволяет сделать прогноз о существенном росте числа отказов в 2023 г. (рис.1) [7].

Савченко Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктуры» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность и надежность станционных систем железнодорожной автоматики. Автор 33 научных работ. Имеет 17 патентов на изобретения.

Менакер Константин Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения Забайкальского института железнодорожного транспорта (ЗабИЖТ ИрГУПС), г. Чита. Область научных интересов: электропитание, устройства защиты от электрических помех станционных и перегонных устройств. Автор 30 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

Романов Николай Вячеславович, заведующий лабораторией кафедры «Системы управления транспортной инфраструктуры» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность и надежность систем железнодорожной автоматики. Автор пяти научных работ.

Бадирила Люсьен, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктуры» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность микропроцессорных систем железнодорожной автоматики.

В настоящее время на сети железных дорог России в качестве основных датчиков нахождения подвижного состава на изолированных участках станций используются фазочувствительные и тональные рельсовые цепи (ТРЦ) [2,6]. С каждым годом все чаще происходит замена морально устаревших фазочувствительных РЦ на современные ТРЦ третьего и четвертого поколений, несмотря на наличие у ТРЦ известных недостатков:

- большой зоны предварительного шунтирования;
- необходимости использовать дополнительные устройства для контроля напряжения;
- малая протяженность переводных кривых и съездов требует использования изолирующих стыков;
- потребность в использовании кабелей с большим количеством жил.

Устранение отмеченных недостатков позволило бы существенно повысить надежность работы ТРЦ, и как следствие — наличную пропускную способность перегонов и станций[4].

В качестве одного из способов исключения указанных выше недостатков ТРЦ предлагается использовать следующее техническое решение по модернизации существующих ТРЦ: питание подключается к середине участка РЦ, при этом параллельно месту подключения питания включают конденсатор, с помощью которого образуется колебательный контур. В этом случае повышается частота сигнального тока и снижается входное сопротивление РЦ[5]. Схема под-

ключения устройств к рельсовой линии представлена на рис. 2.

Отличительной особенностью представленного способа, является то, что контролируемым параметром свободности (занятости) РЦ выступает значение тока источника питания. При этом контроль и питание у всех рельсовых цепей осуществляет первая линейная цепь путем поочередного подключения к рельсовым контурам (РК). Переход между рельсовыми контурами происходит путем переключения распределителей, которыми управляет вторая линейная цепь.

Все устройства, представленные на рис. 2, можно разделить на три группы: напольные элементы, устройства, размещаемые в путевой коробке (ПК) и устройства, размещаемые в здании поста электрической централизации (ЭЦ). Список устройств, применяемых в предложенной схеме подключения, представлен в таблице.

Работа данной схемы может быть описана следующим образом: ток в первой линейной цепи (ЛЦ 1), который напрямую связан с разностью потенциалов на резисторе R , считывается ЭВМС и сопоставляется с маршрутами в системе МПЦ. Данная информация позволяет определить состояние рельсового контура.

Контроль рельсового контура происходит двумя методами:

- методом сравнения величин токов, измеренных в разные моменты времени в РК;
- методом сравнения величин токов, измеренных в смежных РК.

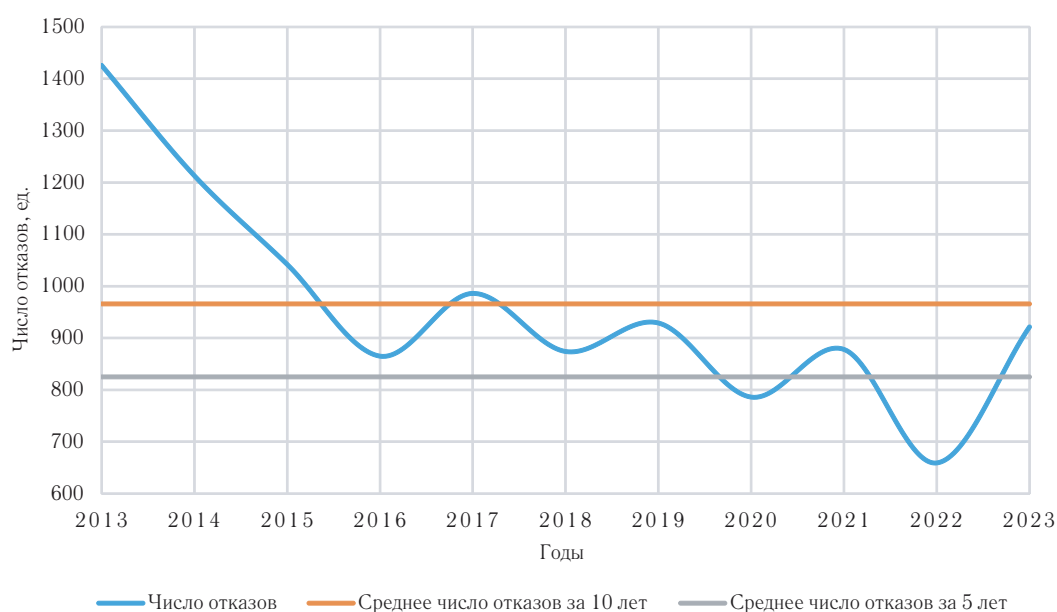


Рис. 1. Динамика отказов РЦ за период с 2013 по 2022 годы

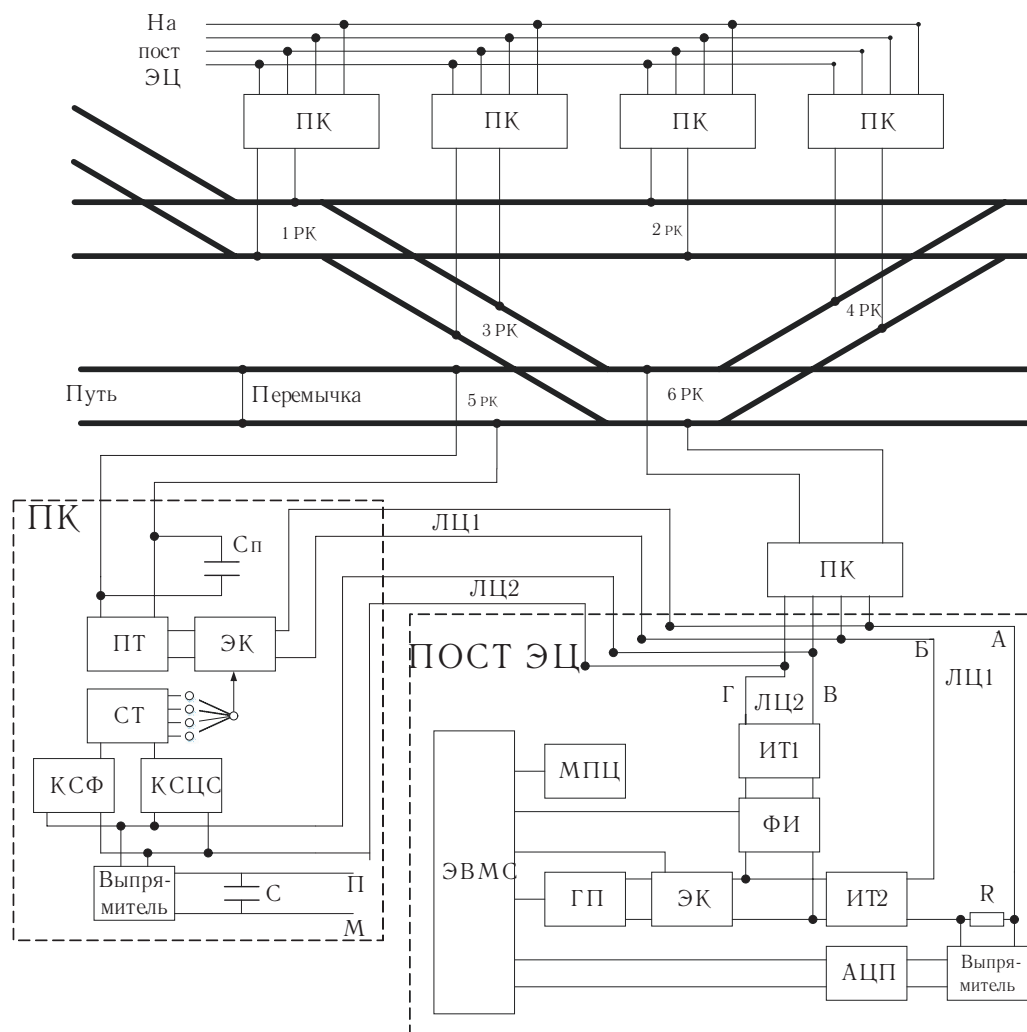


Рис. 2. Схема подключения устройств к рельсовой линии

Таблица

Элементы структурной схемы

Оборудование поста ЭЦ	Оборудование путевых коробок
Станционная электронно-вычислительная машина ЭВМС	Устройства контроля сигнала цикловой синхронизации КСЦС
Путевой генератор ГП	Конденсатор С
Фазоинвертор ФИ	Устройства контроля смены фаз КСФ
Электронный ключ ЭК	Счетчик (распределитель)
Изолирующие трансформаторы ИТ1, ИТ2	Дужка Д для настройки схемы ПК
Система микропроцессорной централизации МПЦ	Фрагменты линейных цепей с проводами А, Б, В, Г
Аналого-цифровой преобразователь АЦП	Полюсы питания ПМ

Если в результате сравнения хотя бы один метод показывает занятость или отказ РЦ, движение по данному РК необходимо ограничить. Используя одновременно оба предложенных метода, можно обеспечить требуемый уровень безопасности движения поездов.

Рассмотрим алгоритм функционирования оборудования, размещенного на посту ЭЦ. АЦП совместно с системой МПЦ передают информацию о текущей поездной ситуации на ЭВМС, которая в свою очередь управляет электронным ключом ЭК, осуществляющим переключение путевого генератора одного РК на другой.

Путевые коробки фиксируют сигнал цифровой синхронизации, вследствие чего электронный ключ ЭК открывается и напряжение поступает на фазоинвертор ФИ, а также на изолирующий трансформатор ИТ2. Фазоинвертор ФИ контролирует длительность посылки, которая присваивается соответствующему РК. Фазоинвертор ФИ соединяется с изолирующим трансформатором ИТ1, который в свою очередь подключается ко второй линейной цепи ЛЦ2, контролирующей работу ПК.

Для питания данных РЦ отлично подойдет генератор ГП4, который в настоящее время используется для питания ТРЦ четвертого поколения. Однако авторы рекомендуют использовать генератор более высоких частот — от 5 до 10 кГц. Конечно, при таких частотах затухание сигнала увеличится, что имеет как плюсы (влияние сигнала на смежные РЦ уменьшится), так и минусы (потребуется увеличение тока на входе). Однако, если исходить из того, что питание подается от середины РЦ и длины РЦ на станциях в среднем меньше, чем на перегонах, указанный выше недостаток нивелируется.

Предложенный авторами способ позволяет обеспечить выполнение требований по обеспечению безопасности движения поездов, при этом не обладает недостатками, которые имеются у большинства других методов контроля состояния РЦ. 

Литература

1. Хусаинов, Ф. И. Перевозки грузов железнодорожным транспортом в первом полугодии 2021 года: экономика-статистический обзор / Ф.И. Хусаинов. - Текст : непосредственный // Вестник транспорта. 2021. - № 10. - С.11-21.
2. Патент № 2581277 С1. Российская Федерация, МПК В61L23/16 (2006.01). Способ контроля свободности рельсовой линии : №2014127236/11: заявл.03.07.2014: опубликовано 20.04.2016 / Полевой Ю. И.; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС). - 4 с.: ил. - Текст : непосредственный.
3. Менакер, К. В. Имитационная модель участка в пределах одной рельсовой цепи/ К.В. Менакер, Е.М. Бушуев. - Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. - 2018. - №2. - С.10-13.
4. Порошков, В. С. Рельсовые цепи с циклическим питанием сигнальным током/ В.С. Порошков, А.В. Горелик, П.В. Савченко. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2019. - №3. - С.42-45.
5. Патент RU № 2 723 529 С1. Российская Федерация, МПК В61L23/16 (2006.01). Способ контроля состояний разветвленной рельсовой цепи в горловинах станции : № 2019129691 : заявл. 20.09.2019 : опубликовано 15.06.2020 / Полевой Ю.И., Горелик А.В., Савченко П.В.; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ)). - 14 с. : ил. - Текст : непосредственный.
6. Патент RU № 2726458 С1. Российская Федерация, МПК В61L 23/16(2006.01). Способ контроля состояний разветвленной рельсовой цепи : № 2019121348 : заявл.08.07.2019 : опубликовано 14.07.2020 / Полевой Ю.И., Горелик А.В., Савченко П.В.; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ)). - 10 с. : ил. - Текст : непосредственный.
7. Комплексный анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики за 2021 год. - Москва : ОАО «РЖД», 2021. - 77 с. — Текст : непосредственный.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШТАТНОЙ И АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПОДСЫПКИ ПЕСКА НА ЛОКОМОТИВЕ

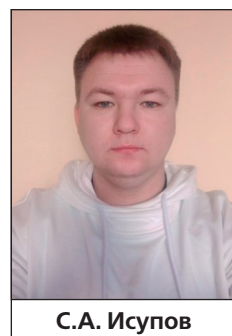
На основе использования линеаризованной модели боксования колесной пары локомотива выполняется сравнительный анализ поведения штатной системы подсыпки песка под колеса и предлагаемой адаптивной системы управления пескоподачей при типовых случаях боксования. В качестве последних используются случаи боксования при разгоне поезда и при наезде на масляное пятно.

Ключевые слова: боксование, относительная скорость скольжения, пескоподача, коэффициент трения, адаптивный закон управления

EDN: HNPOTH



С.П. Круглов



С.А. Исупов

Одной из актуальных задач локомотивной тяги является постоянное обеспечение необходимого уровня сцепления колеса с рельсом, что, в частности, осуществляется посредством подсыпки песка в место контакта колеса с рельсом. На актуальность совершенствования автоматизации такого процесса указывают, например, [1], а также патенты [2–4], направленные на эффективность и минимизацию расходования песка.

Подход, рассмотренный в [4], связан с созданием адаптивного управления автоматической подачи песка в условиях текущей параметрической неопределенности и при действии внешних возмущений на основе «упрощенных» условий адаптируемости. Для этого метода необходимы только достаточно приблизительные оценки характеристик управляемого

объекта. Данный метод также использован, например, в [5;6].

Задачей настоящего исследования является сравнение штатной системы, установленной на локомотиве, с предполагаемым решением при боксовании. Сравнение будем проводить при двух типовых случаях появления указанного явления: при разгоне поезда и при наезде на масляное пятно в режиме тяги.

Математическая модель боксования

Для решения поставленной задачи предлагается рассмотреть линеаризованную математическую модель динамики движения колесной пары локомотива в условиях боксования. Для упрощения дальнейших рассуждений будем использовать осредненные параметры, сведенные только к одной колесной паре

Круглов Сергей Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС). Область научных интересов: мехатроника и робототехника, автоматизация на транспорте, адаптивное управление при текущей параметрической неопределенности. Автор более 150 научных работ, в том числе двух монографий и 17 учебных пособий. Имеет 15 патентов на изобретения.

Исупов Станислав Андреевич, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС). Область научных интересов: мехатроника и робототехника, автоматизация на транспорте. Автор шести научных работ. Имеет два патента на изобретения.

локомотива. Это вполне обосновано в силу адаптивного свойства формируемого далее закона управления пескоподачей.

На рис. 1 показаны основные кинематические параметры поезда и объекта управления — одной колесной пары локомотива (под которую может подаваться песок) с осредненными характеристиками, связанными с ее функционированием.

Характеристики объекта управления (см. рис. 1) следует еще дополнить зависимостью коэффициента сцепления от относительной скорости скольжения колеса по рельсу: $\psi(\varepsilon)$, где ψ — коэффициент сцепления; ε — относительная скорость скольжения колеса по рельсу, критическое значение которого составляет $\varepsilon_{кр} \approx 0,03$ (ему соответствует максимальное значение коэффициента сцепления ψ_{max}) [7].

В работах [5;6] на основе положений [7–9] выведены зависимости, описывающие динамику движения рассматриваемой колесной пары:

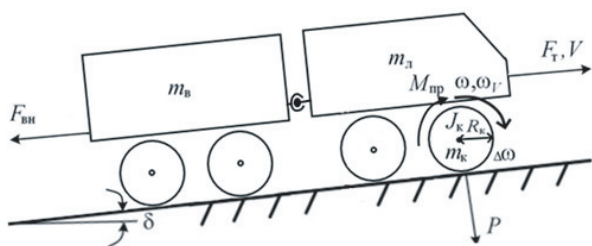


Рис. 1. Основные кинематические параметры объекта управления: $m_к$, $J_к$, $R_к$ — масса и осевой момент инерции колесной пары, а также радиус колеса соответственно;

$m_л$, $m_в$ — масса локомотива и вагонов, отнесенная к одной колесной паре, определяются по полной массе локомотива и вагонов соответственно, делением на количество колесных пар локомотива; δ — угол уклона пути (на подъем имеет знак «+»,

на спуск знак «-»); $P = (m_л + m_в)g \cos \delta$ — сила давления колесной пары на рельсы; g — ускорение свободного падения; $M_{пр}$ — приводной момент, приложенный к колесной паре от тягового электродвигателя на режиме тяги; V — линейная скорость центра колесной пары (линейная скорость поезда); ω — угловая скорость колесной пары; $\omega_v = V/R_к$ — угловая скорость колесной пары, соответствующая линейной скорости; $\Delta\omega = \omega - \omega_v \geq 0$ — угловая скорость боксования колесной пары;

F_t , $F_{вн}$ — сила тяги, создаваемая колесной парой, и внешняя сила соответственно, последняя обусловлена трением и уклоном пути

$$\begin{cases} (J_к/k_M)\Delta\dot{\omega} + \Delta\omega = (PR_к/k_M)\Delta\psi; \\ F_t = (M_{зад} - PR_к\Delta\psi)/R_к; \\ \dot{V} = \frac{1}{(m_к + m_л + m_в)(1 + \gamma)} \left(\frac{M_{зад} - PR_к\Delta\psi}{R_к} - F_{вн} \right); \\ \varepsilon = \Delta\omega/\omega_v = \Delta\omega R_к/V; \quad \omega = V/R_к + \Delta\omega. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь k_M — коэффициент, учитывающий известное снижение приводного момента за счет развивающейся угловой скорости, в частности, боксования; $\Delta\psi$ — изменение коэффициента сцепления за счет влияния на него относительной скорости скольжения, подсыпки песка в зону контакта колеса с рельсом и внешнего возмущения; $M_{зад}$ — момент тяги, соответствующий управляющему воздействию машиниста; γ — коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс поезда.

Первое уравнение в системе (1) может быть выражено в линеаризованной форме:

$$\Delta\dot{\omega} \approx a_1\Delta\omega + a_2 - bu, \quad (2)$$

где $a_1 = -k_M/J_к + cPR_к^2/(J_кV)$;

$a_2 = M_{зад}/J_к - (\psi_{max} + \Delta\psi_{вн})PR_к/J_к$, $b = k_{п}PR_к/J_к$ — неизвестные параметры объекта управления при боксовании; c , $k_{п}$ — коэффициенты линеаризации зависимости $\psi(\varepsilon)$ и интенсивности подачи песка от управляющего сигнала u ; $u \in [0;1]$ — управляющее воздействие системы управления подсыпкой в виде степени открытия форсунки песочницы локомотива; $\Delta\psi_{вн}$ — уменьшение коэффициента сцепления за счет наезда на масляное пятно.

Адаптивный закон управления пескоподачей

В соответствии с [5;6] для формализации требования к свойствам боксования назначается неявная устойчивая эталонная модель, соответствующая апериодическому звену:

$$\begin{aligned} \Delta\dot{\omega}_м &= a_м(\Delta\omega_м - \Delta\omega_{зад}); \\ \Delta\omega_м(t_0) &= \Delta\omega(t_0); \\ \Delta\omega_{зад} &= \varepsilon_{кр} V/R_к. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $\Delta\omega_м$, $\Delta\omega_{зад}$ — модельное и заданное поведение угловой скорости боксования соответственно; t_0 — начальный момент времени боксования.

На основании сравнения зависимостей (2) и (3) можно сформировать закон управления форсункой. В силу неизвестности текущего значения параметров a_1 , a_2 , b этот закон, построенный на текущих оценках этих

параметров может быть выражен в виде («крышка» сверху символа обозначает его оценку):

$$u = -\hat{b}^{-1}[(a_m - \hat{a}_1)\Delta\omega - a_m\Delta\omega_{\text{зад}} - \hat{a}_2]. \quad (4)$$

Текущие оценки предлагается определять с помощью рекуррентного алгоритма Качмажа [10]:

$$\begin{cases} \hat{\theta}_i = \hat{\theta}_{i-1} + \eta_i y_i \mu_i; \mu_i = z_i - y_i^T \hat{\theta}_{i-1}; \\ \eta_i = \lambda / (y_i^T y_i + \vartheta), \end{cases} \quad (5)$$

Здесь индекс $i=1,2,3,\dots$ – указывает на дискретные

моменты времени с шагом Δt ; $\hat{\theta}_i = [\hat{a}_{1i}, \hat{a}_{2i}]^T$ – вектор искомых оценок; верхний индекс «т» означает транс-

понирование; $y_i = [\Delta\omega_i, 1]^T$ – вектор регрессоров, соответствующий искомым оценкам; μ_i – невязка иденти-

фикации; $z_i = \Delta\dot{\omega}_i + \hat{b}\mu_i$ – отклик объекта, где оценка

$\hat{b}$ определяется отдельно; $0 < \lambda \leq 1$ – назначаемый коэффициент усиления алгоритма; ϑ – малое положительное число, исключающее деления на нуль.

«Упрощенные» условия адаптируемости сводятся

к тому, чтобы $\hat{b}$ – оценка параметра при управлении в (4), в частности, удовлетворяла условиям [11;12]:

$$\text{sign}(\hat{b}) = \text{sign}(b); |b|/2 \leq |\hat{b}| \leq 2|b|; d\hat{b}/dt \rightarrow 0, \quad (6)$$

а невязка идентификации стремилась к нулю.

Считаем, что при адаптивном управлении реализовано непрерывное регулирование подачи песка в соответствии с (4), (5).

Модельные исследования

Они проводились в среде моделирования Matlab/Simulink.

Были построены две модели: со штатным законом управления пескоподачей, реализованной на локомотиве ВЛ85 и с адаптивным алгоритмом управления. Динамика обеих моделей описывалась системой (1) и соответствовала типовой конфигурации поезда [13]: локомотив ВЛ85 с 12 колесными парами, массой 282 т (максимальная тяга при трогании 945 кН), с общей массой поезда 6282 т; $R_k=0,625$ м, $J_k=2420$ кг·м²; $\gamma=0,05$; зависимость $\Delta\Psi_{\text{вн}}$ представлена на рис. 2.

Штатная система автоматической пескоподдачи работает по релейному принципу: реле боксования активирует реле времени, обеспечивающего включение пескоподдачи на 1–1,5 с; если по истечении этого времени боксование не прекратилось, то процедура повторяется [13]. Адаптивный закон управления формировался по зависимостям (4–6), с постоянным назначенным параметром b , соответствующим 50% ошибке по отношению к истинному значению.

В обе модели на выходе управляющего сигнала было добавлено аperiodическое звено с постоянной времени 0.1 с, имитирующее переходные процессы системы пескоподдачи.

Основные результаты приведены на рис. 2–4, где представлены параметры работы штатной системы (пунктирная линия) локомотива ВЛ85 и адаптивной системы управления пескоподачей на том же локомотиве (непрерывная линия), в режиме разгона (0...2.5 с) и в режиме наезда на масляное пятно (34...38 с).

Из рис. 2 видно, что штатная система работает хуже адаптивной в режиме разгона и допускает развитие боксования до 0.6 рад/с, при этом адаптивная система допускает боксование до 0.15 рад/с.

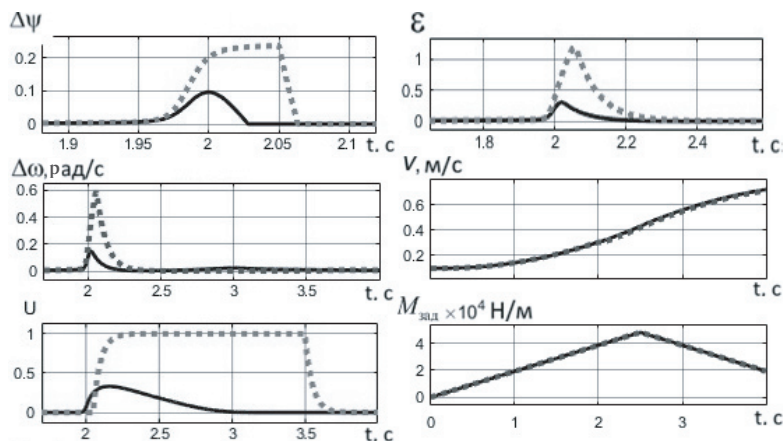


Рис. 2. Результаты исследования режимов боксования колесной пары в режиме разгона

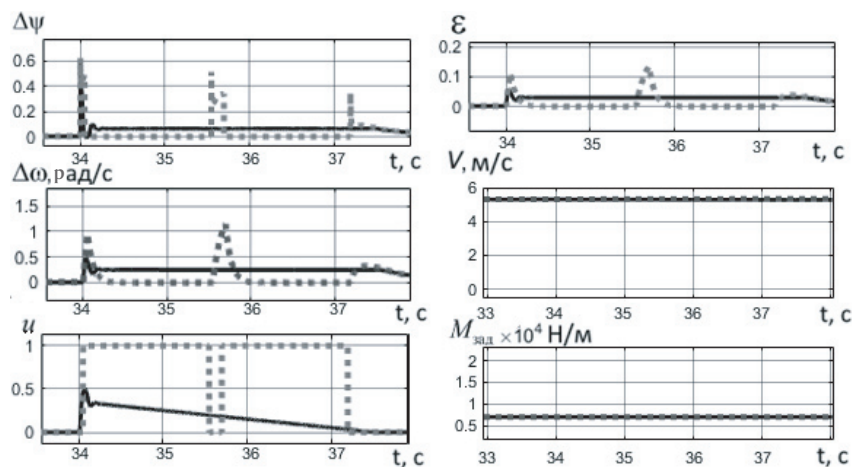


Рис. 3. Результаты исследования режимов боксования колесной пары в режиме наезда на масляное пятно

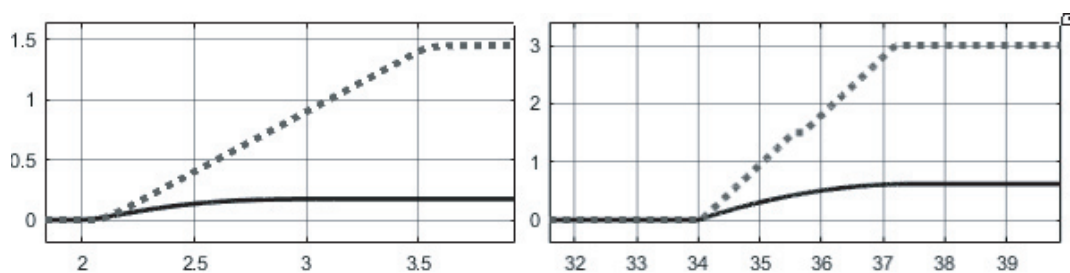


Рис. 4. Расход песковоздушной смеси

Из рис. 3 видно, что адаптивная система справляется лучше штатной, об этом говорит скорость боксования достигающая 0.4 рад/с по сравнению со штатной, достигающей 0.8 рад/с. Система моментально справляется с данным боксованием и поддерживает относительную скорость скольжения на уровне 0.02.

Это говорит о высокой эффективности адаптивного закона управления.

Так же был проведен расчет условно потраченного количества песка путем интегрирования сигнала с пескоподающей системы (см. рис. 3,4).

На рис. 4 видно, что затраты песковоздушной смеси при работе штатной системы (пунктирная линия) на порядок превышают затраты при работе адаптивной системы управления (непрерывная линия). Расход для каждого случая (разгон — слева, наезд на пятно — справа) считался отдельно. Это говорит о высокой

экономической эффективности адаптивного закона управления.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показывают более высокую эффективность адаптивной системы пескоподачи в сравнении со штатной: более быстрое гашение боксования при меньшем расходе песка. Следует указать, что такую систему управления пескоподачей на основе управляющего микроконтроллера можно построить на базе штатного оборудования локомотива. 

Работа выполнена в рамках государственного задания по государственной работе «Адаптивная система автоматического управления с повышенной эффективностью тормозами пассажирских и высокоскоростных поездов» № 121050600026-9 от 06.05.2021

Литература

1. Основные принципы управления системой противоюзовой защиты современного подвижного состава / Г.В. Гогричиани, А.В. Казаринов, В.В. Михеев, С.Б. Курцев. - Текст: непосредственный // Вестник ВНИИЖТ. - 2003. - №3. - С.14-21.
2. Патент RU 2347698 .C1.Российская Федерация МПКВ61С 15/10(2006.01). Устройство для импульсной подачи песка под колеса локомотива : № 2008105949/11 : заявл .2008.02.20 ; опубликовано 22.02.2008 / Дедов А.А., Ляпустин В.Н., Феоктистов В.П; закрытое акционерное общество «КРОНИД-ЭЛ» (RU) . - 8 с.: - Текст : непосредственный .
3. Патент RU 2351479 C2 МПК В60В 39/10(2006.01) . МПК В61С 15/10(2006.01) Устройство для контроля потока распыляемого материала в транспортных средствах : № 2006132398/11 : заявл .2005.02.02 : опубликовано 10.04.2009/ Бартлинг Вернер (DE) ; ФЭВЕЛЕ ТРАНСПОРТ (FR). - 7 с.: ил. - Текст : непосредственный.
4. Патент RU 2780751 C1, Способ адаптивного управления автоматической подачей песка под колеса локомотива : опубликовано 30.09.2022 / Круглов С.П., Исупов С.А ; ФГБОУ ВО ИрГУПС .
5. Адаптивная подсыпка песка на локомотиве / С. П. Круглов, С. В. Ковыршин, П. Ю. Иванов, С. А. Исупов. - Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. -2021. - № 2 (70). - С. 104- 112. - DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).
6. Kругlov, S.P., Kovyreshin, S.V., Isupov, S.A. Suppression of the Locomotive Wheelset Jamming by Means of Adaptive Sand Supply. Smart Innovation, Systems and Technologies, 2022, vol 272, pp. 689-700. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8759-4_72.
7. Самме, Г. В. Фрикционное взаимодействие колесных пар локомотива с рельсами. Теория и практика сцепления локомотива : монография / Г. В. Самме. - Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. - 104 с. - Текст : непосредственный.
8. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 09.02.2018 № 182/р. -516 с.- Текст : непосредственный.
9. Кузьмич, В.Д. Теория локомотивной тяги: учебник для вузов ж.-д. транспорта/ В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель ; под ред. В.Д. Кузьмича. - Москва : Маршрут, 2005. - 448 с.
10. Graupe D. Identification of Systems. Huntington, New York: Krieger. 1976. - 276 p.
11. Круглов,С.П. Адаптивная автоматизация пилотирования самолетом на больших углах атаки на основе упрощенных условий адаптируемости : монография / С. П. Круглов ; Иркутский фил. Московского гос. технического ун-та гражданской авиации (МГТУ ГА). - Иркутск : ИФ МГТУ ГА, 2012. - 248 с. - Текст : непосредственный.
12. Круглов С.П. Сходимость невязки идентификации в системе управления с параметрической адаптацией /С. П. Круглов. - Текст : электронный // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами . - 2019. - № 1.40 - С. 27-40. - URL <https://ismm.irgups.ru/shodimost-nevyazki-identifikacii-v-sisteme-upravleniya-s-parametricheskoy-adaptatsiey> .-Дата публикации : 20.02.2019 .
13. Электровоз ВЛ85 : Руководство по эксплуатации / Всесоюз. н.-и., проект.-конструкт. и технол. ин-т электровозостроения, Новочерк. электровозостроит. з-д. - Москва : Транспорт, 1992. - 480 с. - Текст: непосредственный.

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



К.А. Сергеев



О.И. Мироненко

В статье показано построение функциональной модели технологических процессов ремонта и технического обслуживания подвижного состава железных дорог, используемое при технологическом проектировании объектов и процессов вагоноремонтного производства. Описана общая методика вариантного проектирования.

Ключевые слова: технологические процессы, автосцепное оборудование вагонов, подвижной состав, технологическая документация

EDN: FNTZY

Для количественного исследования системы выделяется третий уровень описания объекта, который назовем «функциональным» (количественным).

Далее необходимо описать процесс создания структуры модели. Формирование структуры технологического процесса (ТП) на функциональном уровне будем проводить на базе теории множеств.

Функциональную модель объекта O (рисунок) опишем следующим образом:

$$O = \langle \Theta, P, \Pi \rangle \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \Theta &= \{\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_i, \dots, \Theta_n\}; \\ P &= \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n\}; \\ \Pi &= \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_i, \dots, \Pi_n\}; \\ \Theta_i &= \{\Theta_{i1}, \Theta_{i2}, \dots, \Theta_{ij}, \dots, \Theta_{iMi}\}, (\Theta_{ij} \in \Theta_i, 1 < j < Mi); \\ P_i &= \{P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ij}, \dots, P_{iSi}\}, (P_{ij} \in P_i, 1 < j < Oi); \\ \Pi_i &= \{\Pi_{i1}, \Pi_{i2}, \dots, \Pi_{ij}, \dots, \Pi_{iKi}\}, (\Pi_{ij} \in \Pi_i, 1 < j < Ki); \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где Θ — элементы объекта;

P — связи (ребра) системы;

Π — свойства элементов;

$\Theta_i = \{\Theta_{i1}, \Theta_{i2}, \dots, \Theta_{ij}, \dots, \Theta_{iMi}\}$ — элементы уровня № 1, $(\Theta_{ij} \in \Theta_i, 1 < j < Mi)$;

Сергеев Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технологическая подготовка производства вагоноремонтных предприятий. Автор 140 научных работ, в том числе двух монографий.

Мироненко Олег Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика систем, организация вагонной отрасли, дистанционные образовательные технологии. Автор 28 научных работ, в том числе четырех учебных пособий.

Кривич Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент, начальник Учебного отдела учебно-методического многофункционального центра Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности технологической подготовки вагоноремонтного производства, оценка потребительских свойств продукции железнодорожного транспорта. Автор 65 научных работ.

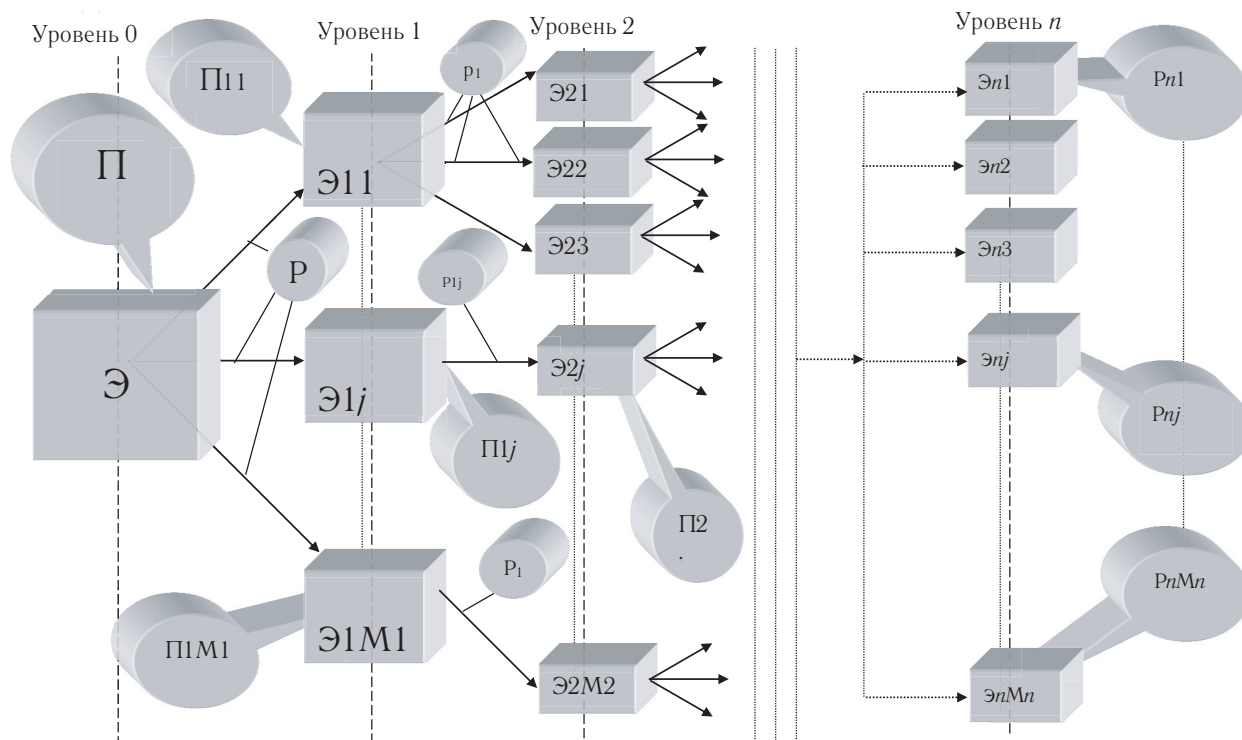


Рисунок. Структура функциональной модели

$\mathcal{E}_2 = \{\mathcal{e}_{21}, \mathcal{e}_{22}, \dots, \mathcal{e}_{2j}, \dots, \mathcal{e}_{2M2}\}$ – элементы уровня №2, ($\mathcal{e}_{2j} \in \mathcal{E}_2, 1 < j < M2$);

$\mathcal{E}_i = \{\mathcal{e}_{i1}, \mathcal{e}_{i2}, \dots, \mathcal{e}_{ij}, \dots, \mathcal{e}_{iMi}\}$ – элементы уровня № «i», ($\mathcal{e}_{ij} \in \mathcal{E}_i, 1 < j < Mi$);

$\mathcal{E}_n = \{\mathcal{e}_{n1}, \mathcal{e}_{n2}, \dots, \mathcal{e}_{nj}, \dots, \mathcal{e}_{nMn}\}$ – элементы уровня № «n», ($\mathcal{e}_{nj} \in \mathcal{E}_n, 1 < j < Mn$);

Mi – количество элементов i -го уровня.

$P_1 = \{p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1j}, \dots, p_{1S1}\}$ – связи элементов уровня №1, ($p_{1j} \in P_1, 1 < j < S1$);

$P_2 = \{r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2j}, \dots, r_{2S2}\}$ – связи элементов уровня №2, ($r_{2j} \in P_2, 1 < j < S2$);

$P_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ij}, \dots, p_{iSi}\}$ – связи элементов уровня № «i», ($p_{ij} \in P_i, 1 < j < Si$);

$P_n = \{p_{n1}, p_{n2}, \dots, p_{nj}, \dots, p_{nSn}\}$ – связи элементов уровня № «n», ($p_{nj} \in P_n, 1 < j < Sn$);

Sn – количество связей элементов уровня № «n»

$\Pi_1 = \{\pi_{11}, \pi_{12}, \dots, \pi_{1j}, \dots, \pi_{1K1}\}$ – свойства элементов уровня №1, ($\pi_{1j} \in \Pi_1, 1 < j < K1$);

$\Pi_2 = \{\pi_{21}, \pi_{22}, \dots, \pi_{2j}, \dots, \pi_{2K2}\}$ – свойства элементов уровня №2, ($\pi_{2j} \in \Pi_2, 1 < j < K2$);

$\Pi_i = \{\pi_{i1}, \pi_{i2}, \dots, \pi_{ij}, \dots, \pi_{iKi}\}$ – свойства элементов уровня № «i», ($\pi_{ij} \in \Pi_i, 1 < j < Ki$);

$\Pi_n = \{\pi_{n1}, \pi_{n2}, \dots, \pi_{nj}, \dots, \pi_{nKn}\}$ – свойства элементов уровня № «n», ($\pi_{nj} \in \Pi_n, 1 < j < Kn$);

Kn – количество свойств элементов уровня № «i»;

$\mathcal{e}_{ij}$ – обозначение элемента № «j» на уровне № «i»;

$p_{ij} = \{p_{ij}^{(1)}, p_{ij}^{(2)}, \dots, p_{ij}^{(\alpha)}\}$ – связи элемента № «j» уровне № «i»;

$\pi_{ij} = \{\pi_{ij}^{(1)}, \pi_{ij}^{(2)}, \dots, \pi_{ij}^{(\beta)}\}$ – свойства элемента № «j» уровне № «i»;

(α) – количество связей элемента № «j» на уровне № «i»;

(β) – количество свойств элемента № «j» на уровне № «i».

Наиболее эффективным подходом к моделированию ТП вагоноремонтного производства и созданию автоматизированной системы САПР ТП является блочно-иерархический метод.

Таким образом, разработанная методика построения функциональной модели позволяет повысить эффективность работы технических отделов ремонтных и эксплуатационных депо и ускорить сроки внедрения в производство новых технических средств и технологий.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОТОКОВ В СИСТЕМЕ ПОГРАНИЧНЫХ ПУНКТОВ ПРОПУСКА ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА «ПРИМОРЬЕ-2»



Р.Г. Король



А.С. Акельев

Динамика увеличения объемов грузов перевозимых в «восточном» направлении требует реализации комплексных решений по увеличению пропускной способности транспортной и терминально-логистической инфраструктуры. Проведена оценка загруженности пограничных пунктов пропуска международного транспортного коридора «Приморье-2», в частности, железнодорожного пограничного перехода «Махалино (РФ) — Хуньчунь (КНР)» и автомобильного пункта пропуска Краскино.

Ключевые слова: международные транспортные коридоры, имитационное моделирование, пограничные пункты пропуска

EDN: RJFFNQ

Нестабильность политической и экономической ситуации, вводимые противоэпидемиологические ограничения, оказывают влияние на формирование логистических цепей внешнеторговых поставок и устойчивое взаимодействие субъектов транспортного рынка, а также отражаются на реализации международных проектов по развитию транспортно-логистической инфраструктуры. Снижение объемов международных перевозок грузов по территории России на направлении «Китай — Европа — Китай» достигло 35%. Происходит перестройка транспортных маршрутов, преимущественно с «европейского» на «восточное» направление [1], что повлияло на функционирование транспортных компаний и загруженность транспортной и терминально-логистической инфраструктуры Дальнего Востока. За 11 месяцев 2022 года железнодорожные контейнерные перевозки через

Дальний Восток увеличились на 10,4%, составив 941 тысячу контейнеров, в том числе за счет «параллельного» импорта. Оптимистичный прогноз увеличения транзитных перевозок контейнеров железнодорожным транспортом к 2027 году составляет 4 миллиона контейнеров ежегодно. Грузооборот морских портов Дальневосточного бассейна за январь-ноябрь 2022 года увеличился на 1,6% и составил 209,4 млн тонн, контейнерооборот портов вырос на 8,6% до 1,88 млн контейнеров. По итогам ноября 2022 года контейнерооборот портов Дальневосточного бассейна составил 199,85 тыс. контейнеров, рост 5,7%, при этом в октябре 2022 года прирост составил 22,5% по сравнению с аналогичным периодом 2021 года [2]. В определенные периоды работы загруженность некоторых контейнерных терминалов дальневосточных портов достигала более 110%, при этом в ожидании обработки образу-

Король Роман Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология транспортных процессов и логистика» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: формирование и развитие приграничной транспортной и терминально-логистической инфраструктуры. Автор 80 научных работ.

Акельев Андрей Сергеевич, аспирант, преподаватель кафедры «Технология транспортных процессов и логистика» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: оптимизация функционирования терминально-логистической инфраструктуры. Автор четырех научных работ.

ются очереди из судов с десятками тысяч контейнеров на борту. При этом увеличиваются экспортные перевозки угля по железной дороге в адрес морских портов Дальнего Востока, в ноябре 2022 года рост составил 12,2%, относительно аналогичного периода 2021 года, до 8,5 млн тонн [3].

Для стабилизации сложившейся ситуации на железнодорожном транспорте применяют различные экономические решения: рассматривается повышение тарифов на контейнерные перевозки в «восточном» направлении с одновременным снижением тарифов на перевозки назначением в порты Северо-Западного региона; временно ограничивается прием к перевозке порожних контейнеров в направлении Дальнего Востока, а также выполняются технологические мероприятия: осуществляются перевозки контейнеров в полувагонах с предоставлением скидки, увеличивается количество контейнерных поездов для вывоза контейнеров. Значительное увеличение объемов грузо- и контейнеропотоков, транспортных средств и подвижного состава для обеспечения завоза и вывоза грузов, при недостаточном развитии транспортной и терминально-логистической инфраструктуры мультимодальных транспортных узлов Дальнего Востока, формулирует цель данной работы, как комплексный анализ пропускной способности сети наземных пограничных пунктов пропуска [4]. Задачами данного исследования являются анализ объемов внешней торговли Дальнего Востока, рассмотрение инфраструктурно-технологических ограничений, влияющих на международные перевозки грузов, а также имитационное моделирование работы подсистем транспортного коридора «Приморье-2».

На Дальнем Востоке расположено 86 пунктов пропуска через государственную границу, из которых 30 пунктов пропуска на данный момент не функционируют. За девять месяцев 2022 года было пропущено через дальневосточные пограничные пункты пропуска 135 млн тонн. В общем объеме внешней торговли субъектов Дальневосточного федерального округа России, грузооборот с Китайской Народной Республикой (КНР) составляет 73,5% (рис. 1). По итогам 11 месяцев 2022 года товарооборот между Россией и КНР составил 172,4 млрд долларов (+32% относительно аналогичного периода 2021 года), импорт товаров из КНР увеличился на 13,4%, составив 67,33 млрд долларов, экспорт товаров из России в КНР вырос на 47,5%, достигнув 105,07 млрд долларов [5]. При этом объемы внешней торговли России и КНР должны достигнуть к 2024 году 250 млрд долларов в год, что означает увеличение объемов перевозок через транспортную инфраструктуру Дальнего Востока.

Наибольшее количество морских и сухопутных пунктов пропуска, граничащих с КНР, находятся в Приморском крае. В 2022 году через пункты пропуска в Приморском крае перемещено 98% импортных и 50% экспортных грузов [5], по объемам товарооборота Приморский край занимает лидирующие позиции среди субъектов Дальнего Востока, с долей 27% от суммарного товарооборота региона (рис. 1). В Приморском крае функционируют 14 пограничных пунктов пропуска: 1 воздушный, 6 морских и 7 наземных, из которых 6 пунктов пропуска на границе с КНР: автомобильные пограничные переходы «Турий Рог — Мишань», «Пограничный — Суйфэнхэ»,

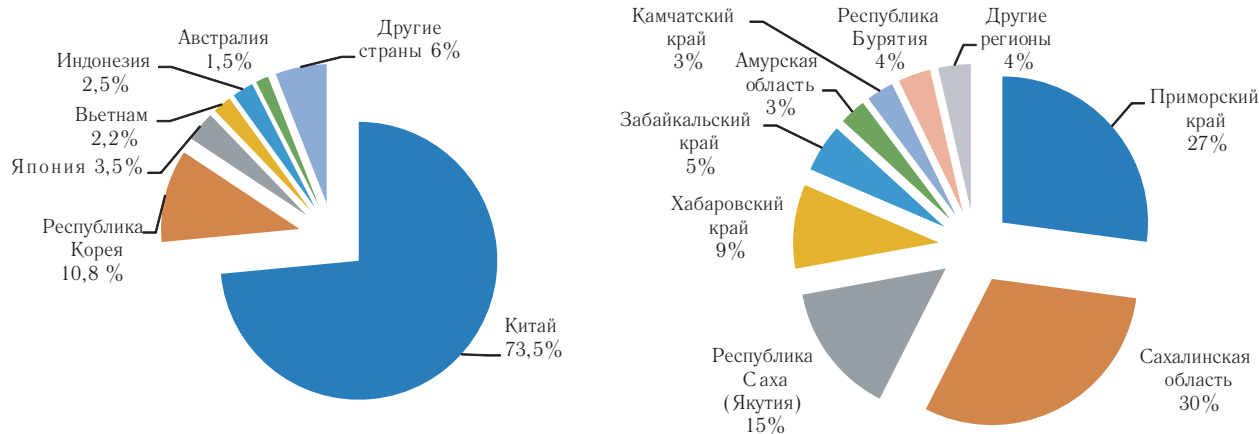


Рис. 1. Долевое участие стран-контрагентов во внешнеторговом грузообороте и разделение объемов товарооборота по субъектам Дальневосточного федерального округа в 2022 году

«Полтавка — Дуннин» и «Краскино — Хуньчунь», железнодорожные пограничные переходы «Гродеково — Суйфэньхэ» и «Махалино — Хуньчунь» [5].

Пограничный железнодорожный переход «Махалино — Хуньчунь» является базовым элементом международного транспортного коридора «Приморье-2» (МТК «Приморье-2»), который соединяет провинцию Цилинь (Чанчунь - Цилинь — Хуньчунь (КНР) с дальневосточными морскими портами Славянск, Зарубино и Посыет [6]. Действующий железнодорожный участок от пограничного перехода «Махалино — Хуньчунь» до припортовой станции Сухановка (Зарубино), протяженностью около 60 километров [7], позволяет формировать транспортно-логистические цепи, включающие перевозку грузов железнодорожным транспортом из Китая через территорию России в порт Зарубино, с дальнейшей перегрузкой в морские суда и доставкой в порты Японии и Республики Корея [8]. С 2014 года через пограничный переход «Махалино — Хуньчунь» осуществляется движение грузовых поездов с углем, с 2018 года транзитные железнодорожные контейнерные перевозки. В сентябре 2022 года через пограничный переход «Махалино — Хуньчунь» реализована перевозка сжиженного природного газа в цистернах [9]. С 28 марта 2022 года железнодорожный пограничный переход «Махалино — Хуньчунь» функционирует в круглосуточном режиме работы, что позволяет обрабатывать по 10 пар грузовых поездов в сутки [10].

На однопутном участке железнодорожной линии «Махалино — Хуньчунь» расположена межгосударственная передаточная станция Камышовая

(рис. 2), которая выполняет операции по передаче грузов и подвижного состава через государственную границу РФ с КНР. Железнодорожная станция Камышовая предназначена для выполнения операций по приему, отправлению поездов колеи 1520 мм, а также для выполнения пограничного и таможенного досмотра подвижного состава и локомотивов [11]. В рамках программы развития инфраструктуры Восточного полигона железных дорог, предусмотрена модернизация инфраструктуры пограничной станции Камышовая, включая увеличение количества станционных путей [12]. Согласно исследованию Института экономики и развития транспорта (ИЭРТ) от 02.08.2021 №12-02/202, прогнозируемые объемы перевозок через железнодорожный пограничный переход «Махалино — Хуньчунь» к 2024 году могут составить 4,2 млн тонн в год.

Международный транспортный коридор «Приморье-2», кроме железнодорожного пограничного перехода, включает многосторонний автомобильный пункт пропуска (МАПП) «Краскино» Хасанского района Приморского края (см. рис. 2) [13]. Пропускная способность МАПП «Краскино» составляет 48 транспортных средств в оба направления, при этом таможенный пост в интенсивные периоды работы обрабатывает до 130 автомобилей. На функционирование и пропускную способность пунктов пропуска оказывают влияние вводимые китайской стороной эпидемиологические ограничения, связанные с предотвращением распространения COVID-19 [14]. В результате вводимых ограничений увеличивается продолжительность таможенных процедур в пунктах пропуска и,

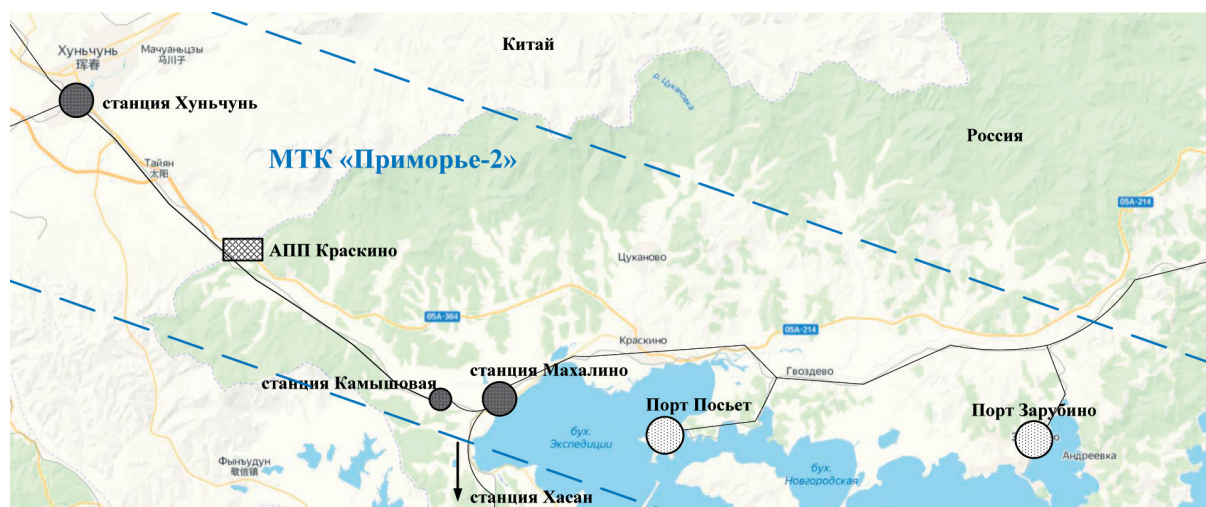


Рис. 2. Схема расположения транспортных объектов международного транспортного коридора «Приморье-2»

как следствие, происходит сокращение количества пропускаемого транспорта. Транспортные компании вынуждены перенаправлять автомобили на другие пункты пропуска, граничащие с провинциями КНР, где разрешен прием транспорта и груза из России. В определенные периоды 2020–2022 годов образовывались очереди грузовых автомобилей в ожидании пропуска через российско-китайскую государственную границу (рис. 3).

В настоящее время автомобильный пункт пропуска «Краскино» обеспечивает перемещение через государственную границу транспортных средств, количество которых превышает пропускную способность в три раза (рис. 4). Согласно данным Дальневосточного таможенного управления [5], увеличение загруженности пункта пропуска «Краскино» в ноябре 2022 года относительно сентября 2022 года составило 16%.

Увеличение интенсивности поступающего автотранспорта на пограничные пункты пропуска и введение ограничительных мер со стороны сопредель-

ных пунктов пропуска приводят к задержкам транспортировки товаров в логистических цепях [15]. Для повышения устойчивости внешнеторговых перевозок на российско-китайском пограничном переходе рассматривается возможность перераспределения грузопотоков между автомобильным и железнодорожным пунктами пропуска в зависимости от технических и технологических параметров их функционирования [16]. С целью исследования загруженности инфраструктуры и анализа пропускной способности пунктов пропуска на рассматриваемом пограничном переходе в Дальневосточном государственном университете путей сообщения была разработана программа имитационного моделирования работы совмещенного (железнодорожно-автомобильного) пограничного пункта пропуска [17]. Программа имитационного моделирования позволяет определить загруженность железнодорожной инфраструктуры приграничной станции (занятость путей сортировочного и приемо-отправочного парка, примыкающих путей грузовых

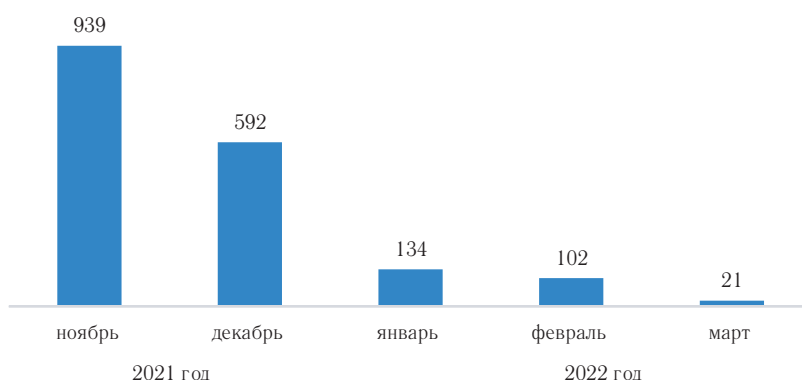


Рис. 3. Количество автомобильных транспортных средств (АТС), ожидающих пропуска на пограничном переходе «Краскино – Хунчунь» с ноября 2021 года по март 2022 года

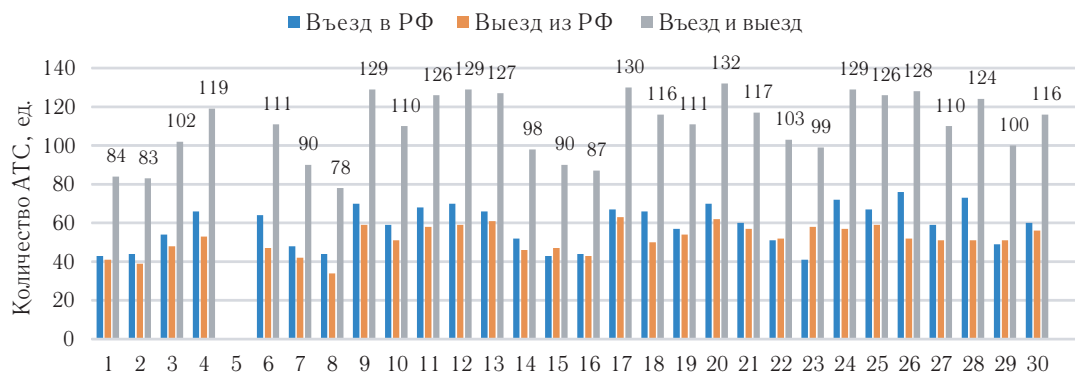


Рис. 4. Суточная загруженность автомобильного пункта пропуска «Краскино» в ноябре 2022 года

участков — крытых складов, открытых площадок) и пропускной способности автомобильного пункта пропуска с учетом его техническо-технологических возможностей (емкость склада временного хранения, количество подъемно-транспортной техники, время таможенного осмотра, количество арестованных и транзитных автомобилей).

В данной работе было произведено моделирование пропуска грузопотока через железнодорожный пограничный переход «Махалино — Хуньчунь» и автомобильный пункт пропуска «Краскино». Первый сценарий имитационного моделирования основан на существующем инфраструктурном оснащении железнодорожного пограничного перехода с учетом среднесуточных объемов работы станции Махалино — пропуск шести поездов, составом 30 вагонов, а также перемещением в обоих направлениях 110 автомобильных транспортных средств через пункт пропуска «Краскино» (рис. 5).

Результаты первого сценария имитационного моделирования (см. рис. 5) показывают значитель-

ную загруженность автомобильного пункта пропуска «Краскино» с образованием очереди транспортных средств из-за простоя в ожидании таможенных операций. Железнодорожный пункт пропуска станции Махалино имеет резерв пропускной способности за счет перехода таможенного поста на круглосуточный режим работы и реконструкции пограничной станции

С учетом неравномерной загрузки пунктов пропуска «Краскино» и «Махалино», а также продолжающейся технической реконструкции автомобильного пункта пропуска, рассматривается перенаправление части грузопотока с автомобильного транспорта на железнодорожный транспорт. Для реализации технологического решения необходимо создание транспортно-логистического центра с примыканием к приграничной станции Махалино, который будет обрабатывать внешнеторговые грузопотоки в направлении «Махалино — Камышовая — Госграница КНР» и «Махалино — Хасан — Госграница КНДР», следующие автомобильным и железнодорожным транспор-

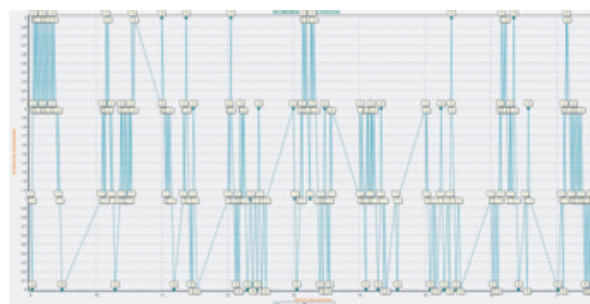
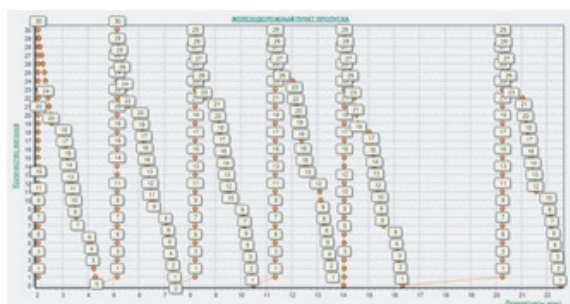


Рис. 5. Результаты имитационного моделирования загруженности железнодорожного пограничного перехода «Махалино–Хуньчунь» и автомобильного пункта пропуска «Краскино» на российско-китайской границе

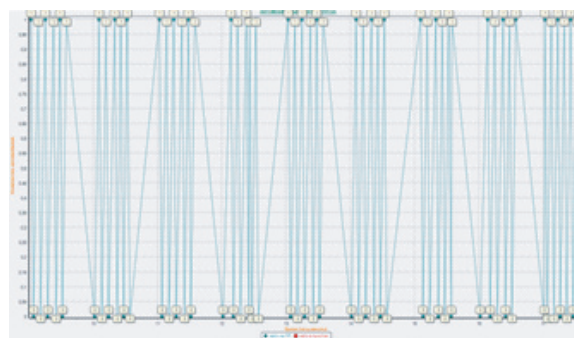
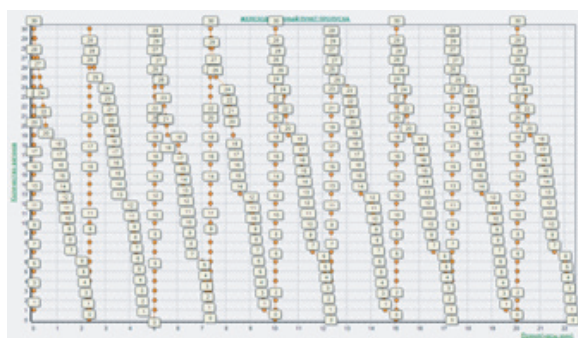


Рис. 6. Результаты имитационного моделирования загруженности железнодорожного пограничного перехода «Махалино–Хуньчунь» и автомобильного пункта пропуска «Краскино» с учетом перераспределения части грузопотока между пунктами пропуска

том. Второй сценарий моделирования (рис. 6) основан на существующем инфраструктурном оснащении пунктов пропуска и увеличении количества пропуска поездов через станцию Махалино, а также перемещением в обоих направлениях 50 автомобильных транспортных средств через пункт пропуска «Краскино».

Результаты второго сценария моделирования (рис. 6) показывают стабильное функционирование автомобильного пункта пропуска «Краскино» и увеличение загрузки железнодорожного пункта пропуска станции Махалино до 10 поездов, что сбалансирует технико-технологические возможности пунктов пропуска с количеством поступающих транспортных средств, а также позволит освоить пропуск дополнительных объемов грузопотока. Дальнейшие исследования направлены на моделирование этапности развития и усиления транспортной и терминально-логистической инфраструктуры пограничных пунктов пропуска разных видов транспорта в зависимости от грузонапряженности, а также имитацию различных сценариев распределения грузопотока между видами транспорта в рамках дальневосточных транспортных коридоров.

Комплексная оценка уровня загрузки пограничных пунктов пропуска «Махалино» и «Краскино» транспортного коридора «Приморье-2» при существующем инфраструктурном развитии и увеличении количества перемещаемых транспортных средств является актуальным исследованием, так как на сопредельной территории железнодорожного пункта пропуска «Хуньчунь» (КНР) планируется строительство контейнерного терминала с функцией «сухого порта» с выходом на морские терминалы России и КНДР [18].

Заключение

Сложившаяся геополитическая и экономическая обстановка серьезно отразилась на функционировании российской и мировой транспортно-логистической отрасли. Основные логистические тенденции — это переориентация внешнеторгового контейнеропотока с европейского на азиатско-тихоокеанское направление и увеличение объемов перевозок на альтернативных транспортных маршрутах, проходящих в обход транспортной сети России. Для оптимизации транспортных потоков и повышения эффективности использования транспортной и терминально-логисти-

ческой инфраструктуры международных транспортных коридоров в изменяющихся условиях внешней среды, необходимо провести анализ пропускной и перерабатывающей способности инфраструктурных элементов транспортных коридоров, сформировать этапность их развития, а также создать ситуационную карту транспортной сети региона для оперативного регулирования движения транспортных средств в международном сообщении. Решение первых задач возможно путем применения разработанной программы имитационного моделирования, с помощью которой определяются максимальные объемы обработки подвижного состава на пограничной станции и транспортных средств на автомобильном пункте пропуска при изменении параметров инфраструктуры и грузопотока. При этом в процессе моделирования не учитывается ряд технологических особенностей функционирования рассматриваемых пунктов пропусков, из-за отсутствия следующей информации: продолжительность процедур таможенного осмотра транспорта, затраты времени на перемещение транспортных средств между пунктами пропуска, временные интервалы поступления автомобильного транспорта. Доступ к перечисленным данным позволит получить более качественный анализ загрузки пунктов пропуска и выявить дополнительные резервы пропускной способности пограничного перехода.

Сегодня на Дальнем Востоке реализуются проекты по усилению пропускной способности пограничных пунктов пропуска путем модернизации и развития инфраструктуры. К 2025 году должно быть завершено строительство нового МАПП «Краскино» с пропускной способностью 750 транспортных средств, в 2024 году завершится реконструкция пункта пропуска «Марково» с возможностью пропуска 150 транспортных средств в сутки. После реконструкции МАПП «Пограничный» в 2025 году сможет обеспечить перемещение до 1300 автомобильных транспортных средств, также осуществляются ремонтные работы и оснащение современным оборудованием пунктов пропуска «Полтавка» и «Турий Рог» [19]. Поэтому актуальным является исследование вопросов сбалансированности пропускной способности транспортной инфраструктуры и пунктов пропуска при формировании международных транспортно-логистических цепей. 

Литература

1. Покровская, О. Д. Логистические транспортные системы России в условиях новых санкций / О.Д. Покровская. - Текст : электронный // Бюллетень результатов научных исследований. - 2022. - № 1. - С. 80–94. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/logisticheskie-transportnye-sistemy-rossii-v-usloviyah-novyh-sanktsiy/viewer>. - Дата публикации : 09.03.2022.
2. Контейнерооборот портов Дальневосточного бассейна в ноябре 2022 года вырос на 6% . - Текст : электронный // Морские вести России: сайт . - URL: <https://morvesti.ru/news/1679/99872/?ysclid=lnscsd689n4692547279> (дата обращения : 11.12.2022).
3. Экспортные перевозки угля по РЖД в российские порты в ноябре выросли на 12,1 % . - Текст : электронный // ИАА «ПортНьюс»: сайт . - URL: <https://portnews.ru/news/339895/?ysclid=lnscsg1m995-77136220> (дата обращения 11.12.2022).
4. Володин, А. Б. К вопросу об увеличении пропускной способности пунктов пропуска через государственную границу / А.Б. Володин. - Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы — 2019». ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. - Санкт-Петербург, 2019. - С. 47-50.
5. Внешняя торговля ДФО. - Текст : электронный // Дальневосточное таможенное управление : официальный сайт. - URL: https://dvtu.customs.gov.ru/statistic/2021-god/Itogovaya_informaciya (дата обращения: 15.05.2022).
6. Петраков, В. В. Международные транспортные коридоры «Приморье-1» и «Приморье-2»: текущее состояние и перспективы / В. В. Петраков, А. Л. Лукин. - Текст : непосредственный // Известия Восточного института. - 2018. - №3 (39). - С. 88-94.
7. Махалино ждет полная загрузка. - Текст : электронный // Сетевое издание «Золотой Рог — пресса» («Zrpress»): сайт. - URL: <https://zr.media/news/2020-08-06/mahalino-zhdet-polnaya-zagruzka-1198535> (дата обращения: 15.12.2022).
8. Анисимов, В. А. МТК «Приморье-2» укрепит сотрудничество с АТР / В. А. Анисимов, Л. А. Богданова. - Текст : непосредственный // Сборник трудов конференции «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2019)». - 2020. - С. 53-57.
9. Первый поезд с российским сжиженным газом отправился в Китай через пункт пропуска Махалино — Хунчунь. - Текст : электронный // Информационно-аналитический портал Neftgaz.RU: сайт. - URL: <https://neftgaz.ru/news/transport-and-storage/750096-pervyy-poezd-s-rossiyskim-szhizhennym-gazom-otpravilsya-v-kitay-cherez-punkt-propuska-makhalino-khun/> (дата обращения: 16.12.2022).
10. Пограничный пункт пропуска Махалино в Приморье перешёл на круглосуточный режим работы. - Текст : электронный // Сетевое издание «Интерфакс-Россия»: сайт. - URL: <https://www.interfax-russia.ru/far-east/news/zheleznodorozhnyy-punkt-propuska-mahalino-v-primore-pereshel-na-kruglosutochnyy-rezhim-raboty?ysclid=la7e1ocq3965827835> (дата обращения: 16.12.2022).
11. Проблемы и перспективы развития транзитного потенциала МТК «Приморье-1» и «Приморье-2» / С. М. Гончарук, Вл. А. Анисимов, Н. С. Нестерова, М. В. Холоша. - Текст : непосредственный // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы». В 3 томах. Том 3 ; под редакцией С.М. Гончарука. - Хабаровск : Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2015. - С. 30-33.
12. ЖД приступают в Приморье к реконструкции пункта пропуска в Китай на фоне роста перевозок. - Текст : электронный // Министерство транспорта Российской Федерации: официальный сайт. - URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/branch-news/933?ysclid=lncw2fjac9985931612> (дата обращения: 15.12. 2022)
13. Яци Ли. Перспективы развития МТК «Приморье-1» и «Приморье-2» / Ли, Яци. - Текст : непосредственный // Вестник транспорта. - 2020. - № 12. - С. 42-44.
14. Лисица, А. А. Опыт российско-китайского приграничного таможенного сотрудничества по стабилизации цепочек поставок в условиях пандемии COVID - 19 / А.А. Лисица // Развитие таможенного дела Российской Федерации: дальневосточный вектор. - URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-rossiysko-kitayskogo-prigranichnogo-tamozhennogo-sotrudnichestva-po-stabilizatsii-tsepochek-postavok-v-usloviyah-pandemii?ysclid=lncyanpii0526204656> (дата обращения 05.10.2023).
15. Методика определения пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных пограничных пунктов / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков, С. Б. Лёвин, А. В. Астафьев, В. А. Садчикова. - Текст :

непосредственный // Транспорт : наука, техника, управление. Научный информационный сборник . - 2022. - №3. - С. 8-13.

16. Король , Р. Г. Моделирование терминально-логистических процессов переработки внешнеторговых грузов на пограничной станции Гродеково / Р.Г.Король, О.Н.Числов . - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). - 2022. - Т. 81. -№ 3. - С. 258-266.

17. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022616668. Российская Федерация: заявка № 2022615810 от 04.04.2022, зарегистрировано . 15.04.2022. Программа имитационного моделирования работы совмещенного (железнодорожно-автомобильного) пограничного пункта пропуска / Р.Г.Король . - Текст : непосредственный.

18. Ли , Ч. Исследование проблем и ответных мер трансграничного логистического канала России в контексте зоны свободной торговли Хэйлунцзяна / Ч .Ли Ч., Яо Яо., С. Чжан . - Текст : непосредственный // Russian Economic Bulletin. -2021. - Т. 4 ,№ 2. -С. 104-109.

19. В Приморье модернизируют погранпереходы к 2024-2025 годам . - Текст : электронный // Новостной портал г. Владивосток. - URL: <https://primamedia.ru/news/1338855/> (дата обращения: 18.12.2022).

О ДВОЙСТВЕННОЙ СУЩНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



П.А. Козлов



И.С. Абдуллаев

Железнодорожный транспорт имеет двойственную сущность – как системы и как элемента системы «народное хозяйство». Во втором случае его функция – обеспечение экономических связей страны надежными и эффективными транспортными связями. Формирование структуры следует рассматривать с функциональных позиций. Это важно учитывать при проектировании инфраструктуры и при организации работы.

Ключевые слова: транспорт, структура, функция, поток, железная дорога, полигон

EDN: XSPPQI

В статье предпринята попытка выполнить структурно-функциональный анализ железнодорожного транспорта с теоретических позиций.

Теоретическое исследование имеет свои особенности. Рассуждения ведутся на высоком уровне общности. Достаточно общими должны быть и употребляемые понятия. Здесь не ставится задача решения определённой технологической задачи в конкретных условиях. Исследуются сущность, принципы, закономерности процессов. К сожалению, об этом часто забывают и под теорией понимается некоторый набор полезных для практики технологических рацпредложений.

Конечно, теоретическое исследование должно иметь «и» практическую направленность. Как говорил в прошлом веке известный мыслитель в нашей стране: «нет ничего практичнее хорошей теории». Корректная теория поможет выбирать направления, принципы, методы совершенствования рассматриваемого объекта (класса объектов). Герцен говорил по этому поводу: «метода важнее всякой суммы знаний» [1].

Основные подходы

В качестве теоретической основы исследования выбран системный подход, предложенный в [2–4].

Козлов Пётр Алексеевич, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ, президент научно-производственного холдинга «СТРАТЕГ» (Современные транспортные технологии государства). Область научных интересов: системный подход, оптимизация транспортных процессов, моделирование, расчет и оптимизация транспортных систем. Автор более 400 научных работ, в том числе двух монографий.

Абдуллаев Ильдар Салимович, кандидат технических наук, заместитель начальника Управления комплексной экспертизы проектов ОАО «РЖД». Область научных интересов: поиск оптимального решения по развитию железнодорожной инфраструктуры и рациональной этапности его реализации, применение инновационных технологий на железнодорожном транспорте. Автор шести научных работ.

Осокин Олег Викторович, кандидат технических наук, вице-президент научно-производственного холдинга «СТРАТЕГ». Область научных интересов: транспортные и транспортно-технологические системы страны, её регионов и городов, организация производства на транспорте, управление процессами перевозок, системный анализ, управление и обработка информации. Автор 23 научных работ.

Понятие «система» стало удобным термином, применяемым в самых разных условиях с различным содержанием смыслом [5]. Здесь исходили из положения, сформулированного А.И. Герценом «метода «вытекает» из объекта, а не приносится к нему внешним случайным образом» [6]. Рассматриваемый системный подход был как бы «подсмотрен» в природе. Он является, по сути, принципом устойчивого и эффективного построения организованной материи.

Определение понятия «система» в этом случае звучит так: «Система — это целостное образование с активным самоподдержанием, при этом элементы тоже являются системами».

В этом случае следует отметить два аспекта.

Первый. Активное самоподдержание. Значит, устойчивость системы обеспечивается в первую очередь адаптивностью, активным саморегулированием. При этом возникают так называемые динамические резервы, которые по функции замещают резервы фактические, статические [7]. Такой подход обеспечивает эффективность функционирования объектов, построенных по системному принципу.

Второй. Элементы тоже являются системами. Возникает противоречие. Как система, элемент должен иметь свою системную функцию и механизмы ее поддержания. А как элементу — ему функцию определяет надсистема. И для той, второй, функции у него тоже должны быть механизмы активного поддержания.

Основной проблемой будет в этом случае нахождение гармонии между двумя функциями.

Итак, железнодорожный транспорт имеет двойственную сущность:

- как самостоятельная система;
- как элемент системы «народное хозяйство».

То есть существуют две функции, объединенные в одну двойственную.

Существует принципиальное экономическое отличие в этих двух функциях. При рассмотрении железнодорожного транспорта как независимой системы потери на стыке «транспорт-производство» относятся на производство, а при второй функции — на транспорт. Для второй функции это естественно. Экономическая связь заканчивается не на железнодорожной станции, а на предприятии (рис. 1).

Железнодорожный транспорт как система

Как система, железнодорожный транспорт будет конкурировать с другими видами транспорта — автомобильным, речным, морским (Северный морской путь и Транссиб), авиационным. Забегая вперед, скажем, что как элементы народного хозяйства, эти

транспортные системы должны работать согласованно для транспортного обеспечения экономических связей. Ведь обеспечение может быть «много-транспортным». Скажем, по экономической связи сначала работает автомобильный транспорт, потом железнодорожный, потом снова автомобильный. И здесь должна вступать в действие организующая деятельность системных интеграторов.

Структуру железнодорожного транспорта как системы можно представить в следующем виде (рис. 2).

Здесь «выпали» отделения дороги. С теоретической точки зрения они не имеют достаточно самостоятельной функции. Отделение представляет собой, по сути, некоторый «кусочек» структуры, вырезанный достаточно произвольным образом для облегчения руководства персоналом.

В самом общем виде функцию железнодорожного транспорта можно сформулировать как «перевозки». На перевозках система зарабатывает средства для поддержания своей деятельности. От какого отправителя и к какому получателю идут перевозки и с каким именно грузом для этой функции в общем-то не имеет принципиального значения.

Ресурсы распределяются между дорогами, а те в свою очередь выделяют их станциям.

Самоподдержание в этом случае — это:

- первое — поддержание в работоспособном состоянии путевого хозяйства, устройств автоматики, локомотивного и вагонного хозяйства, а также профессионального уровня работников;
- второе — поддержание параметров пропускания и переработки потоков на требуемом уровне.

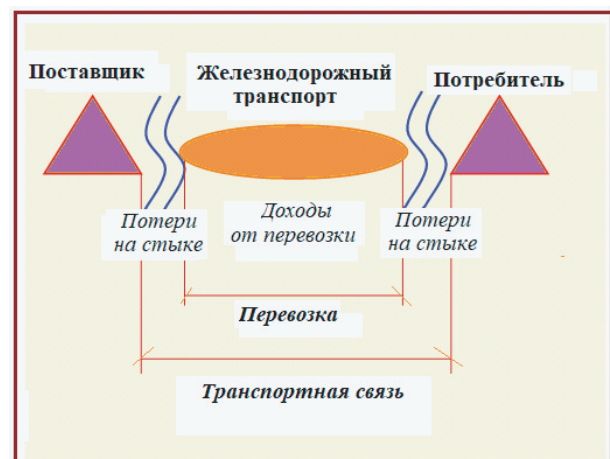


Рис. 1. Двойственная сущность железных дорог

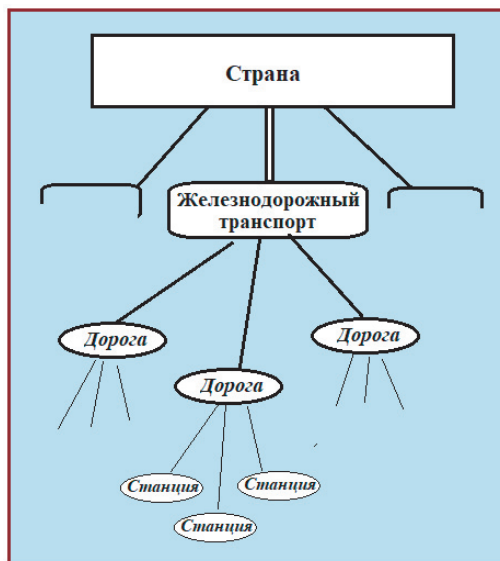


Рис. 2. Структура железнодорожного транспорта как системы



Рис. 3. Функциональная структура железнодорожного транспорта

Работе железнодорожного транспорта, как самостоятельной системы, посвящено много исследований; требования к его деятельности закреплены в утверждённых инструкциях. Поэтому в этой работе основное внимание будет уделено его второй функции.

Железнодорожный транспорт как элемент системы «народное хозяйство»

В этом случае его функцию можно определить как «обеспечение экономических связей страны надёжными и эффективными транспортными связями». Примерно об этом уже говорится и в официальных документах: «Железные дороги обеспечивают единство территории России, обеспечивая динамичность развития хозяйственных связей в стране» [7].

В системном подходе часто упоминается такое (правомерное) положение: «структура — есть застывшая функция». Значит, если изменилась функция, должно измениться и понятие «структура».

Уровень железнодорожного транспорта в целом

Структуру железнодорожного транспорта предлагается теперь представлять как совокупность полигонов (см. рис. 3). Это будет функциональная структура.

Во второй роли транспорта важно теперь:

- от какого отправителя;
- к какому получателю;
- в каких составах доставляется груз.

И не только это, но и с какой скоростью составы продвигаются, и в каком ритме прибывают. То есть теперь вместо понятия «перевозка» появляется законченный функциональный процесс.

Так вот под полигоном понимается часть структуры, которая обеспечивает один законченный технологический процесс. Когда мы говорим законченный, то рассматриваем процесс как независимую отдельную единицу. Это удобно при логическом рассмотрении. Хотя независимость, конечно, всегда относительна. Ибо в системе все взаимосвязано.

Для функционального структурирования предлагается такой подход.

Железнодорожный транспорт в целом — это совокупность функциональных полигонов. Это означает, что для каждой экономической связи страны на железнодорожном транспорте имеется структурно-функциональное транспортное обеспечение. То есть можно сказать — для этой экономической связи существует транспортный функциональный полигон.

На этом уровне не рассматриваются конкретные дороги и участки сети. Субъектам экономического взаимодействия важен сам факт транспортной обеспеченности. Если транспортная обеспеченность гарантируется, то можно организовывать экономическое взаимодействие.

По функциональным полигонам следят не за движением поездов, а за продвижением составов с грузом. И осуществляется регулирование продвижением составов системными интеграторами [9]. Поезда рассматриваются уровнем ниже.

Можно сказать, что при функциональном подходе, мы смотрим на железнодорожный транспорт глазами субъектов экономического взаимодействия.

Можно подразделить функциональные каналы на внутренние и международные. Внутренние — это когда потребитель находится внутри страны, а международные — когда за рубежом. Существует некоторая разница в требованиях по пропуску потоков.

Уровень железной дороги

Когда функциональный полигон «опускается» на уровень дороги, ему должен соответствовать некоторый дорожный полигон. Но дорожный полигон будет уже структурно-функциональным. Ибо теперь функциональный полигон будет проходить по реальной дорожной структуре, что называется, «по рельсам».

Термин «структурно-функциональный» — труднопроизносимый, удобнее заменить его на термин «структурный» с тем же содержательным значением.

Итак, с функциональной точки зрения дорога представляет собой совокупность структурных каналов (рис. 3).

Естественно, по каждому структурному каналу должно быть организовано поездное движение.

Таким образом, структурный полигон — это часть структуры дороги, которая обеспечивает пропуск одного функционального полигона, или один законченный транспортный процесс. И значит, каждый функциональный канал реализуется через определённую последовательность каналов структурных.

Функциональные потоки могут начинаться и заканчиваться за пределами дороги или внутри её (рис. 4).

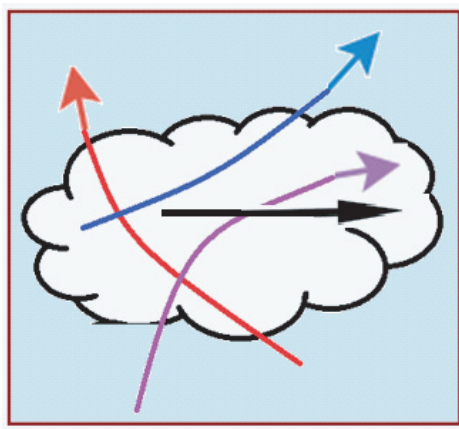


Рис. 4. Потоки на дороге

Для успешного пропуска потока каждый полигон должен иметь достаточную пропускную способность:

$$d_{ij} \geq u_{ij}^* + \delta u_{ij}^*, \quad (1)$$

где d_{ij} — пропускная способность (ij -го) полигона;

u_{ij}^* — средняя величина (ij -го) потока,

δ — коэффициент резерва пропускной способности полигона, необходимого для пропуска колеблющегося по величине потока.

Но функциональные полигоны могут проходить совместно по части структурных каналов. И, значит, пропускная способность этих частей должна быть достаточной для пропуска. Вот как выглядит, например, структура потоков на Свердловской дороге (рис. 5).

Назовем эти части каналами (рис. 6).

Тогда канал — это часть структуры дороги, имеющая одинаковую пропускную способность на всем протяжении

$$d_k = \text{const}. \quad (2)$$

С этой точки зрения дорогу можно представить как совокупность каналов.

Для успешного пропуска потока канал должен иметь достаточную пропускную способность:

$$d_k \geq \sum_k u_{ij}^k + \delta \sum_k u_{ij}^k, \quad (3)$$

где u_{ij}^k — средний ij -й поток, проходящий по k -му каналу.

Резерв пропускной способности канала на общий поток не равен сумме резервов на отдельные потоки, так как одновременных «всплесков» по всем потокам не бывает, происходит усреднение.

Но в работе железнодорожного транспорта могут возникать нарушающие воздействия n -го типа ω_k^n , которые понижают пропускную способность каналов d_k .

В этом случае на дороге должны быть восстанавливающие воздействия такого же типа v_k^n , которые поддерживают исходную пропускную способность:

$$\forall |(\omega_k^n) \exists | (v_k^n). \quad (4)$$

Совокупность зависимостей (1–4) означает устойчивое состояние дороги S^* .

В работе дороги, кроме пропуска и переработки потоков, необходимо поддерживать ее устойчивое состояние:

$$S(t) \rightarrow S^*. \quad (5)$$

Тогда она будет готова принимать потоки по функциональным полигонам со случайными отклонениями.

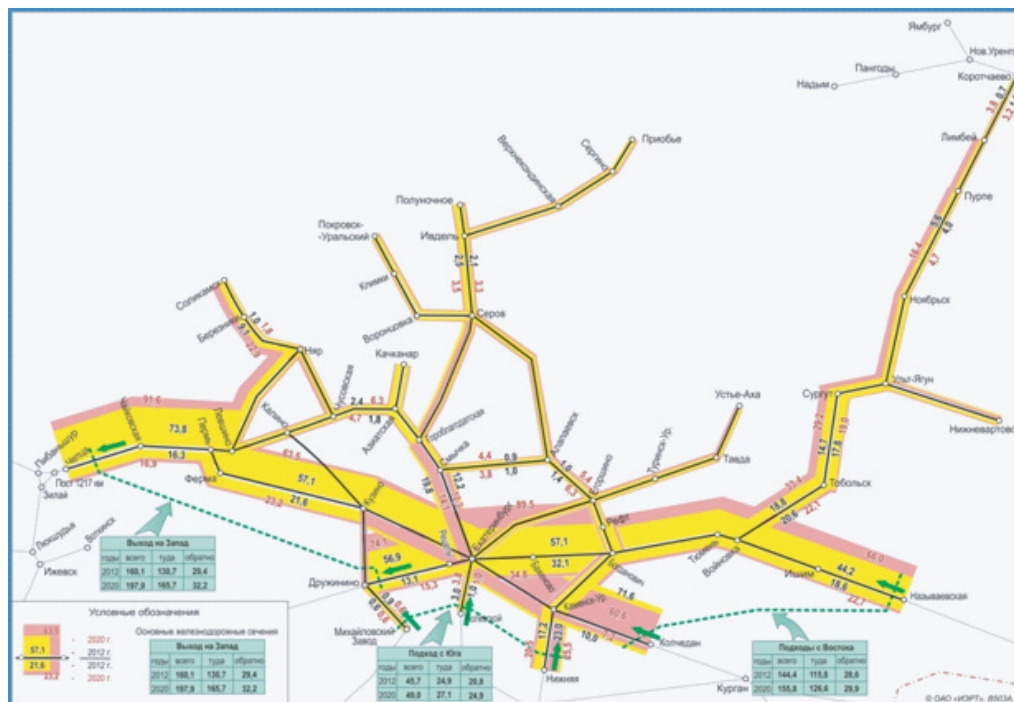


Рис. 5. Потоки от функциональных полигонов на Свердловской дороге

Уровень железнодорожной станции

С функциональной точки зрения станция представляет собой просто канал (см. рис. 3).

Проблема соответствия структуры и технологии железнодорожного транспорта его двойственной сущности

Построению структуры и технологии железнодорожного транспорта, как самостоятельной системы,

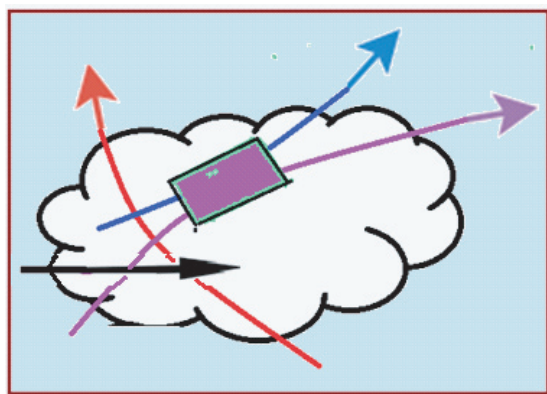


Рис. 6. Канал на структуре дороги

посвящено много работ. Поэтому особое внимание следует уделить влиянию на все процессы его второй функции.

Например, для того, чтобы снизить потери из-за существенных всплесков потоков руды и угля на металлургические заводы необходимо управлять их подвозом. Вариантов там огромное множество, так что нужны соответствующие оптимизационные модели и регулятор.

Говоря о соответствии структуры новой функции, вспомним тезис «структура есть застывшая функция». Значит, можно ожидать каких-то изменений в принципах построения и расчёта транспортной инфраструктуры.

Пример. Для уменьшения простоев составов перед портами можно применить построение управления потоками. Но для этого на полигонах нужно иметь дополнительные резервы пропускной способности.

А в управлении работой функциональных полигонов возрастает роль системных интеграторов [8].

Но для освещения этих вопросов требуется отдельная статья.



Литература

1. Герцен , А.И. Письма об изучении природы / А.И . Герцен . - Москва : ОГИЗ - Госполитиздат, 1944. - 200 с. - Текст : непосредственный .
2. Козлов , П.А. О системах и системности на транспорте / П.А.Козлов . - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2016. - № 2. - С. 3 - 8.
3. Козлов , П.А. Системные исследования — новый подход / П.А.Козлов . - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2014. - № 1. - С. 46-50.
4. Козлов , П.А. Об экономической сущности транспорта /П.А. Козлов , В.П. Козлова , О.В. Осокин. - Текст : непосредственный // Транспорт : наука, техника, управление. Научный информационный сборник. - 2020. - № 2. -С. 57-59.
5. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1980. - Москва : Наука , 1981. - 424 с.- Текст : электронный . - URL : https://systems-analysis.ru/assets/systems_research_1980.pdf (дата обращения : 16.08.2023).
6. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / Н.В. Правдин, С.П.Вакуленко, А .К.Головнич [и др] ; под ред. Н.В. Правдина, С.П. Вакуленко .- Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. - 1086 с. - Текст : непосредственный.
7. Козлов, П.А. Системная интеграция в области перевозок / П.А.Козлов , П. А. , Н.А. Тушин . - Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2010.- № 9 . - С. 68-70.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ



В.И. Чеботарев



Б.И. Давыдов

В настоящей работе последовательность отклонений отправления и прибытия на станции рассматривается как цепь Маркова. Каждое звено этой цепи имеет матрицу переходных вероятностей, используя которую авторы определяют индекс эффективности. На основе этой числовой характеристики разработан метод оценки качества регулирования движения транспортных средств. Показано, что оценки, полученные с помощью предложенного метода, согласуются с оценками другого, более раннего метода.

Ключевые слова: стохастическая модель, отклонение от графика, цепь Маркова, матрица перехода

EDN: NZAVOU

Транспортные средства в процессе движения подвергаются случайным влияниям, что может нарушать их расписание отправок и прибытий в пункты плановых остановок. В настоящей статье для определенности рассматривается железнодорожный транспорт. Инструментом, позволяющим поддерживать высокий уровень пунктуальности, служит оперативное управление.

1. Введение

В работе авторов [1] был описан метод оценки динамики нарушений расписания, суть которого сводится к исследованию поведения средних отклонений от графиковых моментов отправок и прибытий при

движении поезда по маршруту. Этот метод позволяет также давать оценку эффективности корректирующих действий диспетчеров, станционного персонала и машинистов.

В настоящей работе предлагается другой подход к определению качества оперативного управления. Он основан на той идее, что последовательность опозданий при отправлениях и прибытиях можно понимать как цепь Маркова (см., например, [2;3]). Обзор работ, в которых эксплуатируется так называемое марковское свойство, можно найти в [4, с. 8].

Используя начальные понятия теории цепей Маркова, мы вводим в рассмотрение числовую характеристику, по которой можно судить об эффектив-

Чеботарев Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Вычислительного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Хабаровского федерального исследовательского центра ДВО РАН. Область научных интересов: теория вероятностей и ее применения. Автор 77 научных работ, в том числе одной монографии и трех учебников.

Давыдов Борис Исаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Дальневосточного государственного университета путей сообщения. Область научных интересов: проблемы управления в транспортной отрасли; моделирование транспортных объектов и процессов. Автор 115 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет семь патентов на изобретения.

Каблукова Ксения Сергеевна, младший научный сотрудник Вычислительного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Хабаровского федерального исследовательского центра ДВО РАН. Область научных интересов: математическое моделирование, вычислительная математика. Автор 19 научных работ, в том числе одной монографии.

ности управлением временами хода и стоянок. Мы назвали ее индексом эффективности регулирования или, коротко, индексом эффективности.

Оказалось, что методы согласуются друг с другом (см. раздел 8). Их можно рассматривать как два разных подхода к определению эффективности регулирования.

2. Введение математических обозначений

Предположим, что железнодорожная линия состоит из N станций. Обозначим их номерами $1, 2, \dots, N$ по порядку, начиная с первой. Пунктуальность движения будем описывать в терминах отклонений от расписания отправок и прибытий на станции.

Отклонение от графика при прибытии на станцию j обозначим ξ_j . Для отклонения от графика при отправлении со станции j будем использовать обозначение δ_j . Последовательность случайных величин

$$\delta_1, \xi_2, \delta_2, \xi_3, \dots, \delta_{N-1}, \xi_N \quad (1)$$

дает полную информацию об уровне точности соблюдения расписания прибытий и отправок на рассматриваемой линии. Действительно, пара случайных величин $\{\delta_j, \xi_{j+1}\}$ характеризует уровень пунктуальности при отправлении со станции j и прибытии на следующую станцию. В то же время, пара $\{\xi_j, \delta_j\}$ отвечает за точность времени прибытия на станцию j и точность времени отправления с нее. Нетрудно видеть, что число элементов последовательности (1) зависит от числа станций N на линии и равно $2N-2$.

Заметим также, что если бы расписание выполнялось, то все величины в (1) были бы равны нулю. Однако, в действительности, из-за случайных факторов их значения часто отличаются от нуля. Диспетчеры и машинисты стараются влиять на отклонения (1) с целью минимизации их абсолютных величин.

В настоящей работе предлагается ответ на вопрос: как характеризовать эффективность указанных регулировочных действий. Для этого в разделе 4 делается переход от случайных величин из последовательности (1) к более простым дискретным случайным величинам, которые используются для решения поставленной задачи.

3. Структура работы

В разделе 4 вводится цепь Маркова с конечным числом состояний. В разделе 5 формулируется задача сравнения переходных матриц и описывается соответствующий критерий. В разделе 6 доказывается математическое утверждение, которое приводит к железнодорожной интерпретации переходных матриц (раздел 7). В разделе 8 предложенный метод применяется

для железнодорожной линии Тверь—Москва. Там же проводится сравнение двух методов характеристики эффективности диспетчерского регулирования.

4. Определение цепи Маркова по последовательности (1)

Предположим, что объединение всех возможных значений, которые могут принимать случайные величины из последовательности (1), является интервалом (a, b) (который может быть и бесконечным). Разобьем (a, b) на $K \geq 2$ непересекающихся интервалов:

$$(a, b) = (a_0, a_1) \cup [a_1, a_2) \cup \dots \cup [a_{K-1}, a_K), \quad (2)$$

где $a_0 = a$, $a_K = b$. Каждому интервалу $[a_{s-1}, a_s)$ из (2) сопоставим номер s , $1 \leq s \leq K$. Ради строгости рассуждений отметим, что исходный интервал может быть замкнутым промежутком $[a, b]$, а интервалы разбиения с концами a_{s-1} , a_s можно выбирать как открытыми, полуоткрытыми, так и замкнутыми промежутками (см. раздел 8). Обозначим

$$S = \{1, 2, \dots, K\}. \quad (3)$$

Опишем процедуру перехода от исходной последовательности (1) к обещанной в разделе 2 последовательности $2N-2$ дискретных случайных величин

$$X_1, X_2, \dots, X_{2N-2}, \quad (4)$$

принимающих значения в S . Заметим, что номера случайных величин из (4) определяются номерами случайных величин из (1) при их сквозной нумерации. Определим X_1 : случайная величина X_1 принимает значение s ($s \in S$) тогда и только тогда, когда $\delta_1 \in [a_{s-1}, a_s)$, т.е. $X_1 = s \Leftrightarrow \delta_1 \in [a_{s-1}, a_s)$. Случайная величина X_2 определяется с помощью случайной величины ξ_2 (следующей по порядку в (1)): $X_2 = s \Leftrightarrow \xi_2 \in [a_{s-1}, a_s)$. Продолжая, получим всю последовательность (4): для каждого $s \in S$

$X_1 = s \Leftrightarrow \delta_1 \in [a_{s-1}, a_s)$, $X_2 = s \Leftrightarrow \xi_2 \in [a_{s-1}, a_s)$, $X_3 = s \Leftrightarrow \delta_2 \in [a_{s-1}, a_s)$, и т.д., $X_{2N-3} = s \Leftrightarrow \delta_{N-1} \in [a_{s-1}, a_s)$, $X_{2N-2} = s \Leftrightarrow \xi_N \in [a_{s-1}, a_s)$.

Строгая запись алгоритма (без вставки «и т.д.») имеет вид

$$X_{2m-1} = s \in S \Leftrightarrow \delta_m \in [a_{s-1}, a_s), m = \overline{1, N-1}, \quad (5)$$

$$X_{2m-2} = s \in S \Leftrightarrow \xi_m \in [a_{s-1}, a_s), m = \overline{2, N}. \quad (6)$$

Остановимся на математической терминологии, которая будет использоваться в дальнейшем. Разность $(X_n - X_{n+1})$ назовем скачком, осуществленным последовательностью (4) на $(n+1)$ -м шаге, т.е., если $X_n = i$, а $X_{n+1} = j$, то скачок равен $(i-j)$. Заметим, что обычно скачком называют разность $(X_{n+1} - X_n)$, т.е. $(j-i)$, однако в этой работе мы будем пользоваться своим определением.

Пусть A и B — какие-либо случайные события. Далее $P(B|A)$ обозначает условную вероятность события B при условии, что произошло A (см., например, [5, с. 30]).

Предлагаемая нами модель основана на условии, что последовательность случайных величин (4) является так называемой цепью Маркова. Напомним определение этого понятия.

Пусть $\{X_n\}_{n=0}^{\infty}$ — последовательность дискретных случайных величин, принимающих значения из множества (3). Говорят, что для последовательности $\{X_n\}_{n=0}^{\infty}$ выполнено марковское свойство, если для каждого номера $n \geq 0$

$$P(X_{n+1}=j | X_n=i, X_{n-1}=k_{n-1}, \dots, X_1=k_1, X_0=k_0) = \\ = P(X_{n+1}=j | X_n=i), \quad (7)$$

где $j, i, k_{n-1}, \dots, k_0$ — произвольные элементы из S . При выполнении равенства (7) последовательность случайных величин $\{X_n\}_{n=0}^{\infty}$ называют цепью Маркова (или марковской цепью) с пространством состояний S (см., например, [5, с. 245]).

Вернемся к последовательности (4). Предполагается, что эта конечная последовательность является цепью Маркова, т.е. равенство (7) выполняется при $0 \leq n \leq 2N-3$. Для любых $i \in S, j \in S$ и $0 \leq n \leq 2N-3$ введем обозначение

$$p_{ij}(n) = P(X_{n+1}=j | X_n=i). \quad (8)$$

Матрица размера $K \times K$ ($K \geq 2$)

$$P(n) = \begin{pmatrix} p_{11}(n) & p_{12}(n) & \dots & p_{1K}(n) \\ p_{21}(n) & p_{22}(n) & \dots & p_{2K}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{K1}(n) & p_{K2}(n) & \dots & p_{KK}(n) \end{pmatrix} \quad (9)$$

называется матрицей переходных вероятностей (короче — переходной матрицей) на n -м шаге.

В следующем разделе будет показано, что переходные матрицы можно использовать для характеристики эффективности действий диспетчеров, станционного персонала и машинистов.

5. Формулировка задачи о сравнении переходных матриц в стохастической модели. Введение критерия

Предположим, что для двух разных железнодорожных перегонов мы имеем две разные матрицы перехода при одном и том же множестве состояний (3). Возникает вопрос: как по этим матрицам можно узнать, на каком перегоне регулирование (диспетчерами и машинистами) движения поездами проводится более эффективно? Иначе: какая матрица соответ-

ствует перегону с меньшими задержками при отправлении с одной станции и прибытии на следующую? Аналогичный вопрос возникает для станций относительно регулирования времен прибытий на станцию и отправок с нее.

Таким образом, задача состоит в создании признака, по которому одну матрицу перехода можно считать «лучше» (в смысле эффективного регулирования движения поездов), чем другую.

Введем критерий сравнения стохастических матриц. Фиксируем i -ю строку матрицы $P(n)$ из (9) и рассмотрим величину

$$M_i(n) = E(X_n - X_{n+1} | X_n=i), \quad (10)$$

где $E(X|B)$ означает условное математическое ожидание случайной величины X при условии, что произошло событие B . Используя определение условного математического ожидания (см., например, [5, с. 68]), получаем

$$M_i(n) = \sum_{j=1}^K (i-j) P(X_{n+1}=j | X_n=i) = \\ = \sum_{j=1}^K (i-j) p_{ij}(n) = i - \sum_{j=1}^K j p_{ij}(n). \quad (11)$$

Можно сказать, что $M_i(n)$ — это среднее значение скачка, появляющегося на $(n+1)$ -м шаге при условии, что на n -м шаге цепь (4) находилась в состоянии i .

Заметим, что в соответствии с (5) и (6), если $X_n - X_{n+1} > 0$, то на $(n+1)$ -шаге цепь (4) перешла в лучшее состояние (по сравнению с предыдущим), а если $X_n - X_{n+1} < 0$, то — в худшее.

Выполнение неравенства $M_i(n) \geq 0$ означает, что после состояния i , в котором цепь находилась на n -м шаге, в результате следующего шага в среднем появляется улучшение.

Кроме характеристики i -й строки матрицы (9) с помощью $M_i(n)$ ($i = \overline{1, K}$), мы хотим определить усредненную характеристику всех строк этой матрицы.

Рассмотрим величину

$$M(n) := \sum_{i=1}^K M_i(n) \stackrel{\text{из (11)}}{=} \sum_{i=1}^K i - \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K j p_{ij}(n) = \\ = \sum_{i=1}^K i - \sum_{j=1}^K j \sum_{i=1}^K p_{ij}(n). \quad (12)$$

Мы видим, что $M(n)$ — это сумма средних скачков из всех возможных состояний, которые могут появиться в момент n . В разделе 6 будет показано, что

$$-C_K^2 \leq M(n) \leq C_K^2,$$

где $C_K^2 = \frac{K!}{(K-2)!2!} = \frac{K(K-1)}{2}$ — число сочетаний из K

элементов по 2, причем оба неравенства достигаются в следующем смысле: правое неравенство можно считать равенством для такой матрицы, у которой первый столбец состоит только из единиц, а левое неравенство можно заменить на равенство, если из единиц состоит последний столбец переходной матрицы.

Заметим, что переходные матрицы являются стохастическими, т.е. сумма элементов любой строки равна 1. Поэтому, если строка на каком-либо месте содержит 1, то остальные элементы строки равны 0.

Определим

$$\hat{M}(n) = \frac{1}{C_K^2} M(n). \quad (13)$$

Пусть $P^{(1)}(n)$ и $P^{(2)}(n)$ — две переходные матрицы. Для каждой матрицы последовательно вычислим величины (11), (12) и (13), вводя соответствующие (верхние) индексы к обозначениям этих вели-

чин: $M_i^{(v)}(n)$ (для всех $1 \leq i \leq K$), $M^{(v)}(n) = \sum_{i=1}^K M_i^{(v)}(n)$ и

$$\hat{M}^{(v)}(n) = \frac{1}{C_K^2} M^{(v)}(n), v=1,2.$$

Предлагаемый критерий: Если $\hat{M}^{(1)}(n) > \hat{M}^{(2)}(n)$, то будем говорить, что матрица $P^{(1)}(n)$ лучше матрицы $P^{(2)}(n)$, и записывать это с помощью символа « $\succ$ »: $P^{(1)}(n) \succ P^{(2)}(n)$ или, что то же самое, $P^{(2)}(n) \prec P^{(1)}(n)$.

В разделе 6 приводится математическое обоснование критерия, а в разделе 7 величине (13) придается смысл характеристики, отвечающей за эффективность диспетчерских действий по сохранению пунктуальности железнодорожного движения. В разделе 8 представлен пример с реальными данными.

6. Математическое обоснование критерия

Справедливо следующее утверждение.

Предложение. Пусть $P = \{p_{ij}\}$ — стохастическая матрица размера $K \times K$, а M — величина, вычисленная по формуле (12). Тогда M удовлетворяет неравенству

$$-C_K^2 \leq M \leq C_K^2. \quad (14)$$

При этом в правой части (14) равенство достигается тогда и только тогда, когда все элементы первого столбца матрицы P равны 1. В левой части (14) равенство достигается тогда и только тогда, когда все элементы K -го столбца матрицы P равны 1.

Доказательство. Для M_i из (10) получим оценку сверху. Учитывая равенства (11) и $\sum_{j=1}^K p_{ij} = 1$ ($i = \overline{1, K}$), получаем

$$M_i = i - \sum_{j=1}^K j p_{ij} \leq i - \sum_{j=1}^K p_{ij} = i - 1. \quad (15)$$

Отсюда

$$M = \sum_{i=1}^K M_i \leq \sum_{i=1}^K (i-1) = \frac{K+1}{2} K - K = \frac{K}{2} (K-1) = C_K^2.$$

Рассмотрим матрицу P с элементами $p_{i1} = 1$ для всех $1 \leq i \leq K$. Тогда $p_{ij} = 0$, если $j \geq 2$, а из (11) при всех i получаем равенство $M_i = \sum_{j=1}^K (i-j) p_{ij} = i-1$. Следовательно, $M = \sum_{i=1}^K M_i = \sum_{i=1}^K (i-1) = C_K^2$.

Покажем, что матрица со свойством $M = C_K^2$ единственна.

Пусть для некоторого m ($1 \leq m \leq K$) элемент p_{m1} матрицы P отличен от 1. Тогда возможны два случая: $p_{m1} = 0$ или $0 < p_{m1} < 1$.

Пусть $p_{m1} = 0$. Тогда в силу (11)

$$M_m = (m-2)p_{m2} + (m-3)p_{m3} + \dots + (m-K)p_{mK}.$$

Предположим, что $p_{mj} > 0$ при всех $2 \leq j \leq K$. Тогда

$$M_m < (m-2) \sum_{j=2}^K p_{mj} = m-2 < m-1. \quad (16)$$

Из (15) и (16) вытекает, что в рассматриваемом случае выполнено строгое неравенство

$$M < \sum_{i=1}^K (i-1) = C_K^2. \quad (17)$$

Если в случае $p_{m1} = 0$ при некоторых $j \geq 2$ вероятности p_{mj} также равны 0, то рассуждая аналогично предыдущему, снова придем к (17).

Пусть $0 < p_{m1} < 1$. Возможны два случая: либо $0 < p_{mj} < 1$ при всех $j \geq 2$, либо $p_{mv} = 0$ при некотором $v \geq 2$. В первом случае, принимая во внимание, что невырожденная выпуклая комбинация K чисел ($K \geq 2$) строго меньше их максимума, получаем $M_m = \sum_{j=1}^K (m-j) p_{mj} < m-1$. Отсюда, с учетом (15), следует (17). Второй случай сводится к только что рассмотренному.

Теперь получим для M_i оценку снизу. Имеем

$$M_i = i - \sum_{j=1}^K j p_{ij} \geq i - K \sum_{j=1}^K p_{ij} = i - K.$$

Следовательно,

$$M \geq \sum_{i=1}^K (i-K) = \frac{K+1}{2} K - K^2 = \frac{K}{2} (K+1-2K) = -C_K^2.$$

Рассмотрим матрицу P с элементами $p_{iK} = 1$ для всех $1 \leq i \leq K$. Тогда $p_{ij} = 0$, если $j \leq K-1$, а из (11) при

всех i получаем равенство $M_i = \sum_{j=1}^K (i-j)p_{ij} = i-K$. Следовательно, $M = \sum_{i=1}^K (i-K) = -C_K^2$.

Доказательство единственности стохастической матрицы, для которой выполнено равенство $M = -C_K^2$, проводится аналогично доказательству единственности матрицы со свойством $M = C_K^2$. Предложение доказано.

7. Введение индекса эффективности. Его железнодорожная интерпретация

Величину (13), определенную для каждой стохастической матрицы, назовем «индексом эффективности», подразумевая железнодорожную интерпретацию: чем ближе $\hat{M}$ к 1, тем надежнее диспетчерская регулировка. Чем ближе $\hat{M}$ к (-1) , тем регулировка хуже.

Действительно, переходная матрица с $\hat{M}=1$, т.е. $p_{i1}=1$ ($1 \leq i \leq K$), означает, что в каком бы состоянии i ни была «система», за один шаг она с вероятностью 1 перейдет в наилучшее состояние, т.е. состояние 1.

Случай, когда $\hat{M}=-1$, т.е. $p_{iK}=1$ ($1 \leq i \leq K$), означает, что в каком бы состоянии i ни была «система», за один шаг она с вероятностью 1 перейдет в наихудшее состояние, т.е. в состояние K . Можно сказать, что эта матрица соответствует плохой регулировке, влекущей большое число задержек.

8. Пример оценки качества оперативного управления железнодорожным движением

Проанализируем статистику по движению пригородных поездов на двухпутной железнодорожной линии Москва–Тверь в утренние (пиковые) часы с 6 до 10 ч. (в одном направлении). Линия включает в себя $N=12$ станций: 1 – Тверь и т.д., 12 – Москва.

Применим понятия и обозначения разделов 2 и 4 к рассматриваемому примеру. Контроль за соблюдением графика отправок и прибытий на линии приводит к необходимости анализа последовательности случайных величин (1) с $N=12$.

Последовательность (1) можно рассматривать как 22-мерный случайный вектор. Над этим случайным вектором проведено 43 наблюдения. Соответствующие 22-мерные выборки помещены в табл. 1. При этом, чтобы отличать выборочные векторы от (1), вместо δ_m и ξ_m используются обозначения δ_m^* и ξ_m^* соответственно.

Из-за ограничительных требований на объем статьи, мы представляем только начало и конец таблицы.

Опираясь на статистические данные, помещенные в табл. 1, заключаем, что непрерывные случайные величины δ_m и ξ_m из (1) принимают значения из промежутка $[a, b] = [-3, 12]$. Разделим его на три подынтервала:

$$[a, b] = [-3, 0] \cup (0, 1] \cup (1, 12].$$

Это разбиение приводит к (2) и (3) с $K=3$.

Последовательность (1) определяет марковскую цепь дискретных случайных величин (4) с $N=12$, т.е.

$$X_1, X_2, \dots, X_{22}, \quad (18)$$

со значениями из пространства состояний $S = \{1, 2, 3\}$ согласно следующему алгоритму. Для случайных величин из (18) с нечетными индексами выполняются соотношения

$$X_{2m-1} = 1 \Leftrightarrow \delta_m \in [-3, 0], \quad X_{2m-1} = 2 \Leftrightarrow \delta_m \in (0, 1], \\ X_{2m-1} = 3 \Leftrightarrow \delta_m \in (1, 12]$$

($1 \leq m \leq 11$); а с четными индексами –

$$X_{2m-2} = 1 \Leftrightarrow \xi_m \in [-3, 0], \quad X_{2m-2} = 2 \Leftrightarrow \xi_m \in (0, 1], \\ X_{2m-2} = 3 \Leftrightarrow \xi_m \in (1, 12]$$

($2 \leq m \leq 12$).

В табл. 1 также помещены выборочные значения случайных величин (18). При этом выборочные векторы обозначаются X_1^*, X_2^* и т.д.

Замечание. Несмотря на то, что случайные величины (1) непрерывны, в табл. 1 соответствующие выборки состоят из целых чисел. Это связано с тем, что статистические данные по отклонениям собираются с точностью до минут без их дробления.

Как отмечалось в разделе 2, пара $\{\delta_m, \xi_{m+1}\}$ порождает статистику отклонений от расписания на перегоне от станции m до станции $m+1$ ($1 \leq m \leq 11$), а пара $\{\xi_m, \delta_m\}$ образует статистику отклонений от расписания прибытий и отправок на станции с номером m ($2 \leq m \leq 12$). В силу табл. 1 это также означает, что пара $\{X_{2m-1}, X_{2m}\}$ характеризует статистику отклонений от расписания на перегоне между станциями m и $m+1$ ($1 \leq m \leq 11$), а пара $\{X_{2m-2}, X_{2m-1}\}$ – статистику отклонений от расписания на станции с номером m ($2 \leq m \leq 12$).

Каждое звено $\{X_n, X_{n+1}\}$ марковской цепи (18) обладает матрицей переходных вероятностей $P(n)$, которая, в свою очередь, определяет характеристику $\hat{M}(n)$.

Построим матрицу $P(1)$ (для звена $\{X_1, X_2\}$). С этой целью выделим из табл. 1 двумерную выборку из распределения случайного вектора (X_1, X_2) . Выборочные значения представлены в форме табл. 2.

Символом n_{ij} обозначим число выборочных двумерных векторов (ij) в табл. 2, где $ij=1, 2, 3$. Анализируя табл. 2, получаем табл. 3, состоящую из значений n_{ij} .

Таблица 1

Две выборки (каждая объемом 43) из распределений 22-мерных случайных векторов

$(\delta_1, \xi_{22}, \delta_2, \xi_{23}, \dots, \delta_{11}, \xi_{12})$ и $(X_1, X_2, \dots, X_{22})$

N_0	δ_1^*	ξ_{22}^*	δ_2^*	ξ_{23}^*	δ_3^*	ξ_{24}^*	δ_4^*	ξ_{25}^*	δ_5^*	ξ_{26}^*	δ_6^*	ξ_{27}^*	δ_7^*	ξ_{28}^*	δ_8^*	ξ_{29}^*	δ_9^*	ξ_{30}^*	δ_{10}^*	ξ_{31}^*	δ_{11}^*	ξ_{32}^*
	X_1^*	X_2^*	X_3^*	X_4^*	X_5^*	X_6^*	X_7^*	X_8^*	X_9^*	X_{10}^*	X_{11}^*	X_{12}^*	X_{13}^*	X_{14}^*	X_{15}^*	X_{16}^*	X_{17}^*	X_{18}^*	X_{19}^*	X_{20}^*	X_{21}^*	X_{22}^*
1	-1	3	3	2	3	2	3	3	4	5	5	5	6	4	6	5	5	5	6	3	4	4
	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	-1	1	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	3	1	3	1	1	2	2	1	2	2
	1	2	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	3	3
Окончание табл. 1																						
42	-1	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	-1	0	0	1	-1	0	-1
	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1
43	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	-1	1	1	2	1	3	1	2	0	0	-2
	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	3	2	3	2	3	1	1	1

Примечание. Столбец 1 в табл. 1 содержит номера (от 1 до 43) выборочных векторов для обеих выборок. Каждому номеру из столбца 1 в столбце 2 соответствует пара значений: сверху – δ_1^* , выборочное значение случайной величины δ_1 , снизу – X_1^* , выборочное значение случайной величины X_1 . Остальные столбцы организуются аналогично.

Таблица 2

Двумерная выборка из распределения случайного вектора (X_1, X_2)

N_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$X_1^*=i$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$X_2^*=j$	3	2	3	2	1	2	2	2	1	2	2	1	3	3	1	1	1	1	1	1	2	1
Окончание табл. 2																						
N_0	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	43
$X_1^*=i$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
$X_2^*=j$	2	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	3	3	2	2	2	3

Обозначим $n_i = \sum_{j=1}^3 n_{ij}$. Следуя [2;3], отношение $\frac{n_{ij}}{n_i}$ будем понимать как условную вероятность $P(X_2=j | X_1=i)$, так что $p_{ij}(1) = \frac{n_{ij}}{n_i}$. Из табл. 3 получаем:

$n_1=38, n_2=4, n_3=1$. Матрица $P(1)$ переходных вероятностей $p_{ij}(1)$ представлена в виде табл. 4.

Вычислим индекс эффективности $\hat{M}(1)$. Используя (11), получаем

$$M_1(1) = (1-2)\frac{12}{38} + (1-3)\frac{5}{38} = -\frac{11}{19} \approx -0,58.$$

Аналогично находим $M_2(1) = -0,5, M_3(1) = 0$. Тогда в силу (12) и (13)

$$M(1) = \sum_{i=1}^3 M_i(1) = -\frac{41}{38} \approx -1,08$$

$$\text{и } \hat{M}(1) = -\frac{41}{C_3^2 38} \approx -0,36.$$

Рассчитав подобным образом $\hat{M}(n)$ для остальных звеньев $\{X_n, X_{n+1}\}$, $2 \leq n \leq 21$, заполним табл. 5. Напомним, что при нечетных n характеристики $\hat{M}(n)$ вычисляются для перегонов, а при четных — для станций.

Как уже говорилось в разделе 1, последовательность средних отклонений $\bar{\delta}_m$ и $\bar{\xi}_m$ также характеризует динамику отклонений моментов отправления и прибытия от графика при движении поездов по линии. Покажем, что предлагаемый метод, основанный на индексе эффективности $\hat{M}(n)$, согласуется с методом средних отклонений из [1].

В табл. 6 записаны выборочные средние $\bar{\delta}_m$ и $\bar{\xi}_m$, которые вычисляются по формулам:

$$\bar{\delta}_m = \frac{1}{43} \sum_{i=1}^{43} \delta_{m,i} \quad (m = \overline{1,11}), \quad \bar{\xi}_m = \frac{1}{43} \sum_{i=1}^{43} \xi_{m,i} \quad (m = \overline{2,12}), \text{ где}$$

$\delta_{m,i}$ и $\xi_{m,i}$ ($1 \leq i \leq 43$) — соответственно выборочные значения случайных величин δ_m и ξ_m .

Таблица 3

Количества n_{ij} , соответствующие табл. 2

$i \backslash j$	1	2	3
1	21	12	5
2	0	2	2
3	0	0	1

Данные из табл. 6 изображены на рис. 1, пояснение к которому приведено ниже.

Используются обозначения: a_m — запланированный момент прибытия на станцию m ; d_m — запланированный момент отправления со станции m . Нормативные значения параметров d_m и a_m можно определить, используя табл. 7 и 8.

Можно считать, что $d_1 = 0$. Тогда $a_2 = 29, d_2 = 29 + 2 = 31$ и т.д.

Опишем процедуру построения ломаной на рис. 1. Используя нормативные времена хода (табл. 7) и стоянок (табл. 8), на горизонтальной оси отмечаем 22 точки $d_1, a_2, \dots, d_{11}, a_{12}$ — запланированные моменты отправления и прибытий.

Через эти точки, начиная с a_2 , проведем вспомогательные вертикали — по паре на каждую станцию. Вертикаль, проведенная через a_m означает «вход» на станцию m , а через d_m — «выход» со станции m .

Далее, отмечаем точки с координатами $(0, \bar{\delta}_1) = (0, -0,465), (a_2, \bar{\xi}_2) = (a_2, 0,698), (d_2, \bar{\delta}_2) = (d_2, 0,93)$ и т.д., $(a_{12}, \bar{\xi}_{12}) = (a_{12}, 1,093)$. Соединяя указанные точки прямолинейными отрезками, получаем рис. 1. Каждый из рассматриваемых прямолинейных отрезков обладает угловым коэффициентом $k_n, n = \overline{1,21}$, который вычисляется по формуле

$$k_n = \begin{cases} \frac{\bar{\xi}_{m+1} - \bar{\delta}_m}{a_{m+1} - d_m} & \text{при } n = 2m-1, \quad m = \overline{1,11}, \\ \frac{\bar{\delta}_m - \bar{\xi}_m}{d_m - a_m} & \text{при } n = 2m-2, \quad m = \overline{2,12}. \end{cases}$$

Заметим, что если линейный участок ломаной на рис. 1 имеет номер n , то ему соответствует звено $\{X_n, X_{n+1}\}$. Это означает, что каждому k_n соответствует индекс эффективности $\hat{M}(n)$, который можно найти по табл. 5. Таким образом, мы имеем последовательность пар $(k_n, \hat{M}(n)), 1 \leq n \leq 21$, которую можно понимать как двумерную выборку из распределения случайного вектора (κ, μ) , где для каждого звена $\{X_n, X_{n+1}\}$ случайная величина μ принимает значение $\hat{M}(n)$, а случайная величина

Таблица 4

Матрица переходных вероятностей $P(1)$

$i \backslash j$	1	2	3
1	$p_{11}(1) = 21/38$	$p_{12}(1) = 12/38$	$p_{13}(1) = 5/38$
2	$p_{21}(1) = 0$	$p_{22}(1) = 1/2$	$p_{23}(1) = 1/2$
3	$p_{31}(1) = 0$	$p_{32}(1) = 0$	$p_{33}(1) = 1$

Таблица 5

Значения индексов $\hat{M}(n)$ матриц переходных
вероятностей марковской цепи (18)

m – номера станций	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
Операции	dep.	arriv.	dep.	arriv.	dep.	arriv.	dep.	arriv.	dep.	arriv.	dep.
Наблюдаемые δ_m и ξ_m и соответственно X_n	δ_1 X_1	ξ_2 X_2	δ_2 X_3	ξ_3 X_4	δ_3 X_5	ξ_4 X_6	δ_4 X_7	ξ_5 X_8	δ_5 X_9	ξ_6 X_{10}	δ_6 X_{11}
$\hat{M}(n)$ для перегонов	$\hat{M}(1)=-0,36$		$\hat{M}(3)=0,56$		$\hat{M}(5)=0,24$		$\hat{M}(7)=-0,07$		$\hat{M}(9)=0,095$		$\hat{M}(11)=0,26$
$\hat{M}(n)$ для станций		$\hat{M}(2)=-0,11$		$\hat{M}(4)=-0,18$		$\hat{M}(6)=-0,11$		$\hat{M}(8)=-0,76$		$\hat{M}(10)=-0,31$	

Окончание табл. 5

m – номера станций	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12
Операции	arriv.	dep.	arriv.	dep.	arriv.	dep.	arriv.	dep.	arriv.	dep.	arriv.
Наблюдаемые δ_m и ξ_m и соответственно X_n	ξ_7 X_{12}	δ_7 X_{13}	ξ_8 X_{14}	δ_8 X_{15}	ξ_9 X_{16}	δ_9 X_{17}	ξ_{10} X_{18}	δ_{10} X_{19}	ξ_{11} X_{20}	δ_{11} X_{21}	ξ_{12} X_{22}
$\hat{M}(n)$ для перегонов	$\hat{M}(11)=0,26$		$\hat{M}(13)=0,25$		$\hat{M}(15)=0,68$		$\hat{M}(17)=0,05$		$\hat{M}(19)=0,71$		$\hat{M}(21)=0,103$
$\hat{M}(n)$ для станций		$\hat{M}(12)=-0,67$		$\hat{M}(14)=-0,77$		$\hat{M}(16)=-0,17$		$\hat{M}(18)=-0,53$		$\hat{M}(20)=-0,43$	

Таблица 6

Значения средних отклонений $\bar{\delta}_m$ и $\bar{\xi}_m$

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\bar{\delta}_m$	-0,465	0,93	0,581	0,558	1,907	1,837	2,605	3,279	1,767	2,488	1,442	
$\bar{\xi}_m$		0,698	-0,116	0,279	0,605	1,419	1,488	1,744	1,14	1,651	0,651	1,093

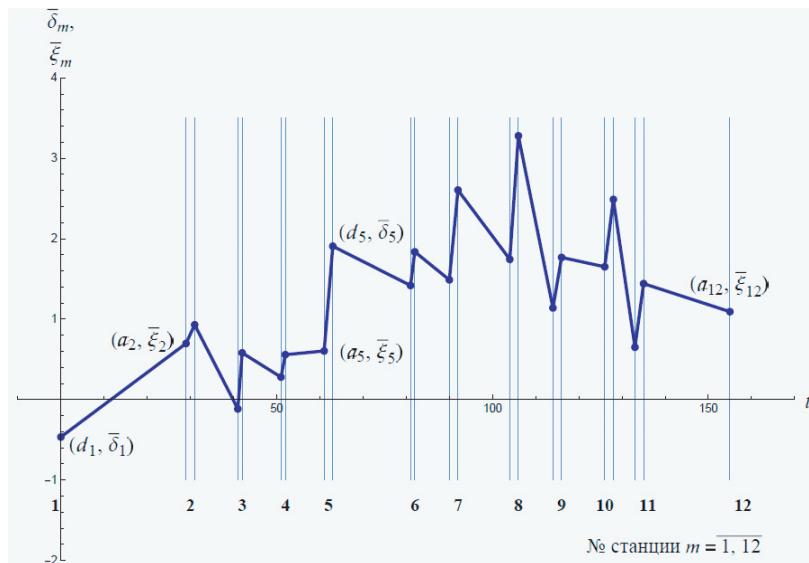


Рис. 1. Поведение средних $\bar{\delta}_m$ и $\bar{\xi}_m$ на маршруте.
На горизонтальной оси отмечено время в минутах

Таблица 7

Нормативные времена хода, мин

Перегон [$m-(m+1)$]	[1–2]	[2–3]	[3–4]	[4–5]	[5–6]	[6–7]	[7–8]	[8–9]	[9–10]	[10–11]	[11–12]
Нормат. время хода: ($a_{m+1}-d_m$)	29	10	9	9	18	8	12	8	10	5	20

Таблица 8

Нормативные времена стоянок, мин

m – номер станции	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нормат. время стоянки: (d_m-a_m)	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2

Таблица 9

Двумерная выборка $\{(k_n, \hat{M}(n))\}_{n=1}^{21}$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
k_n	0,04	0,116	–0,105	0,698	–0,034	0,279	0,005	0,651	–0,027	0,419	–0,044
$\hat{M}(n)$	–0,36	–0,11	0,56	–0,18	0,24	–0,11	–0,07	–0,76	0,095	–0,31	0,26

Окончание табл. 9

n	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
k_n	0,558	–0,072	0,767	–0,267	0,314	–0,012	0,419	–0,367	0,395	–0,017
$\hat{M}(n)$	–0,67	0,25	–0,77	0,68	–0,17	0,05	–0,53	0,71	–0,43	0,103

κ — значение k_n , вычисленное для соответствующего линейного участка. Двумерная выборка $\{(k_n, \hat{M}(n))\}_{n=1}^{21}$ представлена в табл. 9.

Найдем линейную эмпирическую (среднюю квадратическую) регрессию κ на $\hat{M}$

$$k_n = b_0 \hat{M}(n) + b_1. \quad (19)$$

Обозначим: $E^*(\cdot)$ — выборочное среднее; $D^*(\cdot)$ — выборочная дисперсия; $r^*(\cdot, \cdot)$ — выборочный коэффициент корреляции. Известно (см. [6], с. 347), что

$$b_0 = r^*(\kappa, \hat{M}) \sqrt{\frac{D^*(\kappa)}{D^*(\hat{M})}},$$

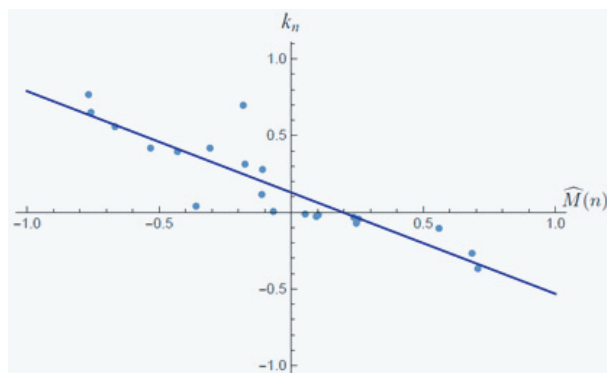


Рис. 2. Линейная эмпирическая регрессия
 $k_n = -0.661 \hat{M}(n) + 0.129$

$$b_1 = E^*(\kappa) - b_0 E^*(\hat{M}).$$

Вычисленные значения: $E^*(\kappa) = 0.177$; $E^*(\hat{M}) = -0.072$; $D^*(\kappa) = 0.104$; $D^*(\hat{M}) = 0.188$; $r^*(\kappa, \hat{M}) = -0.889$ приводят к равенствам: $b_0 = -0.661$, $b_1 = 0.129$. На рис. 2 изображены выборочные точки из табл. 9 и линейная эмпирическая регрессия (19) с найденными b_0 и b_1 .

Близость выборочного коэффициента корреляции $r^*(\kappa, \hat{M}) \approx -0.889$ к (-1) и расположение прямой регрессии по отношению к выборочным точкам свидетельствуют о том, что угловой коэффициент k_n линейных участков ломаной линии на рис. 1 в среднем является линейной убывающей функцией аргумента $\hat{M}(n)$. Другими словами, возрастание «индекса эффективности» приводит к убыванию средних отклонений, т.е. к улучшению динамики отклонений от расписания отправок и прибытий.

9. Заключение

В работе предложен альтернативный по сравнению с [1] метод оценки эффективности оперативного управления движением поездов по обеспечению пунктуальности. Показано, что вновь предложенный и предыдущий методы хорошо согласуются друг с другом. Заметим, что в работе речь идет об однопоездной модели. Однако, как мы полагаем, схема рассуждений, основанная на теории марковских цепей, может быть обобщена для многопоездных моделей до схемы так называемых байесовских сетей [7;8].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках программы стратегического академического лидерства Российской Федерации «Приоритет-2030».

Литература

1. Davydov, B.I. Online Train Traffic Adjustments: Probabilistic Modeling and Estimating / B.I. Davydov, V.I. Chebotarev, K.S. Kablukova // In: Sierpinski G. (eds) Advanced Solutions of Transport Systems for Growing Mobility. TSTP 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2017. - vol. 631 (Springer). - P. 50-60.
2. Sahin, I. Markov Chain Model for Delay Distribution in Train Schedules: Assessing the effectiveness of time allowances / Ismail Sahin // Journal of Rail Transport Planning & Management. - 2017. - vol. 7(3). DOI: 10.1016/j.jrtpm.2017.08.006
3. Sahin, I. Data-driven stochastic model for train delay analysis and prediction / Ismail Sahin // International Journal of Rail Transportation. - 2022. - 21 p. DOI: 10.1080/23248378.2022.2065372
4. Spanninger, T. A Review of Train Delay Prediction Approaches / T. Spanninger, A. Trivella, B. Buchel, F. Corman // SSRN Electronic Journal. - 2022. DOI: 10.2139/ssrn.3964737
5. Боровков, А.А. Теория вероятностей / А.А. Боровков, 3-е изд., сущ. перераб. и доп. - Москва : Эдиториал УРСС, 1999; Новосибирск : Издательство института математики. - 472 с. - URL : https://vk.com/doc126754362_643864826?hash=KZaUStyakTB3rJDVzomNhYAYnaUGpiUU2zuHgi8JQDP&dl=EZuZbXhC5ZN2r2EmOcPkGXqEU8Bz5yitALTRSnpi648. - Текст : электронный (дата обращения 16.08.2023).

6. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Исследование зависимостей: Справ. изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна. - Москва : Финансы и статистика, 1985. - 487 с. - URL : https://vk.com/doc57877_653278332?hash=8psBQzpX4BUhREM9xD78nw7cg-ZXiQ7nNM0iTGqZzuOD&dl=QJbeBmuqRrzdKD7Dwz6MprOVK6waIzPwcscNSngR9pc. - Текст : электронный (дата обращения 16.08.2023).
7. Кецман, Р. Train delay evolution as a stochastic process / Р. Кецман, F. Corman, L. Meng // Proceedings of the 6th ICROMA – RailTokyo, Tokyo, Japan. - 2015. DOI: 10.3929/ETHZ-B-000183322
8. Corman, F. Stochastic prediction of train delays in real-time using Bayesian networks / F. Corman, Р. Кецман // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. - 2018. - vol. 95. - P. 599-615. DOI: 10.1-016/j.trc.2018.08.003

ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОММЕРЧЕСКОГО ОСМОТРА ВАГОНОВ

В статье приводится описание информационной модели интеллектуального коммерческого осмотра, реализованного в составе системы АСКМ ИКО, формальной рекуррентной модели, дерева декомпозиции задач, построенного по объектно-ориентированному и методо-ориентированному принципу, описание методов автодиагностики состояния вагонов и грузов: взвешивание, инфракрасное сканирование, лазерное сканирование, нейросетевая фотодиагностика, температурный контроль и радиочастотный контроль. Также приводится архитектура построенной системы и результаты тестирования.



В.Е. Нутович

***Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, нейросетевые технологии, коммерческий осмотр вагонов, обеспечение надежности, АСКМ ИКО*

EDN: RTZJVA

Принимая на себя обязательства по доставке грузов или порожних вагонов железнодорожным транспортом, перевозчик несет ответственность за их сохранность и безопасность самих перевозок в соответствии с требованиями нормативных документов — Федерального закона «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» [1] и Федерального закона Российской Федерации «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» [2]. Если рассматривать перевозочный процесс как сложный технологический процесс, состоящий из различных элементов, то нарушение сохранности или безопасности можно идентифицировать как непредвиденные недопустимые изменения качества или отказные состояния. В таких случаях можно говорить о нарушениях надежности процесса доставки грузов и вагонов.

Для обеспечения надежности перевозочного процесса и в целях предотвращения наступления таких

недопустимых изменений качества перевозчик проводит технический и коммерческий осмотр вагонов как при приеме груза к перевозке, так и в пути следования, проверяя техническое состояние вагонов, соблюдение технических условий погрузки, размещения и крепления груза на открытом подвижном составе, осуществляя документальную проверку оформленных перевозочных документов.

В целях оптимизации решения выше поставленных задач при участии и под руководством автора для ОАО «РЖД» разработана Подсистема интеллектуального коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКМ ИКО) в составе Автоматизированной системы оперативного контроля и анализа качества коммерческой работы и безопасности грузовых перевозок нового поколения (АСКМ). В настоящей статье приводится концептуальное описание ее целевого состояния. Система АСКМ ИКО работает во взаимодействии с:

Нутович Вероника Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Цифровые технологии управления транспортными процессами», начальник научно-образовательного центра «Интеллектуальные транспортные системы и технологии» (НОЦ 2Т) Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), почетный железнодорожник, почетный работник транспорта. Область научных интересов: системный анализ, управление и обработка информации в транспортно-логистических системах, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в транспортно-логистических системах, интеллектуальные транспортные системы. Автор 70 научных работ, в том числе трех монографий и трех учебно-методических пособий. Имеет 44 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

- техническими средствами коммерческого осмотра (далее — ТСКО);

1. Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов (далее — АСКОПВ);

2. Автоматизированная система коммерческого осмотра «Смотровая вышка» (далее — АСКОСВ);

3. Тепловизионный комплекс дистанционного контроля загрузки вагонов (далее — Тепловизионный комплекс);

4. Электронные вагонные весы, в том числе РТВ-Д;

5. Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях (далее — ППСС);

- электронными средствами идентификации (далее — ЭСИ) (в целевом состоянии);

- Единой автоматизированной системой актово-претензионной работы хозяйства коммерческой работы в сфере грузовых перевозок нового поколения (далее — ЕАСАПР М НП);

- иными автоматизированными ресурсами ИТ ландшафта ОАО «РЖД»: АС ЭТРАН, АСОУП и др.

В целях структуризации и систематизации коммерческого осмотра под руководством и при участии автора был создан Единый типовой технологический процесс коммерческого осмотра поездов и вагонов [3], устанавливающий формализованные требования к проведению и оформлению коммерческого осмотра в пути следования на пунктах коммерческого осмотра (далее — ПКО), постах коммерческой безопасности (далее — ПКБ) и пунктах коммерческой диагностики (далее — ПКД). При этом ПКО и ПКБ предполагают полуавтоматическое проведение коммерческого осмотра, а ПКД — полностью автоматическое проведение коммерческого осмотра только с использованием комплекса технических средств и программного обеспечения. Также под руководством и при участии автора был разработан классификатор коммерческих неисправностей грузовых вагонов [4].

Для реализации автоматического выявления коммерческих неисправностей при проведении интеллектуального коммерческого осмотра поездов и вагонов при участии автора разработаны и утверждены методические документы [5–10], содержащие перечень коммерческих неисправностей, выявляемых в автоматическом режиме, а также методы и алгоритмы работы комплекса ТСКО и АСКМ ИКО.

Общая формальная рекуррентная модель коммерческого осмотра была подробно описана автором в статье «Проблемно-ориентированная система принятия решений по обеспечению безопасности и сохранности грузовых перевозок» [11].

Настоящая статья посвящена развитию формальной рекуррентной модели с учетом разработанных методов и алгоритмов интеллектуального коммерческого осмотра с использованием цифровых технологий, в том числе нейронных сетей.

Материалы и методы

Формальная рекуррентная модель интеллектуального коммерческого осмотра (далее — ИКО) основана на иерархической структуре этапов его проведения, имеющих объектно-ориентированный и методо-ориентированный характер.

Можно сказать, что коммерческий осмотр является организованной совокупностью проверок на соблюдение сохранения необходимых качеств грузовой отправки — сохранности и безопасности. Эти проверки образуют классы объектно-ориентированных проверок. Каждый из представителей этих классов в свою очередь имеет свою серию проверок.

$$G=\{G_i\}, i=1,...,N, \quad (1)$$

где G_i — классы объектно-ориентированных проверок; N — число классов.

На первом уровне проверяется сохранение необходимых качеств одного из объектов — груза, вагона (контейнера) или запорно-пломбировочного устройства (ЗПУ). При проверке состояния вагона (контейнера) задачи осмотра подразделяются на свои подзадачи: состояние кузова вагона (контейнера) и состояние оборудования вагона (контейнера). Состояние кузова и состояние оборудования подразумевают свою детализацию. При проверке состояния груза контролю подлежат фактические масса груза и технические условия размещения и крепления, а если груз относится к опасным, негабаритным или перевозится на транспортерах, то включаются дополнительные контроли. На основании таких проверок можно построить дерево объектно-ориентированной декомпозиции задач коммерческого осмотра.

Каждый из представителей классов в свою очередь подвергается различным методам проверок и необходимым измерениям, выполняемым при помощи этих методов, таким образом, можно говорить о возможности построения дерева декомпозиции задач коммерческого осмотра не только по объектно-ориентированному принципу, но и по методо-ориентированному принципу. Если в первом случае класс идентифицируется объектом проверки, то во втором случае — методом или алгоритмом.

$$S=\{S_{ij}\}, i=1,...,N, j=1,...,M, \quad (2)$$

где S_{ij} — классы методо-ориентированных проверок;

N — число классов объектов; M — число классов методов.

К методам проверок можно отнести взвешивание, инфракрасное сканирование, лазерное сканирование, нейросетевую фотодиагностику, температурный контроль и радиочастотный контроль. У каждого метода можно определить свою совокупность доступных измерений и проверок. Так, например, при помощи взвешивания можно определить фактическую массу вагона с грузом брутто и на основании полученного измерения и данных информационной модели системы определить соответствие массы груза перевозочным документам, отсутствие перегруза сверх трафаретной грузоподъемности вагона, отсутствие смещения общего центра тяжести груза и отсутствие неравномерной загрузки груза. При помощи лазерного сканирования можно построить фактическую 3D-модель вагона и на основании фактической и предыдущих моделей определить наличие смещения груза в продольном и поперечном направлениях, измерить величину выхода груза за границы штабеля и осуществить другие проверки.

Для каждого класса объектов G_i можно определить совокупность методов S_{ij} , применяемых при интеллектуальном коммерческом осмотре. Так, например, для груза применимы все вышеуказанные методы контроля, а для ЗПУ — только радиочастотный контроль.

На рис. 1 приведено дерево декомпозиции задач коммерческого осмотра с учетом объектно-ориентированного и методо-ориентированного подходов. Ввиду большого количества необходимых измерений, проводимых в ходе проведения ИКО, их детализация в настоящей статье не приводится, указывается лишь сам метод, при помощи которого выполняются измерения и функции контроля.

Корню дерева поставим в соответствие подсистему верхнего уровня, вершинам дерева, отстоящим от корня на одно ребро — подсистемы, реализующие классы комплекса объектно-ориентированных проверок, на два ребра — подсистемы, реализующие методо-ориентированные проверки, на три ребра — подсистемы, реализующие проверяемые условия и т.д. Такое разбиение задач возможно вплоть до достижения неделимых подзадач с точки зрения формирования конечных алгоритмов автодиагностики.

Для структурно-алгоритмического синтеза многоуровневого ИКО введем теорему. В настоящей статье в виду ее ограниченного объема приводятся только формулировки теорем без их доказательства.

Теорема 1. Система ИКО, построенная из подсистем, покрывающих подзадачи основной целевой

задачи системы, покрывает основную целевую задачу системы.

Таким образом, если строить декомпозицию системы на подсистемы изоморфно декомпозиции цели на подцели, то множество действий A системы S покрывает множество целей P тогда и только тогда, когда некоторое множество действий A_{ik} подсистемы C_{ik} покрывает множество подцелей P_{ik} на любом k -м уровне декомпозиции, включая нижний. Следовательно, для такой сложной системы как ИКО можно решать подзадачи по отдельности, что значительно проще сделать.

Теперь перейдем к построению алгебраической системы A ИКО:

$$A = \langle A, Q, R \rangle, \quad (3)$$

где A — непустое множество действий; Q — семейство алгебраических операций; R — семейство отношений.

Так как каждый элемент макроструктуры системы ИКО ориентирован на прием, обработку и передачу информации, то можно характеризовать его деятельность функцией:

$$V_i = F_i(U_i, S_i, W_i), \quad (4)$$

где V_i — выходная информация i -го элемента; F_i — функция состояния элемента; U_i — управляющее воздействие на i -й элемент; S_i — состояние i -го элемента; W_i — входная информация i -го элемента.

Результатирующую информацию можно представить, как функцию состояния элемента макроструктуры, входной информации и управляющего воздействия.

Введем также понятие элементарной неделимой единицы алгоритма ИКО, под которой будем понимать функциональную операцию L — некоторую совокупность действий системы, зависящих только от управляющего воздействия, состояния элемента макроструктуры и его внутренней структуры:

$$L_i = F_i(U_i, S_i), \quad (5)$$

где F_i — функция состояния элементарной неделимой единицы алгоритма; U_i — управляющее воздействие на i -й элемент; S_i — состояние i -го элемента.

Действия при проведении ИКО, описываемые функциональной операцией L можно также назвать «атомарными». Таким образом, определен алфавит функциональных операций или множество основных элементов алгебраической системы:

$$L = F \times U \times S. \quad (6)$$

Определим семейство алгебраических операций Q над элементами алгебраической системы. В процессе проведения ИКО атомарные действия могут выполняться либо последовательно, либо одновременно.

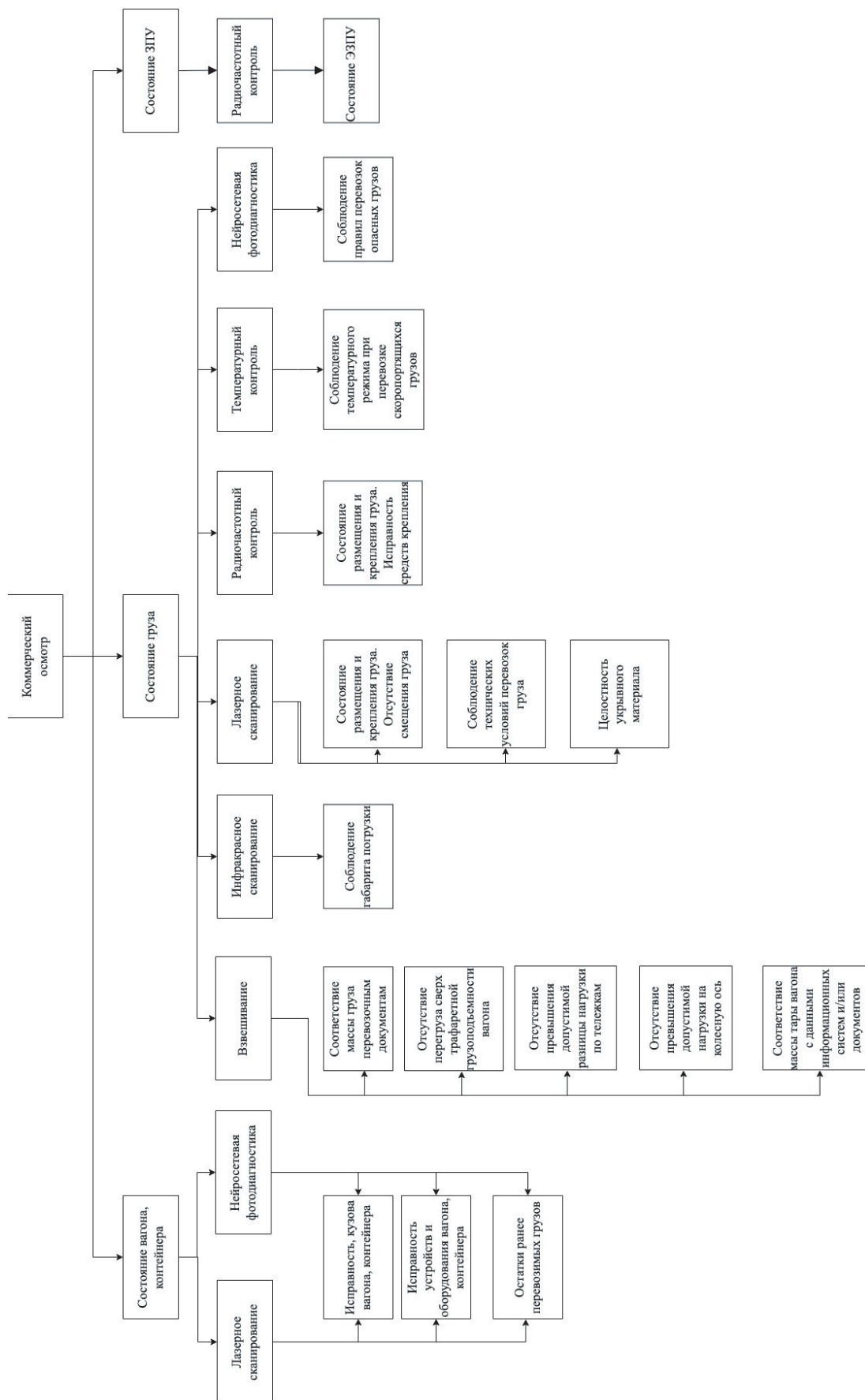


Рис. 1. Дерево декомпозиции задач коммерческого осмотра

Следовательно, над элементами функционального алфавита могут выполняться два вида операций:

- операция $\odot$: выполнить атомарное действие a_2 после выполнения атомарного действия a_1 ;
- операция $\oplus$: выполнить атомарное действие a_2 одновременно с атомарным действием a_1 .

Операция $\odot$ реализует последовательное применение следующей функциональной операции к результату работы предыдущей функциональной операции:

$$\odot : L_j = L_{j-2} \odot L_{j-1} \rightarrow L_j(W) = L_{j-2}(L_{j-1}(W)). \quad (7)$$

Операция $\oplus$ реализует одновременное выполнение двух атомарных функциональных операций:

$$\oplus : L_j = L_i \oplus L_k \rightarrow L_j(W) = \begin{cases} L_i(W_i) \\ L_k(W_k) \end{cases}. \quad (8)$$

Теорема 2. Полученная алгебра A обладает свойствами замкнутости, ассоциативности, дистрибутивности относительно введенных операций $\odot$ и $\oplus$, имеет нулевой, единичный элементы. Операция $\oplus$ является коммутативной, в то время как операция $\odot$ является некоммутативной.

Зададим на алгебре A отношение эквивалентности R_i , разбивающие все множество цепочек действий на

непересекающиеся классы эквивалентности и отождествим их с классами функциональных операций.

В соответствии с классами эквивалентности построим дерево декомпозиции задач ИКО, начинающееся с используемых методов автодиагностики. На рис. 2 приведен фрагмент данного дерева.

Алгебраическая система A , состоящая из множества элементов, двух алгебраических операций и семейства отношений эквивалентности является формальной моделью постановки и решения задач ИКО.

Теперь перейдем непосредственно к построению макроструктуры системы ИКО. Проведение проверок любым из вышеперечисленных методов опирается безусловно на результаты измерений, но также и на некоторое множество данных, характеризующих конкретную грузовую перевозку. В связи с этим при построении макроструктуры системы АСКМ ИКО предусмотрим этапы:

- сбор исходных данных;
- съём информации с различных технических средств;
- проведение собственно подзадач с различными методами проверок;
- синтез заключения по результатам проведенных проверок.

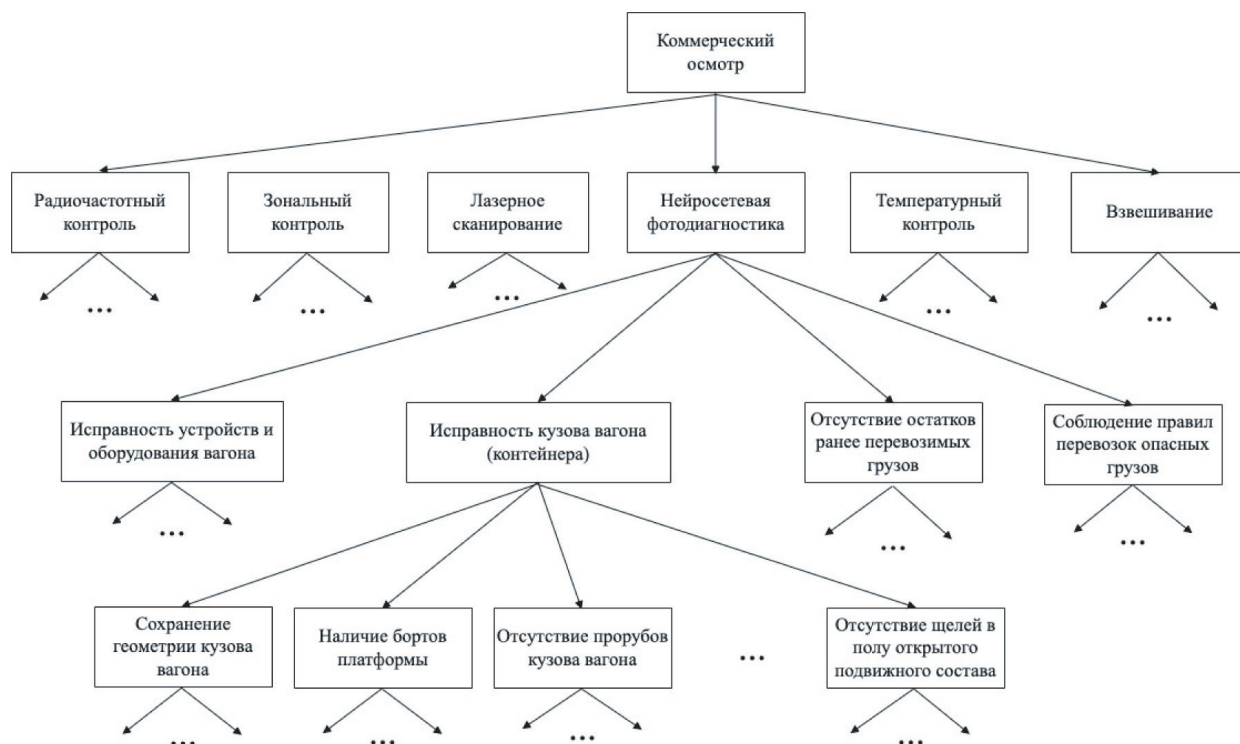


Рис. 2. Фрагмент дерева декомпозиции задач ИКО, построенное в соответствии с классами эквивалентности

Архитектура системы АСКМ ИКО представлена на рис. 3. Централизованный ресурс системы включает сервер приложений, облачное хранилище и нейронную сеть. Сервер приложения взаимодействует с различными модулями технических средств, осуществляющих непосредственный съем информации и передачу результатов измерений.

Укрупненная информационная модель ИКО представлена на рис. 4 и представляет собой систему данных о перевозимом грузе, вагоне и выявленных отклонениях надежности перевозочного процесса.

Модуль взвешивания предполагает автоматическое измерение результатов массы брутто вагона при проследовании состава через электронные вагонные весы. Система АСКМ ИКО получив результаты измерений определяет массу тары вагона, массу груза нетто и сопоставляет получившийся результат с данными, указанными в перевозочном документе, с учетом погрешности измерения на разных вагонных весах при отправлении и на станции проведения коммерческого осмотра. Также полученная масса груза нетто сопоставляется с грузоподъемностью вагона. При условии взвешивания порожнего вагона осуществляется автоматическая проверка массы тары вагона по сравнению с данными, указанными в паспорте вагона системы АБД ПВ. Дополнительные показатели, полученные от электронных вагонных весов, позволяют определить превышение допустимой разницы нагрузки по тележкам и превышение допустимой нагрузки на колесную ось.

Модуль инфракрасного сканирования с помощью специальных датчиков позволяет автоматически,

при проследовании состава через электронные габаритные ворота, определить нарушение габаритов погрузки.

Модуль лазерного сканирования позволяет сформировать 3D-модель вагона и, сопоставив ее с 3D-моделью вагона, полученной во время предыдущего коммерческого осмотра или с эталонной 3D-моделью, автоматически обнаружить смещение груза или нарушение технических условий погрузки, также целостность укрывного материала при его использовании. Система АСКМ ИКО обеспечивает хранение всех 3D-моделей в облачном хранилище и автоматический подбор моделей для сопоставления. Полученные размеры смещения подвергаются интерпретации системой в зависимости от множества параметров, таких как род груза, тип подвижного состава, фактическая масса груза и др.

Модуль нейросетевой фотодиагностики используется для выявления коммерческих неисправностей по фотографиям вагона, сделанным автоматически во время движения состава специально установленными видеокамерами, позволяющими делать фотографии с разных сторон вагона. Все зафиксированные фотоизображения автоматически поступают в облачное хранилище системы АСКМ ИКО и используются для визуального представления самих неисправностей при просмотре результатов и для автоматического обучения нейронной сети.

Используется глубокая сверточная нейронная сеть EfficientNet_b3a. Особенностью архитектуры данной сети является применение множественных инвертированных остаточных блоков, позволяющих умень-



Рис. 3. Архитектура системы АСКМ ИКО

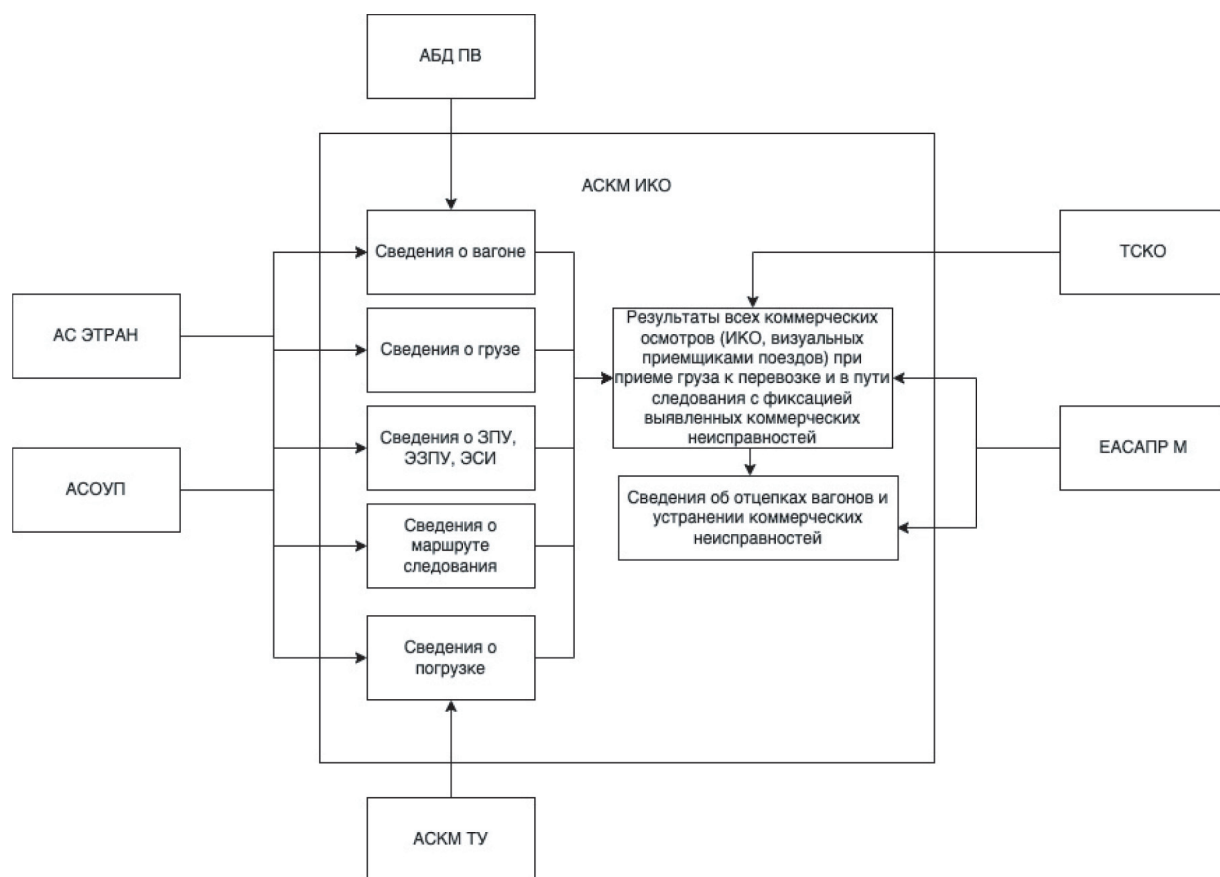


Рис. 4. Укрупненная информационная модель АСКМ ИКО

шить размер модели и уменьшить общее количество операций. Используется метод обучения Transfer Learning. Схема обучения приведена на рис. 5.

Модуль температурного контроля основан на использовании датчиков температуры, устанавливаемых непосредственно в вагоне, транслирующих свое состояние системе АСКМ ИКО. При отклонении от заданных границ система фиксирует нарушение температурного режима.

Радиочастотный контроль позволяет фиксировать состояние и местоположение электронных ЗПУ, устанавливаемых на вагоне, позволяя фиксировать нарушение целостности ЗПУ, а, следовательно, угрозы обеспечению сохранности перевозимого груза.

На основе построенной алгебраической системы A , в ходе выполнения алгоритмов обработки по результатам работы модулей автодиагностики система АСКМ ИКО синтезирует заключение по итогам проведенных проверок с формированием кода коммерческой

неисправности и выводами об итогах коммерческого осмотра.

Результаты

Проведена иерархическая классификация коммерческих неисправностей, построено дерево декомпозиции задач коммерческого осмотра, охватывающее все уровни объектно-ориентированных и методо-ориентированных классов проверок.

Построена формальная рекуррентная модель ИКО, основанная на рекуррентной декомпозиции функциональных операций.

Разработаны методы и алгоритмы проверок по результатам работы методов автодиагностики, разработано и протестировано программное обеспечение централизованного ресурса системы АСКМ ИКО.

Для оценки эффективности функционирования системы использован критерий качества, характеризующий долю достоверно выявленных коммерческих неисправностей, определяемый по формуле:

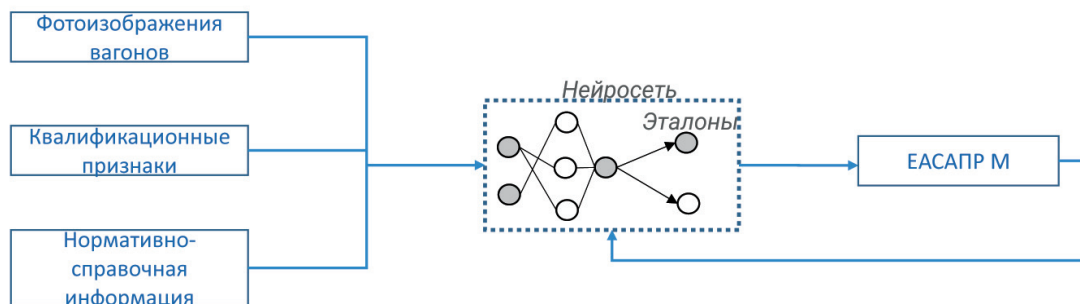


Рис. 5. Схема обучения нейронной сети

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{n_{st}} Z_i}{n_{st}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{st}} \left(1 - \frac{x_i}{y_i}\right)}{n_{st}}, \quad (9)$$

где Z — качество ИКО по всем станциям его проведения; n_{st} — количество станций, на которых проводится коммерческий осмотр; Z_i — качество ИКО на i -й станции; x_i — пропущенные коммерческие неисправности при проведении коммерческого осмотра на i -й станции, выявленные на следующей станции проведения коммерческого осмотра; y_i — общее количество осмотренных вагонов на i -й станции.

В настоящее время на ряде железнодорожных станций установлены обновленные версии системы АСКО ПВ для обеспечения взаимодействия с АСКМ ИКО, в ГВЦ ОАО «РЖД» установлен программно-технический комплекс АСКМ, в том числе развернуто облачное хранилище, настроена нейросеть, проводится процесс ее обучения. На ПТК АСКМ установлена первая очередь программного обеспечения

АСКМ ИКО, развитие программного обеспечения продолжается.

Выводы

Современное развитие технических средств и цифровых технологий позволяет рутинные операции визуального коммерческого осмотра вагонов, требующие непосредственного участия человека, переложить на интеллектуальную систему, что, в свою очередь, позволяет повысить качество обеспечения надежности перевозочного процесса, сокращает время на выполнение необходимых проверок и контролей в пути следования.

Реализация системы ИКО позволит постепенно перейти к созданию дистанционных пунктов коммерческой диагностики, предполагающих полностью автоматическое проведение коммерческого осмотра с использованием установленных комплексов ТСКО и системы АСКМ ИКО. 

Литература

1. Российская Федерация. Законы. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации от 10.01.2013 г. : Федеральный закон № 17-ФЗ (в актуальной редакции) : [принят Государственной Думой 24 декабря 2002 года : одобрен Советом Федерации 27 декабря 2002 года] . - Москва : КонсультантПлюс. - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40443/?ysclid=llusz7rci5745131500 . - Текст : электронный.
2. Российская Федерация. Законы. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации , от 10.01.2003 г. №18-ФЗ (в актуальной редакции) : [принят Государственной Думой 24 декабря 2002 года : одобрен Советом Федерации 27 декабря 2002 года]. - Москва : КонсультантПлюс . - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/?ysclid=llut6ahbfi701630231 . - Текст : электронный.

3. Единый типовый технологический процесс коммерческого осмотра вагонов и поездов на железнодорожных станциях : утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 31.12.2019 г. № 3116/р. - Текст : непосредственный
4. Классификатор коммерческих неисправностей грузовых вагонов : утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 13.03.2020 г. №551/р.- Текст : непосредственный.
5. Перечень и параметры коммерческих неисправностей, выявляемых программно-техническими средствами коммерческого осмотра (ТСКО) в автоматическом режиме : утверждены ЦФТО ОАО «РЖД» от 28.05.2021 г. № ЦФТО-203. - Текст : непосредственный.
6. Технические и технологические решения по информационному взаимодействию инновационных программно-технических средств проведения коммерческого осмотра (ТСКО) и АСКМ : утверждены ЦФТО ОАО «РЖД» от 30.07.2021 г. № ЦФТО-270. - Текст : непосредственный.
7. Методика комплексного анализа и интеллектуальной обработки данных, полученных в результате диагностики состояния размещенного на подвижном составе груза программно-техническими средствами проведения коммерческого осмотра (ТСКО) : утверждены ЦФТО ОАО «РЖД» от 04.10.2021 № ЦФТО-330 . - Текст : непосредственный.
8. Алгоритмы анализа результатов коммерческого осмотра вагонов в сравнении с результатами предыдущего коммерческого осмотра (на предыдущем ПКО, ПКБ, ПКД) : утверждены ЦФТО ОАО «РЖД» от 27.10.2021г. № ЦФТО-357. - Текст : непосредственный.
9. Алгоритмы принятия решения по каждой коммерческой неисправности, включенной в «Перечень и параметры коммерческих неисправностей, выявляемых ТСКО в автоматическом режиме : утверждены ЦФТО ОАО «РЖД» от 11.11.2021 г. № ЦФТО-369. - Текст : непосредственный.
10. Алгоритмы комплексного автоматизированного анализа и интеллектуальной обработки данных, полученных от ТСКО : утверждены ЦФТО ОАО «РЖД» от 21.12.2021 г. № ЦФТО-426 . - Текст : непосредственный.
11. Нутович , В. Е. Проблемно-ориентированная система принятия решений по обеспечению безопасности и сохранности грузовых перевозок / В.Е. Нутович . - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта . - 2019 . - № 3 . - С . 99 - 107 .

ПРОВЕДЕНИЕ ПРИЕМОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖЕК ДВУХЭТАЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПРОЕКТА «ВАГОН 2020»



С.Л. Самошкин



О.С. Сачкова

В статье описан алгоритм приемочных испытаний пневматического рессорного подвешивания тележек двухэтажных пассажирских вагонов проекта «Вагон 2020». Разработаны и согласованы методики приемочных испытаний пневматического рессорного подвешивания пассажирских вагонов локомотивной тяги, испытания проводились в стационарных условиях и на путях.

Ключевые слова: безопасность движения, безопасность подвижного состава, приемочные испытания, модели вагонов

EDN: PHGIXQ

Работая над повышением комфортабельности и безопасности вагонов ООО «ТМХ Инжиниринг» по заданию АО «ФПК» разработан проект инновационных пассажирских вагонов «Вагон 2020». В рамках данного проекта спроектирована серия двухэтажных вагонов (рис. 1).

Одним из важнейших элементов ходовых частей подвижного состава и пассажирских вагонов в частности является рессорное подвешивание. От рессорного подвешивания зависит плавность хода при

движении вагона, в особенности при прохождении стыковых соединений и продольных неровностей рельсов, крестовин и др. В этих случаях происходит колебание подвижного состава и возникают динамические силы, действующие на элементы конструкции вагона, пассажиров и перевозимый груз.

Для повышения комфорта и качества обслуживания пассажиров, в конструкции пассажирских вагонов должна использоваться ходовая часть, в центральном

Самошкин Сергей Львович, доктор технических наук, начальник управления научно-технического обеспечения и развития, Акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»). Область научных интересов: экспериментальная и методическая база надежности и безопасности подвижного состава. Автор более 90 научных работ.

Сачкова Оксана Сергеевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» (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.

Зайцев Андрей Валентинович, начальник отдела исследования ходовых частей и тормоза, Акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»). Область научных интересов: проведение испытаний, разработка методик ходовых испытаний, анализ результатов испытаний подвижного состава.

Кружинов Михаил Александрович, ведущий инженер отдела исследования ходовых частей и тормоза, Акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»). Область научных интересов: проведение испытаний, разработка методик стационарных испытаний подвижного состава.

Климова Диана Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность транспортных систем городских агломераций, системный анализ безопасности, охрана труда. Автор более 110 научных работ, в том числе 10 учебных пособий.



Рис. 1. Спроектированные вагоны

рессорном подвешивании тележек которой в качестве упругих элементов применены пневморессоры.

Вплоть до 2020 года под пассажирские вагоны подкатывались исключительно тележки моделей 68-4065 (68-4066) и 68-4095 (68-4096), в центральной и буксовой ступенях рессорного подвешивания которых в качестве упругим элементом использовались витые (винтовые) цилиндрические пружины. При разработке скоростного поезда «Невский экспресс» для скоростей движения (до 200 км/ч включительно) была использована двухосная тележка безлюничного типа модели 68-4075 (68-4076) с дисковым и магниторельсовым тормозами. Эти тележки близки по конструкции тележкам модели 68-4095 (68-4096) и, в основном, отличаются жесткостью пружин и поводков, а также характеристиками гидравлических демпферов.

Впервые пневморессоры в отечественном пассажирском вагоностроении были применены для пассажирских вагонов скоростного (до 200 км/ч включительно) поезда «Русская тройка» (РТ200). Конструкция тележки, которая получила обозначение ТСК-1, подробно описана в [1–3]. Следует отметить, что предыдущая тележка модели ТСК-1 с пневматическим центральным рессорным подвешиванием, которая подкатывалась под пассажирские вагоны локомотивной тяги скоростного поезда «Русская тройка», была разработана Калининским вагоностроительным заводом в конце 60-х годов XX века.

При проектировании тележки с пневмоподвешиванием для вагонов проекта «Вагон 2020» были использованы наработки, полученные при создании, испытаниях и эксплуатации тележек с пневмоподвешиванием моделей 68-4112 и 68-4113 электропоезда ЭГ2Тв «Иволга».

Новая тележка получила модельный индекс 68-4118. Испытаниям подвергались тележки с центральным пневмоподвешиванием модели 68-4118, установленные под двухэтажные пассажирские вагоны проекта «Вагон 2020». На рис. 2 показана тележка пассажирская с пневмоподвешиванием модели 68-4118 для вагонов локомотивной тяги [4].

Пневматическая система вагонов трех моделей унифицирована. Принципиальная пневматическая схема вагонов представлена на рис. 3.

Сжатый воздух к вагону подается от локомотива через соединительный рукав типа Р17Б и питательную магистраль к блокам тормозного оборудования БТО 050-2 и БТО 051. Применение блоков тормозного оборудования позволило совместить в компактных корпусах элементы управления тормозами (пневматический и электрический воздухораспределители, разобщительные краны), элементы управления рессорного подвешивания (предохранительные, обратные и управляющие клапаны, разобщительные краны, редукторы) и диагностическое оборудование (датчики давления), позволяющее в режиме реального времени контролировать состояние пневматического

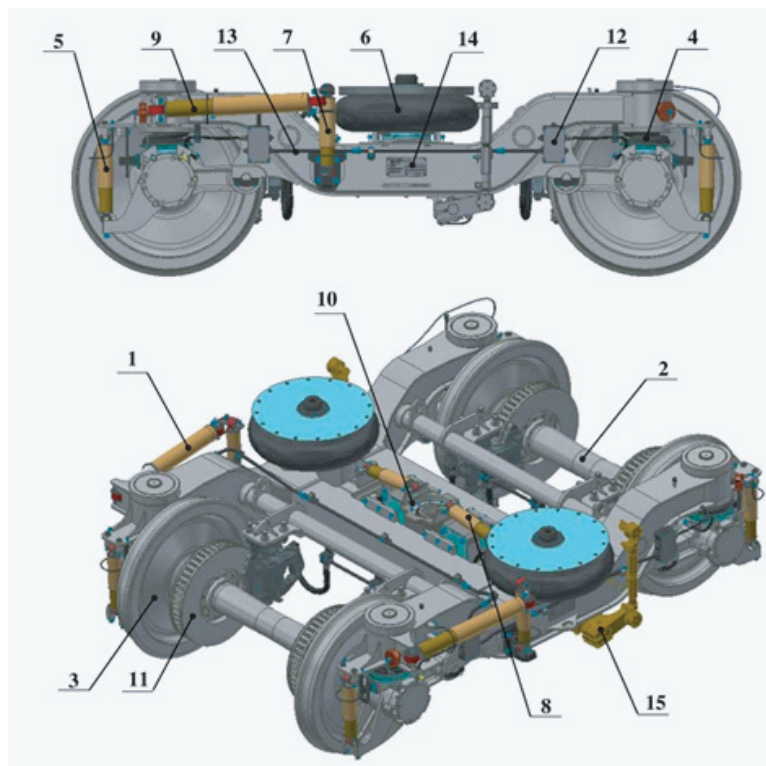


Рис. 2. Тележка пассажирского двухэтажного вагона модели 68-4118: 1 – рама с кронштейнами; 2,3 – колесная пара; 4 – пружинное буксовое подвешивание; 5 – демпфер гидравлический буксовый; 6 – пневморессора; 7 – демпфер гидравлический вертикальный; 8 – демпфер гидравлический горизонтальный; 9 – демпфер гидравлический виляния; 10 – шкворневое соединение; 11 – тормоз дисковый; 12 – клеммная коробка; 13 – трубопровод; 14 – табличка фирменная; 15 – стабилизатор торсионный

оборудования с выводом соответствующих данных на экран пульта вагона.

После достижения давления сжатого воздуха в питающей магистрали значения 0,6 МПа и зарядки резервуаров питания тормозного оборудования, через регуляторы положения кузова (РПК) происходит наполнение пневморессор. При достижении высоты пола кузова вагона относительно уровня верха головок рельсов нормативного значения, связанные тягами с рамой тележки РПК перекрывают подачу сжатого воздуха к пневморессорам. Выпуск сжатого воздуха из пневморессор ограничивают обратные клапаны.

Для ограничения высоты подъема кузова в случае неисправности РПК предусмотрены предохранительные клапаны, установленные на кузове вагона и связанные с рамой тележки гибкими канатами.

В случае необходимости (неисправность, техническое обслуживание и ремонт и др.) блоки тормозного оборудования вагона позволяют ограничить зарядку пневморессор сжатым воздухом путем перекрытия соответствующих разобщительных кранов.

Опишем далее методику проведенных испытаний тележки. В соответствии с требованиями [5;6] опытные образцы подвижного состава должны проходить приемочные испытания. Программы приемочных испытаний 4523.00.00.000 2ПМ [7], 4524.00.00.000 2ПМ [8] и 4525.00.00.000 2ПМ [9], разработанные ОАО «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ»), предполагают проверку показателей работоспособности рессорного подвешивания согласно рис. 4.

Все показатели, перечисленные на рис. 4, контролировались в статичном положении вагона (стационарно). Проверка показателя «Проверка поддержания на заданном уровне высоты пола вагона относительно рамы тележки» проходила не только стационарно, но и в процессе движения поезда, сформированного из нескольких вагонов со схожим рессорным подвешиванием (ходовые испытания).

Стандартизированные методики испытаний пневматического рессорного подвешивания пассажирских вагонов локомотивной тяги отсутствуют. Поэтому первоочередная задача, поставленная в ходе испытаний,

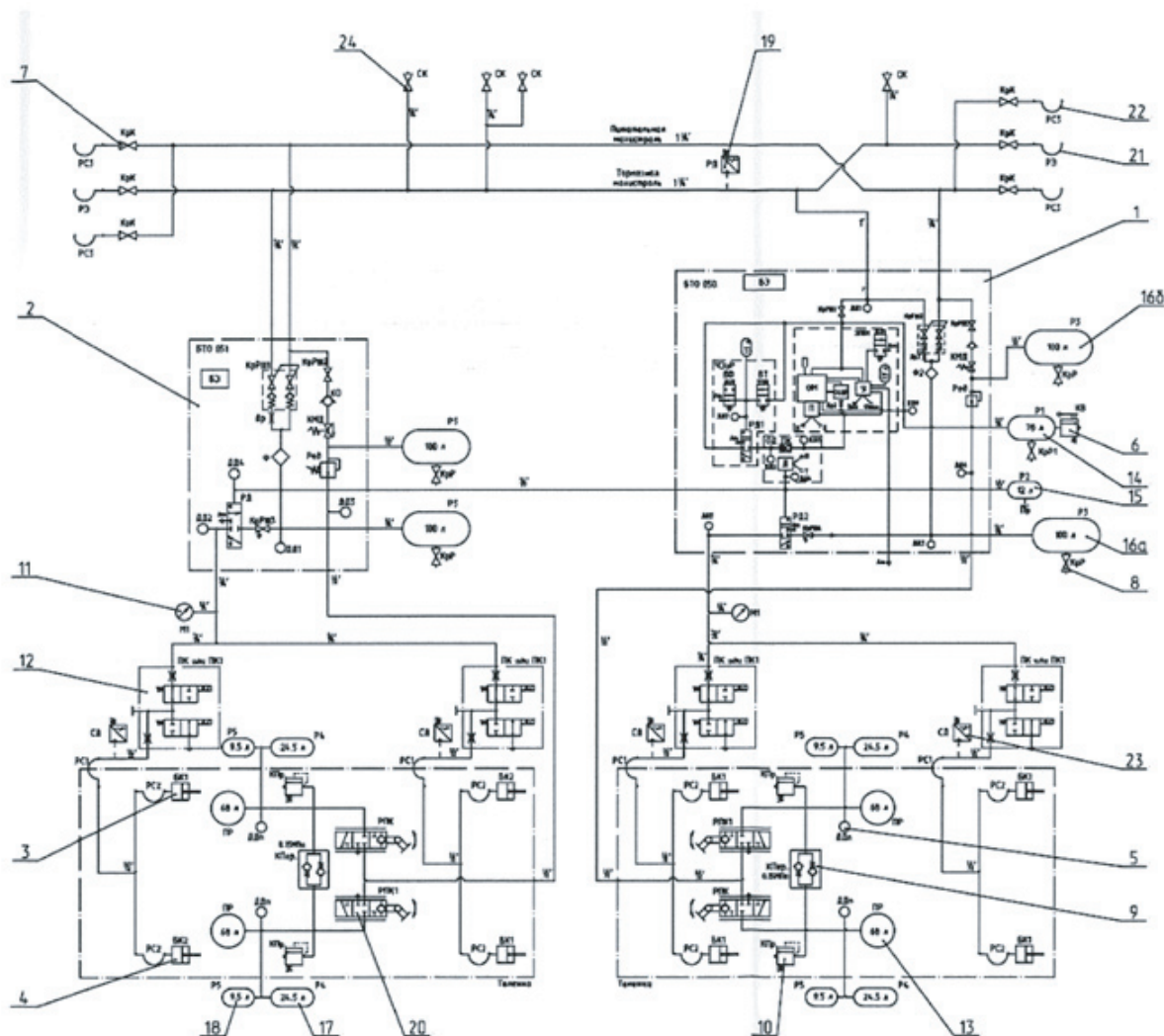


Рис. 3. Пневматическая схема тележки пассажирского двухэтажного вагона модели 68-4118:

1 – блок тормозного оборудования БТО 050-02; 2 – блок тормозного оборудования БТО 051; 3 – блок клещевых механизмов WZT...X; 4 – блок клещевых механизмов WZT...H; 5 – датчик давления; 6 – клапан выпускной 4315; 7 – клапан концевой 4314; 8 – кран 4302; 9 – клапан перепускной; 10 – клапан выпускной 4315; 11 – манометр; 12 – клапан противоюзный ASV1-1 или пневмомодуль ПМ-02-02 (07); 13 – пневморессора; 14 – резервуар P7-78 («запасный»); 15 – резервуар P7-12; 16a – резервуар P10-100 («питательный» для дискового тормоза); 16b – резервуар P10-100 («питательный» для пневмоподвешивания); 17 – адаптер; 18 – резервуар P10-9 («дополнительный»); 19 – пневматический выключатель (применяется только при установке ASV1-1); 20 – клапан пневморессоры или регулятор положения кузова; 21 – рукав 369А; 22 – рукав P17-Б; 23 – сигнализатор давления 115 (применяется только при установке ПМ-02-02); 24 – стоп-кран 163

заклучалась в разработке оригинальных методик приемочных испытаний, В соответствии с требованиями ГОСТ 15.902-2014 [5] были разработаны и согласованы в установленном порядке методики приемочных испытаний для каждой модели вагона. По результатам работ были согласованы и утверждены методики приемочных работ ТИВ-4523-2/07-20 [10], ТИВ-4524-3/07-20 [11] и ТИВ-4525-2/07-21 [12].

В соответствии с разработанными и утвержденными методиками испытания проводились на всех вагонах проекта в стационарных условиях и на путях Октябрьской железной дороги при движении специально сформированного поезда, включающего в себя все три модели вагонов.

Рассмотрим более подробно алгоритм проводимых испытаний.



Рис. 4. Показатели работоспособности

• Испытания по показателю «Проверка поддержания на заданном уровне высоты пола вагона относительно рамы тележки»

Испытания по показателю «Проверка поддержания на заданном уровне высоты пола вагона относительно рамы тележки» (в стационарных условиях) проводились путем измерения размера от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом полностью экипированного и груженого вагона.

Испытания по показателю «Проверка поддержания на заданном уровне высоты пола вагона относительно рамы тележки» (в составе поезда) проводились согласно рис. 5.

Далее определялось фактическое значение размера от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом вагона, по формуле

$$h = h_0 + \Delta, \quad (1)$$

где h — фактическое значение размера от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом вагона, мм;

h_0 — размер от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом вагона, определенный до проведения динамических испытаний (движения поезда), мм;

Δ — динамическое перемещение кузова вагона относительно рамы тележки в вертикальном направлении, мм.

Динамическое перемещение кузова вагона относительно рамы тележки в вертикальном направлении Δ , мм, определялось по формуле

$$\Delta = \sqrt{h_B^2 - h_{\Gamma}^2}, \quad (2)$$

где h_B — значения хода вертикальных гидравлических демпферов, мм;

h_{Γ} — значения хода поперечных гидравлических демпферов, мм.

Путем измерения, определялся размер от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом вагона, на брутто вагона после движения поезда (вагон при этом должен находиться в заторможенном (статичном) состоянии на прямолинейном участке пути).



Рис. 5. Алгоритм испытания по показателю «Проверка поддержания на заданном уровне высоты пола вагона относительно рамы тележки»

• Контроль показателя «Проверка быстрого выпуска воздуха из одной пневморессоры при повреждении другой».

При подготовке к испытаниям из всех резервуаров Р10-9 выкручивались заглушки и вкручивались вместо них спускные краны для быстрого выпуска воздуха из пневморессоры, что имитировало повреждение пневморессоры. В каждую пневморессору устанавливались, вместо штатного датчика давления ADZ-SML-16.0, преобразователь давления измерительный СДВ-И-1,00-4-20мА-D3226-0135-3 и подключались к усилителю измерительному MGСplus. Графики с преобразователей давления измерительных выводились на экран компьютера.

Далее происходила зарядка системы высоторегулирования сжатым воздухом давлением от 0,67 до 0,8 МПа до момента выравнивания давлений во всех пневморессорах.

Производился выпуск воздуха через спускной кран из одного резервуара Р10-9 (имитация повреждения пневморессоры). Контролировалась разница давлений в пневморессорах одной тележки, при которой начи-

нается выпуск сжатого воздуха из неповрежденной пневморессоры. Дополнительно контролировалось фактическое время выпуска сжатого воздуха из неповрежденной пневморессоры от момента начала снижения давления в неповрежденной пневморессоре до величины избыточного давления, равной 0 МПа. Время изменения давления в неповрежденной пневморессоре определялось по графику. Испытания проводились на tare и брутто вагона для каждой пневморессоры.

• Испытания по показателю предотвращения повышения (понижения) подвески до максимальной (минимальной) высоты.

Испытания по показателю предотвращения повышения (понижения) подвески до максимальной (минимальной) высоты производились путем замера высоты пола вагона относительно рамы тележки (замером размера от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом вагона) на tare и брутто вагона.

При подготовке к испытаниям в каждую пневморессору устанавливался вместо штатного датчика

давления ADZ-SML-16.0 преобразователь давления измерительный СДВ-И-1,00-4-20мА-D3226-0135-3 и подключался к усилителю измерительному MGCplus. Графики с преобразователей давления измерительных выводились на экран компьютера.

Для определения максимального уровня высоты пола вагона относительно рамы тележки устанавливался уровень пола вагона относительно рамы тележки в размер $285 + 15$ мм, изменяя длину тяг клапанов пневматической рессоры. Далее увеличивалась длина тяг на 5 мм от ранее установленного уровня.

Измерялся размер от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом вагона на каждой пневморессоре. Высота пола вагона относительно рамы тележки при нагрузках вагона тара/брутто должна была соответствовать нормативному значению, при этом предохранительные клапаны должны были ограничить подъем кузова относительно рамы тележки.

Для определения минимального уровня высоты пола вагона относительно рамы тележки необходимо было снизить давление в пневморессорах до 0 МПа

и измерить размер от опорной поверхности пневморессоры на раме тележки до верхней поверхности пневморессоры, контактирующей с кузовом вагона на каждой пневморессоре.

• Контроль показателя «Проверка системы передачи информации о техническом состоянии пневматической подвески на пульт управления электрооборудования вагона в режиме реального времени».

Система контроля, диагностики и управления (СКДУ) вагона позволяет контролировать текущее состояние тормозной системы и системы высоторегулирования через сбор данных с датчиков (ДД) блоков тормозного оборудования БТО-050 (рис. 6) и БТО-051 (рис. 7).

С одного конца вагона к одному из рукавов Р17Б питательной магистрали подсоединяется источник сжатого воздуха, выходное давление которого составляло от 0,69 до 0,88 МПа (нормативное давление в питательной магистрали вагона).

К рукаву 369А тормозной магистрали (ТМ) того же конца вагона подключался универсальный передвижной стенд и прибор П-ЭПТ для приведения в действие и отпуска автоматического пневматического тормоза

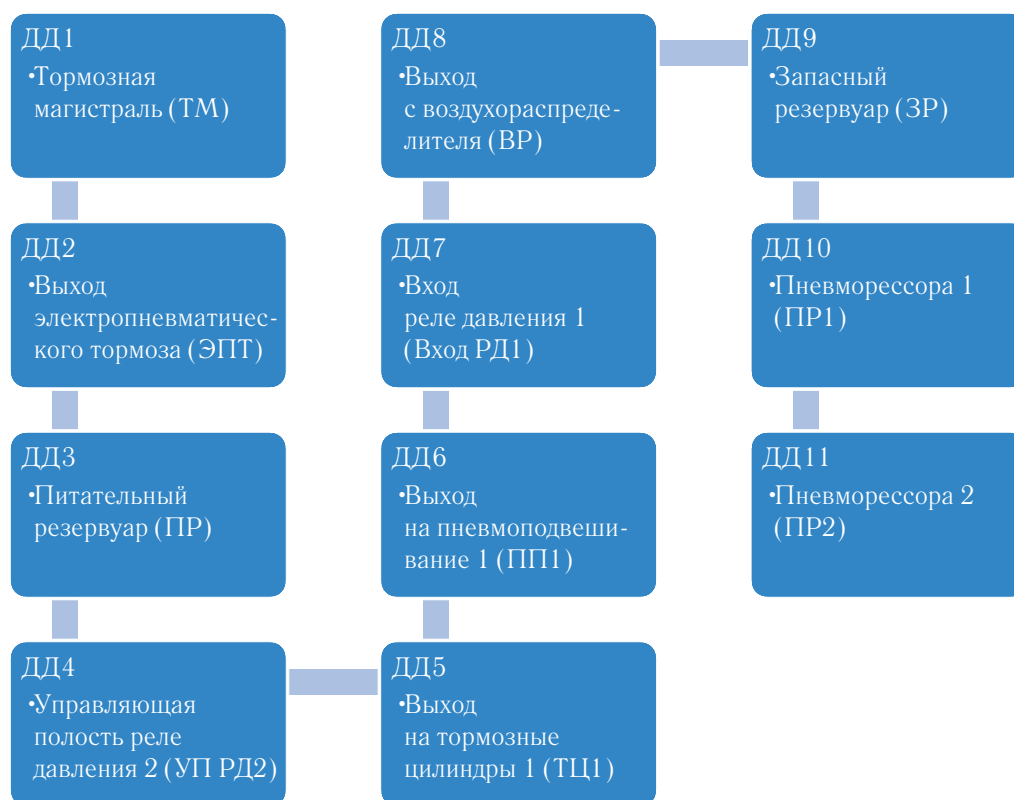


Рис. 6. Датчики БТО-050

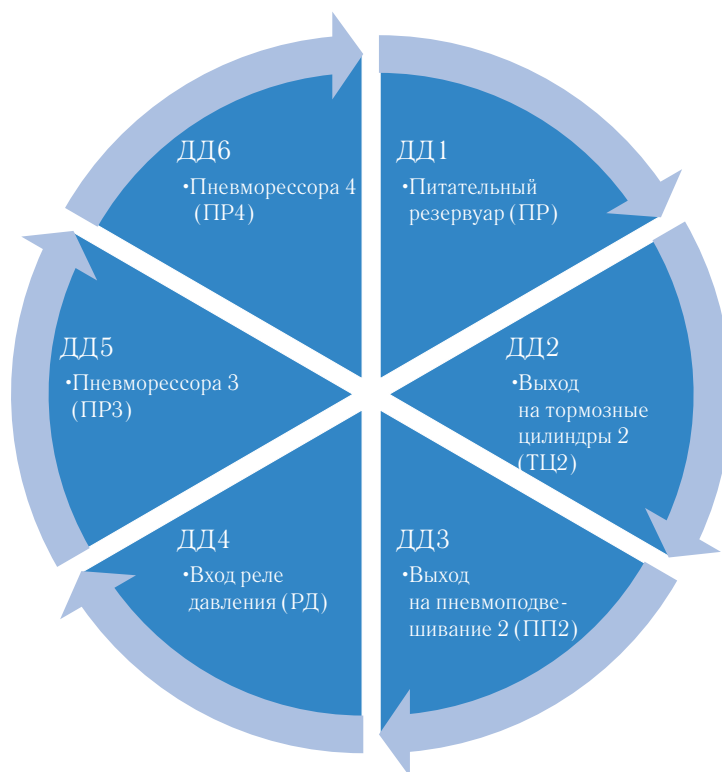


Рис. 7. Датчики БТО-051

и электропневматического тормоза соответственно. Универсальный передвижной стенд также позволял контролировать фактическое давление сжатого воздуха в ТМ.

С противоположного конца вагона к одному из рукавов Р17Б питательной магистрали через соединительный рукав подключается преобразователь давления ОВЕН ПД-100 для контроля давления сжатого воздуха в питательной магистрали. Второй рукав Р17Б фиксировался на изолированной подвеске, установленной на кузове вагона, и перекрывался концевым краном 4314. Рукав 369А ТМ также фиксировался на изолированной подвеске для управления электропневматическим тормозом вагона.

В один из резервуаров Р10-9 вместо штатной заглушки устанавливался преобразователь давления ОВЕН ПД-100 для контроля наличия сжатого воздуха в пневморессорах.

Преобразователи давления ОВЕН ПД-100 подключаются к измерительному усилителю MGCplus_RU.

После установки испытательного оборудования и средств измерений один из испытателей располагался в служебном помещении (купе) вагона для контроля показаний СКДУ.

До подачи сжатого воздуха в магистрали вагона все датчики БТО-050 (ДД1–ДД11) и БТО-051 (ДД1–ДД6) должны были указывать на отсутствие избыточного давления сжатого воздуха в тормозной системе и системе рессорного подвешивания. Дополнительно отсутствие избыточного давления контролировалось по показаниям манометров универсального передвижного стенда и преобразователям ОВЕН ПД-100. Дополнительно визуально проверялся отпуск тормоза по наличию зазора между тормозными накладками клещевых механизмов и тормозными дисками.

После контроля отсутствия избыточного давления сжатого воздуха все переключатели и краны БТО-050 и БТО-051 в соответствии с эксплуатационной документацией на вагон переводились в положения для режима «Штатный короткосоставный поезд».

Испытатель, управляющий испытательным оборудованием, давал команду о начале испытаний испытателю, находящемуся в служебном помещении (купе) вагона, открывал концевые краны 4314, к рукавам которых подключено испытательное оборудование и средства измерений и начинал зарядку ТМ ($5,0–5,2 \text{ кгс/см}^2$) и питательной магистрали ($0,69–0,88 \text{ МПа}$). Процесс зарядки контролировался по показаниям

преобразователя ОВЕН ПД-100 и манометра универсального передвижного стенда.

Далее проводился контроль передачи информации на пульт вагона через СКДУ о состоянии рессорного подвешивании и пневматического оборудования. Для этого производились различные манипуляции и воздействия на элементы пневматической сети (рис.8).

В процессе проведения приемочных испытаний в рамках ГОСТ 15.902-2014 [5] опытных образцов вагонов моделей 61-4523, 61-4524 и 61-4525 (в частности, испытания пневматического рессорного подвешивания) было установлено, что вагоны соответствуют требованиям технического задания. По решению приемочной комиссии (ОАО «РЖД», АО «ФПК», ООО «ТМХ Инжиниринг», ОАО «ТВЗ», АО

НО «ТИВ» и др.) конструкторской документации на вагоны была присвоена литера «О1» [13–15].

После прохождения процедуры обязательного подтверждения соответствия требованиям технического регламента ТР ТС 001/2011 [6], ОАО «Тверской вагоностроительный завод» получил сертификаты соответствия на вагоны указанных моделей, что подтверждает безопасность вагонов с пневматическим рессорным подвешиванием как для пассажиров, так и для железнодорожной инфраструктуры. Таким образом, инновационные решения современного транспортного машиностроения по результатам комплексных испытаний доказали право на жизнь и получили признание как стороны контролирующих органов, так и тех, кто ежедневно пользуется услугами железнодорожного транспорта. 



Рис. 8. Манипуляции и воздействия на элементы пневматической сети, необходимые при проведении испытаний

Литература

1. Вагоны : Проектирование, устройство и методы испытаний / Л.Д. Кузьмич, А.В. Кузнецов, Б.А. Ржавинский [и др.] ; под ред. Л.Д. Кузьмича. - Москва : Машиностроение, 1978. - 376 с. - Текст : непосредственный .
2. Вагоны : Конструкция, теория и расчет : учебник для вузов железнодорожного транспорта / Л.А.Шадур [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук , проф. Л. А. Шадура. - 3 -е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1980. - 439 с. - Текст : непосредственный .
3. Лукин , В. В. Вагоны. Общий курс: учебник для вузов железнодорожного транспорта / В.В. Лукин, П.С. Анисимов , Ю.П. Федосеев ; под ред. В. В. Лукина . - Москва : Маршрут, 2004. - 424 с. - Текст : непосредственный .
4. НВТБ.667112.018 ТУ . Тележка пассажирского вагона. Модель 68-4118. Технические условия — Тверь: ООО «ТМХ Инжиниринг», 2020. -31 с. - Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 15.902-2014 . Система разработки и постановки продукции на производство. Железнодорожный подвижной состав. Порядок разработки и постановки на производство = System of development and launching into manufacture. Railway rolling stock. Procedure of development and launching into manufacture: издание официальное: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 ноября 2014 г. № 1494-ст : дата введения 2015-03-01. - Москва : Стандартиформ, 2019. - 46 с. -Текст: непосредственный.
6. ТР ТС 001 . Технический регламент «О безопасности железнодорожного подвижного состава» : БелГИСС, 2012. - 46 с. - Текст : непосредственный.
7. 4523.00.00.000 2ПМ . Вагон пассажирский двухэтажный купейный со спальными местами. Модель 61-4523. Программа приемочных испытаний . - Тверь: ОАО «ТВЗ», 2020. - 28 с.-Текст:непосредственный.
8. 4524.00.00.000 2ПМ. Вагон пассажирский двухэтажный купейный штабной со спальными местами. Модель 61-4524. Программа приемочных испытаний . - Тверь: ОАО «ТВЗ», 2020. - 24 с. - Текст : непосредственный .
9. 4525.00.00.000 2ПМ. Вагон-ресторан двухэтажный локомотивной тяги. Модель 61-4525. Программа приемочных испытаний . - Тверь: ОАО «ТВЗ», 2021. - 21 с. - Текст : непосредственный
10. ТИВ-4523-2/07-20 . Вагон пассажирский двухэтажный купейный со спальными местами. Модель 61-4523. Методика приемочных испытаний . - Тверь: АО НО «ТИВ», 2021. - 10 с.- Текст : непосредственный.
11. ТИВ-4524-3/07-20 . Вагон пассажирский двухэтажный купейный штабной со спальными местами. Модель 61-4524. Методика приемочных испытаний . - Тверь: АО НО «ТИВ», 2021. - 10 с. - Текст : непосредственный.
12. ТИВ-4525-2/07-21 . Вагон-ресторан двухэтажный локомотивной тяги. Модель 61-4525. Методика приемочных испытаний (проверка системы передачи информации о техническом состоянии пневматической подвески на пульт управления электрооборудования вагона в режиме реального времени) . - Тверь: АО НО «ТИВ», 2021. - 20 с. - Текст : непосредственный .
13. НВТБ.661213.011 ТУ . Вагон пассажирский двухэтажный купейный со спальными местами. Модель 61-4523. Технические условия . - Тверь: ООО «ТМХ Инжиниринг», 2021. - 88 с. - Текст: непосредственный.
14. НВТБ.661213.012 ТУ . Вагон пассажирский двухэтажный купейный штабной со спальными местами. Модель 61-4524. Технические условия . - Тверь: ООО «ТМХ Инжиниринг», 2020. - 91 с.- Текст :непосредственный.
15. НВТБ.661212.013 ТУ . Вагон-ресторан двухэтажный локомотивной тяги. Модель 61-4525. Технические условия — Тверь: ООО «ТМХ Инжиниринг», 2020. - 96 с. - Текст : непосредственный.
16. Сачкова, О. С. Обеспечение экологической безопасности пассажирских вагонов локомотивной тяги / О. С. Сачкова, Е. А. Арсентьева . - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. - 2021. - № 1(33). - С. 74-78. - EDN: UBOFGC.
17. Сачкова, О. С. Анализ результатов санитарно-гигиенических исследований матов подбалластных, предназначенных для снижения вибрационного воздействия от подвижного состава / О. С. Сачкова, В. В. Самойлов, Д. А. Райлян . - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. - 2021. - № 4(36). - С. 63-66. - EDN: TZZEAR.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РТУТНО-ПЛЕНОЧНОГО И ГРАФИТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



А.А. Демидов



А.В. Матешева

Были изучены различные подходы к обнаружению неорганического селена в водной среде с использованием электрохимических методов. В ходе исследования установлено, что селен не осаждается на поверхности графитового электрода при его наличии в растворах. Было определено влияние различных параметров (содержание фоновых электролитов, рН, потенциал и время накопления) на аналитический сигнал ионов селенида.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, водная среда, ртутно-плёночный электрод, фоновый электролит, потенциал накопления

EDN: LJZTSA

Основные способы взаимодействия железнодорожного транспорта с окружающей средой включают: изменение территории при строительстве путей, станций, депо и ремонтных предприятий; потребление топлива и электроэнергии; использование воды предприятиями и подвижным составом, а также выбросы различных твердых, жидких и газообразных веществ в окружающую среду.

Железнодорожные предприятия являются главным источником загрязнения сточных вод. Источниками токсичных веществ, присутствующих в сточных водах предприятий транспорта, являются: промывочные и пропарочные пункты, локомотивные и вагонные депо, гальванические и вагоноремонтные заводы, аккумуляторные и другие цеха. На этих объектах сточные воды содержат повышенное количество соединений селена,

смесей углеводородов, производных нефтепродуктов, фенолов (C_6H_6), солей тяжелых металлов, ПАВ, ЛКМ, кислот и щелочей. Наличие этих химических соединений не позволяет непосредственно очищать сточные воды из-за высокой токсичности, поэтому требуется контроль, проводимый путем определения уровней концентрации этих веществ в лабораторных условиях.

Таким образом, актуальным вопросом исследований является разработка (обоснование применения имеющихся) методов обнаружения химических веществ. Основное требование, предъявляемое к ним — низкие трудозатраты при использовании. В настоящее время, применение имеющихся методов обусловлено наличием в лабораториях высокотехнологичного оборудования. Успешное освоение новых

Демидов Артем Андреевич, аспирант кафедры «Химия и инженерная экология» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрохимические методы анализа, загрязнение водной среды, экологическая безопасность транспортных систем. Автор 40 научных работ.

Матешева Анна Владимировна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории моделирования атмосферного переноса Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук, доцент, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экологическая безопасность транспортных систем, экологические риски для человека, загрязнение производственной среды. Автор 90 научных работ.

Пашинин Валерий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Химия и инженерная экология» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: химическая безопасность, экологическая безопасность транспортных систем. Автор 173 научных работ.

А.А. Демидов, А.В. Матешева, В.А. Пашинин

**«МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РТУТНО-ПЛЕНОЧНОГО
И ГРАФИТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»**

методов позволит сократить уровень загрязнения окружающей среды.

Накопленный опыт в обнаружении химических веществ свидетельствует о том, что вольтамперометрические методы (ВАМ-методы) зарекомендовали себя крайне эффективными для определения ультрамикроэлементов. Такое превосходство заключается в их высокой чувствительности. ВАМ-методы нашли широкое применение для обнаружения примеси металлов с низкими концентрациями порядка 10 нмоль/л. ВАМ-методы также удовлетворяют требованиям, обозначенным в работе и являются универсальными для применения в производственных, специальных и полевых условиях. Ввиду этого такие способы имеют огромный потенциал для их внедрения в интересах медицины, экологической стабильности и производственной безопасности.

Таким образом, научные исследования в рамках развития ВАМ-методов для обнаружения различных форм Se являются целесообразными.

Проведение экологического мониторинга Se плотно сопряжено с использованием стационарного висящего капельного Hg электрода (тип «висячая капля»). При этом здоровье специалиста, применяющего инверсионную ВАМ, находится под угрозой (токсичность паров и соединений Hg). Поэтому активно используют стационарные и вращающиеся электроды, за исключением капельного ртутного. В работах [4;5] описаны процессы, протекающие при использовании твердого графитового (С), Pt, Au и ртутно-пленочного (РПЭ), золото-графитового (ЗГЭ), толстопленочного электродов.

В данной работе был использован ВАМ-анализатор «Экотест-ВА», позволяющий осуществлять электроаналитические измерения. Смешивание рабочих жидкостей производили при помощи магнитного миксера (мешалки). Магнитный стержень предварительно был покрыт $(C_2F_4)_n$.

Экспериментальная часть и результаты исследования

При проведении эксперимента было принято решение использовать электроды, указанные в табл. 1. Исследуемые растворы контактировали с ЭВП-1 посредством шлифа, заполненного насыщенным раствором KCl. Используя беззольный бумажный фильтр, авторы регенерировали поверхность электрода сравнения. Предварительно фильтр был вымочен в чистом C_2H_6O и осуществлена электрохимическая обработка в 0.1М растворе HNO_3 . При этом потенциал электролиза составил $U=100$ мВ, время обработки $t=200$ с.

Условиями формирования ртутно-графитового электрода (РГЭ) явились:

1. Время электролиза $t_3=310$ с.
2. Концентрация ионов ртути $C_{Hg}^{2+}=2.1$ г/л.
3. Потенциал электролиза $U=-900$ мВ.

Для измерения pH водных растворов был использован одноканальный анализатор жидкости «Эксперт-001». Программный продукт «ВА-95» позволил зарегистрировать значения тока (площадь пика). Регистрация была произведена за счет построения точек касания базовой линии и ВАМ (графическим методом). Анализ данных и статистическую обработку производили в программной среде «Origin».

При проведении экологической экспертизы окружающей среды вблизи объектов железнодорожного транспорта собирались пробы поверхностных вод. Для забора жидкостей было принято решение задействовать пробоотборник ПЭ-1105. Для хранения проб использовали заранее подготовленные емкости. Полиэтиленовые контейнеры ($V=50$ мл) обрабатывались раствором соляной кислоты. Следующий этап обработки заключался в промывке бидистиллированной водой и просушиванием в специальной камере. Отобранные пробы консервировались и подвергались в лаборатории ВАМ-анализу. Крайняя проба была

Таблица 1

Используемые при проведении эксперимента электроды

№ п/п	Вид	Краткая характеристика
1	Рабочий электрод	Графитовый электрод. Площадь видимой поверхности $S=12$ мкм ²
		Стеклоуглеродный электрод. Площадь видимой поверхности $S=7$ мкм ²
2	Вспомогательный электрод	Платиновый (Pt) электрод высокотемпературный ЭВП-1
3	Электрод сравнения (электрод индикации)	Насыщенный Ag/AgCl электрод ЭВЛ-1М 3.1

Примечание Применение электрода ЭВП-1 и в паре с электродом ЭВЛ-1М 3.1 обусловлено рекомендациями производителя.

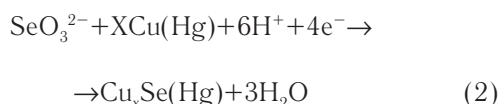
проанализирована не позднее десяти суток с момента осуществления забора.

Согласно научным исследованиям [1–3] существуют два способа концентрирования Se на поверхности рабочего электрода.

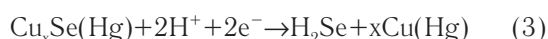
Первый способ концентрирования Se базируется на образовании его соединений с Cu. При этом переход зарядов на поверхность электрода сопровождается стадиями восстановления двухвалентной меди и четырехвалентного селена:



Далее протекает реакция, приводящая к образованию соединения Se с Cu:



Реакция электрохимического восстановления полученного концентрата:



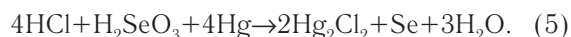
При этом на ВАМ обозначается резкий пик, высота которого функционально взаимосвязана с концентрацией Se в полученном растворе.

В ходе исследований было проанализировано ВАМ-поведение четырехвалентного Se на поверхностях, погруженных в раствор ГЭ и РПЭ. При этом установлено влияние фоновых электролитов, pH, потенциала накопления, времени накопления на аналитический сигнал селенит-иона. При проведении экспериментов оптимизированы условия определения селенит-ионов ВАМ-методом. Однако Se из своих индивидуальных растворов на поверхности графитового электрода (ГЭ) не осаждается [7]. Добавление в его раствор катионов определенных металлов позволяет осуществить накопление на ГЭ селенидов этих металлов (меди):



При использовании фонового электролита (0.1M раствор соляной кислоты) удалось обнаружить на ГЭ инверсионный сигнал $5 \cdot 10^{-4}$ M двухвалентной Cu. Потенциал электролиза $U=50$ мВ. Неоднократно зафиксировано, что для возникновения сигнала наличия Se достаточно добавление малых порций солей двухвалентной Cu. Появление серии незначительных реакций подтверждает способность образования на поверхности ГЭ Cu_2Se . Введение существенного количества потенциалов двухвалентной меди привело к регистрации четко выраженных сигналов. При изменении входных параметров линейная зависимость не была установлена.

Второй способ заключается в выделении Se при соединении с Hg (РПЭ) [6]. При взаимодействии РПЭ с 3M раствором соляной кислоты (с примесью H_2SeO_3) протекает химическая реакция с выделением Se:



Характер анодных инверсионных кривых в растворе, содержащем 10^{-4} M Hg(II) и Se(IV), напрямую зависит от потенциала накопления. Установлено, что при сдвиге потенциала U_n в отрицательную сторону, сигнал, характерный для HgSe, пропадает. Однако при более положительных потенциалах регистрируется ряд небольших новых пиков.

HgSe при катодной развертке потенциала восстанавливается [8–10] по реакции:

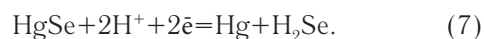


Состояние поверхности ГЭ непосредственно оказывает влияние на характер концентрирования HgSe. Во время анодной развертки поверхность ГЭ не полностью очищается и на ней образуются активные центры, которые способствуют электроосаждению HgSe уже в начале работы процесса. Однако при катодной развертке поверхность лучше очищается, и в этом случае HgSe превращается в газообразный H_2Se . В целом, работа на ГЭ характеризуется наличием значительных остаточных токов, что также затрудняет идентификацию Se.

Для исследования области потенциалов, при которой восстанавливается HgSe, в эксперименте были получены вольтамперные кривые (ВАК). При использовании РПЭ в растворе (H_2SeO_3 0.4–1.5 mM) отсутствовал фоновый электролит. Указанные ВАК изображены на рис. 1.

Для формирования селенита ртути на катодном отрезке вольтамперной кривой наблюдались два пика тока. Первый пик имел значение $U_n = 0,40 \pm 0,02$ В, а второй пик имел значение $U_n = -0,60 \pm 0,02$ В. Высота каждого из пиков была пропорциональна концентрации H_2SeO_3 , как показано на рис. 2. Это свидетельствует о включении Se(IV) в электродные процессы. В области накопления потенциалов HgSeO_3 и Hg_3SeO_3 начинается фиксация катодной ВАК.

Обнаружение второго пика тока объясняется процессом восстановления HgSe на ртутном электроде, осуществляемом в соответствии с реакцией (7). Этот вывод подтвержден как расчетами, так и экспериментальными данными, полученными при исследовании процесса восстановления HgSe:



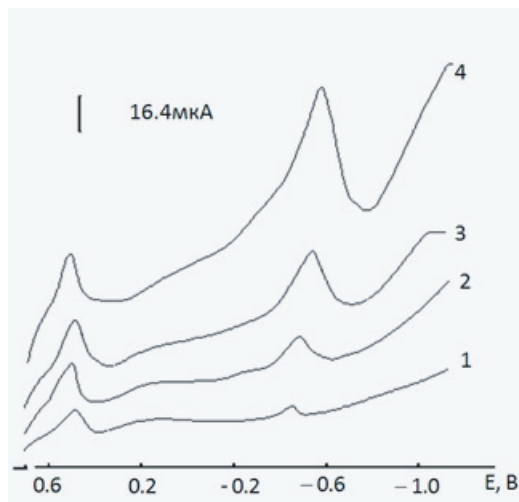


Рис. 1. Катодные вольтамперограммы H_2SeO_3 на РПЭ без накопления ($V_p=50$ мВ/с): 1 – $2 \cdot 10^{-4}$ М; 2 – $4 \cdot 10^{-4}$ М; 3 – $8 \cdot 10^{-4}$ М; 4 – $1.4 \cdot 10^{-3}$ М

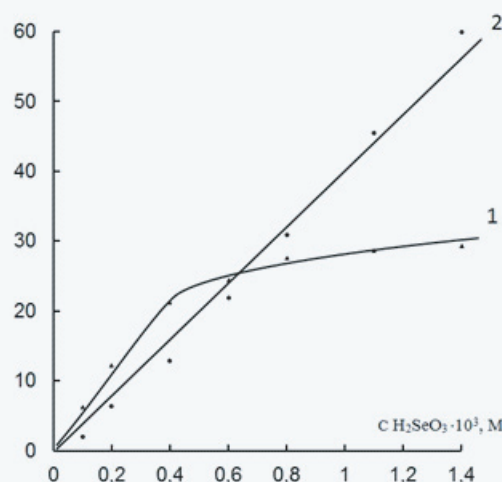


Рис. 2. Зависимость величин токов катодных пиков восстановления $HgSeO_3$ от концентрации на РПЭ без накопления

Для оценки четырехвалентного селена на РПЭ были исследованы растворы кислот: HNO_3 , HCl , $HClO_4$ и H_2SO_4 с концентрацией от 0,1 до 1 М в качестве фоновых электролитов. Результаты измерения анодных вольтамперограмм РПЭ, проведенных на фоне кислот, указывают на то, что окисление Hg происходит при потенциалах от $U=0,45$ до 0,50 В для растворов HNO_3 , $HClO_4$ и H_2SO_4 . Наблюдается четкий пик восстановления $HgSe$ с потенциалом $-0,42 \pm 0,03$ В. Потенциалы пиков, их высоты и форма для указанных кислот практически идентичны для равных концентраций четырехвалентного селена. В растворе HCl окисление ртути происходит при потенциале $U=-0,15$ В. Ввиду этого невозможно использование растворов HCl с концентрацией 0,1 – 1,0 М в качестве фонового электролита при накоплении селена (IV) в области положительных потенциалов. Изменения пиковых токов в зависимости от типа кислоты приведены в табл. 2.

Из данных табл. 3 можно сделать вывод, что величины пиковых токов значительно различаются в зависимости от типа кислоты, однако это не влияет на величину потенциала. При использовании галогеноводородных кислот в качестве фоновых, потенциал равен $U_n=-710$ мВ, а при использовании азотной, фосфорной и серной кислот $U_n=-700$ мВ.

Проведенные исследования показали, что высота токового пика зависит от типа аниона, причем наибольшая интенсивность сигнала была зарегистрирована при добавлении 0,1 М соляной кислоты. Это дало основание предположить, что в электродном

процессе присутствуют хлорид-ионы. При этом, если концентрация HCl превышает 0,1 М, наблюдается значительное ухудшение воспроизводимости сигнала на этапах электроконцентрирования и электрорастворения Se.

По итогам проведенных экспериментов удалось разработать новые методы изготовления мембран, способных селективно пропускать Se. Такие мембраны характеризуются избирательной проницаемостью и относятся к типу ионообменных мембран. В настоящей работе было принято решение получить мембраны путем смешивания $(C_2H_3Cl)_n$ и $C_{26}H_{42}O_4$. При этом массовая доля второго компонента строго должна быть больше в два раза. Используя лабораторную посуду, авторы получили массовые доли химических соединений в нужных пропорциях. Далее процесс перемешивания в бюксе с $C_{26}H_{42}O_4$ сопровождался порционным добавлением небольших количеств $(C_2H_3Cl)_n$ и электродноактивной добавки. В процессе обработки смеси вводились определенные количества малорастворимых неорганических соединений Se. Для достижения однородной и прозрачной смеси было решено добавлять C_4H_8O во время перемешивания. Для формирования формы мембраны было решено использовать чашки Петри, так как они выполнены в форме цилиндра. Тщательно перемешав полученную смесь, авторы перелили ее в чашки Петри и разместили данные сосуды на открытом воздухе. При нормальных атмосферных условиях в течение нескольких дней авторы дождались окончания процесса испарения C_4H_8O . Селективная мембрана толщиной $d \approx 7$ мм

Таблица 2

Параметры восстановления пиков HgSe в различных фоновых электролитах

 $(U_3=0.45 \text{ В}, t_3=30 \text{ с}, V_p=100 \text{ мВ/с}, h_{\text{имп}}=55 \text{ мВ}, t_{\text{имп}}=30 \text{ мс})$

$C_{\text{Se(IV)}}, \text{ мг/л}$	1М азотная кислота			1М хлорная кислота			1М серная кислота		
	S_r ($n=5$)	$I_{\text{Se(IV)}}, \text{ мкА}$	$U_n, \text{ В}$	S_r ($n=5$)	$I_{\text{Se(IV)}}, \text{ мкА}$	$U_n, \text{ В}$	S_r ($n=5$)	$I_{\text{Se(IV)}}, \text{ мкА}$	$U_n, \text{ В}$
0.020	0.033	1.240 ± 0.060	-0.422 ± 0.008	0.041	1.42 ± 0.07	-0.429 ± 0.005	0.029	1.50 ± 0.05	-0.418 ± 0.002
0.040	0.022	2.470 ± 0.050	-0.422 ± 0.008	0.022	2.88 ± 0.05	-0.438 ± 0.007	0.018	3.05 ± 0.05	-0.428 ± 0.002

Таблица 3

Зависимость природы фона (кислот) от параметров ВАМ сигналов:

 $C_{\text{фона (кислоты)}}=0,1 \text{ моль/л}; C_{\text{Se}}=20 \text{ мкг/л}; C_{\text{Cu}}=10 \text{ мг/л}; E_3=300 \text{ мВ};$ $t_3=3 \text{ мин}; \text{ скорость развертки потенциала } 200 \text{ мВ/с}$

Фон кислот	$U_n, \text{ мВ}$	$I_{\text{пика}}, \text{ мкА}$	S_r
Соляная кислота	710	7,20	0,024
Гидробромид	700	6,25	0,023
Ортофосфорная кислота	710	5,10	0,044
Серная кислота	700	4,70	0,133
Азотная кислота	700	2,60	0,032

полностью стала готова к применению, приобрела прозрачность и эластичность.

Из изготовленных мембран были нарезаны диски определенного размера. Используя заранее заготовленные $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$ трубки, авторы приклеили полученные диски на их торцы. Клеевое соединение было получено из раствора $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$ и $\text{C}_{26}\text{H}_{42}\text{O}_4$ в соотношении 1 к 10. Сформированные электроды одной стороной погрузили в 0.001 М раствор H_2SeO_3 с примесью небольшого количества KCl . Для образования многоуровневой системы другую сторону поместили в такой же раствор — кондиционироваться. Впаянная в систему серебряная проволока выполняла роль токоотвода.

При обосновании применения циклической ВАМ для анализа содержания Se в сложных системах были проведены исследования на модельных растворах.

Была осуществлена работа по оценке воздействия различных компонентов морской воды на ВАМ-сигнал Se. Результаты оценки подтвердили, что большинство органических компонентов (кроме As и определенных ПАВ) не оказывают влияния на определение Se методом катодной инверсионной ВАМ на РПЭ.

Было отмечено, что анионные и катионные ПАВ затрудняют проведение анализа, в то время как неионогенные ПАВ позволяют определить Se мето-

дом циклической ВАМ. Применение традиционных методов для создания селенселективного электрода (ССЭ) сталкивается с трудностями в выборе электроактивного вещества, поэтому пока что имеются только предварительные результаты.

Заключение

В процессе исследований было рассмотрено комплексное воздействие различных факторов на образование Se-ионов. В соответствие с анализом полученных результатов были установлены оптимальные условия, при которых происходит индикация Se-ионов на основе пика восстановления HgSe.

Была разработана методика определения Se-ионов с использованием инверсионной ВАМ с чувствительностью к концентрациям на уровне 10^{-4} мг/л. Также были описаны способы изготовления специальных ССЭ для использования в данном методе.

Опытным путем было установлено, что поверхность ГЭ без специального покрытия не позволяет определить указанные концентрации четырехвалентного селена в растворах. Как следствие, ГЭ являются малоэффективными для решения поставленной задачи и требуют специальную обработку для их последующего применения в методиках определения ультранизких концентрация Se.

Определение органических и неорганических форм Se в окружающей среде имеет важное значение для контроля его токсичности. Результаты работы позволят продвинуться в задачах оценки воздействия различных источников (в том числе и наземного транспорта) поступления Se на окружающую среду. Стоит отметить, что остаются малоисследованы методы определения концентраций Se в соединениях с редкоземельными элементами. В настоящее время имеющиеся методы не позволяют определять сверхмалые значения.

Разработка эффективного и относительно простого метода подготовки образцов для последующего выявления различных форм Se в органических и неорганических соединениях позволит свести к минимуму трудозатраты специалистов по его определению.



Литература

1. Лясникова, А.В. Биосовместимые материалы и покрытия нового поколения: особенности получения, наноструктурирование, исследование свойств, перспективы клинического применения / А.В. Лясникова, Т.Г. Дмитриенко. - Саратов: ООО «Издательство Научная книга», 2011. - 220 с. - С 117-146. - Текст : непосредственный.
2. Лясников, В.Н. Материалы и покрытия в медицинской практике / В.Н. Лясников, А.В. Лясникова, Т.Г. Дмитриенко. - Саратов: ООО «Издательство Научная книга», 2011. - 300 с. - С.155-171. - Текст : непосредственный.
3. Дмитриенко, Т.Г. Халькогенсодержащие органические полупроводники для преобразователей энергии и информации / Т.Г. Дмитриенко. - Саратов :ИЦ «Наука», 2012. - 330 с. - С. 112-130. - Текст : непосредственный.
4. Демидов, А.А. Применение золото-графитового электрода в практике вольтамперометрических методов анализа для определения ультрамикрочастиц селена в объектах окружающей среды / А.А. Демидов, Т.Г. Дмитриенко. - Текст : непосредственный // Сборник трудов II Международной конференции молодых ученых «Актуальные проблемы теории и практики электрохимических процессов» - 2014. - Т.2. - С. 257-261.
5. Дмитриенко, Т.Г. Электрохимические методы контроля содержания элементарного селена и селеноорганических соединений в природных объектах / Т.Г. Дмитриенко, А.А. Демидов. - Текст : непосредственный // Сборник материалов I Кавказского международного экологического форума, Чеченская республика, Грозный. - 2013. - С.44-50.
6. Дмитриенко Т.Г. Теоретические вопросы электрохимии и электрохимические методы анализа в технологических целях: учебное пособие / Т.Г. Дмитриенко, А.А. Демидов. - Саратов: ИЦ «Наука», 2013. - 289 с. - Текст : непосредственный.
7. Брайнина, Х.З. Твердофазные реакции в электроаналитической химии / Х. З. Брайнина, Е. Я. Нейман. - Москва : Химия, 1982. - 264 с. - Текст : непосредственный.
8. Adeloju S.B. Cathodic stripping potentiometric determination of selenium in biological and environmental materials on a combined electrode with a rotating sample platform / S.B. Adeloju, D. Jagner, L. Renman // Anal. Chim. Acta. - 1997. - V.338. - P. 199-207. - Текст : непосредственный.
9. Mattsson G. Determination of selenium in freshwaters by cathodic stripping voltammetry after UV / G. Mattsson, L. Nyholm, A. Olin, U. Omernik / Talanta. — 1995. - V.42. - P.817-821. - Текст : непосредственный.
10. Inam R. Determination of selenium in garlic by cathodic stripping voltammetry / R. Inam, G.E. Somer // Food Chem. - 1999. - V.66. - P.381-385. - Текст : непосредственный.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СТУДЕНТОВ ПРИ НАГРУЗКАХ



В.А. Бугреев



Р.М. Нигай

Рассматривается подход к решению задачи прогнозирования поведения за определенный промежуток времени организма студента транспортного колледжа, при различных факторах и с использованием данных о его начальном состоянии здоровья. Для решения этой задачи применяется математическая модель человека, которая приближена к реальным характеристикам поведения организма студента транспортного профиля. Эта модель рассчитывается численно-аналитическим методом.

Ключевые слова: математическое моделирование, транспортный профиль обучения, динамические системы, состояние здоровья

EDN: MKCPCY

Во второй половине XIX века в России произошёл бурный рост сети железных дорог. Этот рост безусловно потребовал большое количество инженеров железнодорожного транспорта. Сто двадцать пять лет назад, Высочайшим указом, Государь Император Российской Империи Николай II, объявляет о создании Императорского Московского инженерного училища ведомства путей сообщения. С этого момента начинается славная история учебного заведения, которое на протяжении вот уже более ста двадцати пяти лет является флагманом подготовки инженерных кадров для транспортной отрасли.

За многолетнюю историю учебное заведение подготовило тысячи высококвалифицированных специалистов в области транспорта. Однако без должного развития физического потенциала студентов

невозможно полноценно подготовить специалиста. Поэтому с самых ранних лет существования учебного заведения физическому развитию студентов уделялось первостепенное значение.

Исходя из этого постулата, мы провели исследование прогнозирования поведения за определенный промежуток времени организма студента транспортного колледжа, при различных факторах и с использованием данных о его начальном состоянии здоровья.

В математике основным инструментом для анализа процессов, протекающих и в сложных технических системах и в жизненных системах, например таких как организм человека, является численное моделирование. Моделирование, как правило, базируется на полученной экспериментальным путем математической модели. Обычно эти математические модели

Бугреев Виктор Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность сложных технических систем. Автор более 80 научных работ, в том числе трех монографий. Имеет 16 патентов на изобретения.

Нигай Руслан Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и безопасность технических систем. Автор 36 научных работ.

Романов Алексей Алексеевич, кандидат педагогических наук, преподаватель высшей категории Московского колледжа транспорта Российского университета транспорта (МКТ РУТ(МИИТ)). Область научных интересов: спорт и физическая культура. Автор 50 научных работ, в том числе двух монографий, двух учебных пособий и двух учебно-методических пособий.

Чехов Антон Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические машины, информационные технологии в производстве. Автор 47 научных работ, в том числе двух монографий и семи учебных пособий. Имеет три патента на изобретения.

описываются системами дифференциальных уравнений, которые решаются численными методами.

Согласно данным, имеющимся на сегодня, математическая модель человека представляет собой сложную систему ввиду того, что необходимо учитывать как быстрые, так и медленные составляющие модели человека. Такие математические модели относятся к классу систем, поведение которых описывается с использованием жестких дифференциальных уравнений.

Еще в середине 90-х годов XX века для решения жестких систем в основном использовались неявные методы, основанные на формулах дифференцирования назад. Эти методы используются и в настоящее время, но разделы техники, где они используются, сокращаются ввиду того, что активно развивающаяся теория специализированных явных методов уменьшает сферу их применения.

Имея преимущества по производительности, явные методы по отношению к неявным не решают на каждом шаге системы нелинейных алгебраических уравнений, которые сильно замедляют вычисления, поэтому даже распараллеливание неявных методов или использование более мощного вычислительного комплекса все равно не дают хороших результатов. Однако, неявные методы, которые используются при решении жестких динамических систем имеют свойства устойчивости и, как результат, получаемые ими решения будут всегда устойчивыми, чего не имеют явные методы. Поэтому явные методы невозможно использовать при обходе всех типов жестких систем. Возможность применения явных методов рассматривается при анализе индивидуальных характеристик исследуемой конкретной системы и может оказаться довольно сложным и иногда на практике подменяется проведением численного эксперимента [1].

Задача прогнозирования изменений во времени организма студента транспортного учебного заведения была рассмотрена в данной работе. Все расчеты велись по математической модели человека, когда есть информация о начальном состоянии его здоровья. В целом, задача сводилась к тому, чтобы найти закономерности, которые позволяли бы по характеристикам начального состояния в момент времени t_0 рассчитать его последующее состояние в момент времени $t > t_0$. Проводимый анализ базируется на использовании для расчетов динамической системы, а не показателей состояния здоровья студентов.

Контроль учебной деятельности студентов Российского университета транспорта (МИИТ), а также состояния их здоровья осуществляется с применением цифровизации. Это стало целью исследования авторов [2;3].

В целом, задача исследования свелась к рассмотрению математической модели человека, где для повышения точности исследования рассматривается максимально полная модель, описываемая системой жестких дифференциальных уравнений. Для решения такого класса систем уравнений был использован численно-аналитический метод, описанный в [5].

Можно говорить о том, что в природе любой объект или процесс, который в перспективе однозначно описывается несколькими величинами в определенные моменты времени согласно закона, описывающего его во времени, называется динамической системой.

Все динамические системы можно классифицировать в зависимости от оператора отображения и структуры фазового пространства. Существуют линейные операторы, которые осуществляют только линейные преобразования. Обычно эти операторы имеют свойства суперпозиции:

$$T[x(t) + y(t)] = Tx(t) + Ty(t).$$

В случае, если система нелинейная, то она соответственно описывается нелинейными операторами [1].

Существующие типы систем обыкновенных дифференциальных уравнений условно делятся на плохо обусловленные и быстро осциллирующие, жесткие, мягкие. Все описанные типы решаются соответственно численными методами, которые специально под них разрабатываются.

В разных областях науки, таких как нестационарные процессы в радиосистемах: задачи химии; в задачах, описывающих динамику работы организма человека и др., несомненно присутствуют задачи, работа которых описывается системами жестких дифференциальных уравнений. Определение жесткости подразумевает наличие медленных и быстроменяющихся компонент.

Эта особенность жестких систем накладывает на них фактор сложности численного расчета. Существующие методы типа Рунге-Кутты и Адамса относящиеся к явным методам, должны использовать для этих систем очень маленький шаг дискретизации [1]. Это неприемлемо. В связи с этим, для своих расчетов мы использовали численно-аналитический метод моделирования, описанный в [5].

Для математического моделирования здоровья студента мы использовали базовую модель В.Н. Новосельцева «естественной технологии» организма [4], которая описывается системой жестких динамических уравнений. Эта модель основана на том, что разным функциям организма студента привязывается необходимо минимальное количество компартментов. При расчете модели используются $n=4$ компартмента,

соответствующих четырем ($N=4$) важным подсистемам организма студента: сердечно-сосудистой системе, системе легких и системе крови (все системы принимаются при расчетах совместно), а также системе печени и почек. Выделив набор компартментов $x_i, i=1, n$, (здесь под компартментом подразумевается функциональная подсистема организма человека) и потоков $y_{ij}, j=1, n$, функции можно записать в виде системы баланса:

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1, j \neq i}^n a_{ij} y_{ij} - \sum_{k=1, k \neq i}^n a_{ki} y_{ki} + y_{i0} - y_{0i} + w_i, \quad (1)$$

где a_{ij} – матрица параметров; y_{i0}, y_{0i} – потоки из окружающей среды и обратно; w_i – первичные потоки вследствие жизненных процессов. Транспортирующие потоки y_{ij} обеспечиваются физиологическими системами. В описании (1) для каждого транспортного потока и от каждой системы входит скалярная функция $FS_{ijr} (r=1, N, N – количество систем)$, описывающая своими параметрами соответствующий процесс:

$$y_{ij} = y_{ij}^0 \cdot F_{ij}(x, v) \quad (i, j=1, n),$$

$$F_{ij}(x, v) = \prod_{r=1}^N FS_{ijr}(x, v), \quad x = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

$0 \leq FS_{ijr}(x, v) \leq 1$; в условиях «нормы»:

$$y_{ij} = y_{ij}^0, \quad FS_{ijr}(x, v) = 1. \quad (3)$$

Здесь r – индекс системы организма; N – количество систем организма; $v = (v_1, \dots, v_i)$ – вектор внешних воздействий на систему (1).

Зная, что в рассчитываемой модели участвуют $n=4$ составляющих, здесь x_1 – парциальное давление кислорода в легких (мм рт.ст.); x_2 – парциальное давление кислорода в тканях организма (мм рт.ст.); x_3 – уровень веществ в тканях организма, элиминируемых печенью (%); x_4 – уровень веществ в тканях организма, экскретируемых почками (%) [4], таким образом, система уравнений баланса (1) относительно $x_i = x_i(t), i=1, 4$ примет вид:

$$\begin{cases} dx_1 / dt = (y_1(x, t) - y_2(x, t)) \cdot c_1; \\ dx_2 / dt = (y_2(x, t) - w) \cdot c_2; \\ dx_3 / dt = (w - y_3(x, t)) \cdot c_3; \\ dx_4 / dt = (w - y_4(x, t)) \cdot c_4. \end{cases} \quad (4)$$

Динамическая система (4), описываемая дифференциальными уравнениями, с необходимой точностью показывает основные физиологические связи в организме студента. Сделав расчет этой системы, можно получить сведения о состоянии здоровья студента с изменением времени, т.е. в моменты времени $t > t_0$.

Таким образом, разработанная модель основных физиологических связей дает возможность определять баланс в организме студента. Для улучшения точности процесса моделирования в расчетах используется описание модели с использованием жестких дифференциальных уравнений, которая в свою очередь рассчитывается численно-аналитическим методом.



Литература

1. Агафонов, С. А. Дифференциальные уравнения : учебник для студентов высших технических учебных заведений / С. А. Агафонов, А. Д. Герман, Т. В. Муратова ; под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. - Изд. 5-е, стер. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 347 с. : ил.; 21 см. - (Математика в техническом университете : комплекс учебников из 21 вып; Вып. 8); ISBN 978-5-7038-3537-1. - Текст : непосредственный.
2. Нигай, Р.М. Подход к моделированию здоровья студентов транспортного вуза / Р.М. Нигай, А.А. Романов, Е.Р. Нигай. - Текст : непосредственный // Учёные записки университета имени П.Ф.Лесгафта. - 2020. - №12 (190). - С.151 - 155.

3. Использование численно-аналитического метода моделирования для исследования здоровья студентов транспортного профиля / Р.М. Нигай, А.А. Романов, П.С. Сокольников, Д.А. Семёнова Д. А. - Текст : непосредственный // Материалы V Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Информационные технологии и компьютерное моделирование в сфере физической культуры и спорта» : Малаховка, 17- 18 декабря 2020 г. - Малаховка, 2021 . - С.125-131 .
4. Новосельцев, В.Н. Увеличение продолжительности жизни и условия среды: математическое моделирование / В.Н. Новосельцев . - Москва : Федеральное собрание Российской Федерации, 2010. -17 с. -Текст : непосредственный.
5. Нигай Р.М. Исследование жестких динамических систем на примере моделирования лентопротяжного механизма / Р.М. Нигай - Текст : непосредственный // Проблемы машиностроения и автоматизации. - 2021. - № 1. - С. 53-58.

СРАВНЕНИЕ ВКЛАДОВ ТЕПЛОВОЙ СТАНЦИИ И ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ



М.А. Журавлева



Н.И. Зубрев

Рассматривается совместное влияние железной дороги и ТЭЦ на распределение тяжелых металлов в прилегающих к ним территориях. Представлены источники тяжелых металлов в летучей золе тепловой электростанции. Оценен вклад предприятий в загрязнение почвогрунтов придорожной зоны.

Ключевые слова: тяжелые металлы, придорожная зона, тепловая электростанция, загрязнения почв

EDN: QYULII

В городах, где концентрируется большое число крупных техногенных предприятий, таких как теплоэлектростанции, металлургические, машиностроительные, домостроительные комбинаты, транспортные артерии с интенсивным движением, обеспечивающие грузовые и пассажирские перевозки, особое значение имеет изучение влияния этих объектов на городскую среду и, в частности, — их вклада в загрязнение тяжелыми металлами городских почв [1;2]. Известно, что в развитых промышленных центрах до 80% случаев различных заболеваний имеют биогеохимическое происхождение и это во многих случаях связано с повышенным содержанием тяжелых металлов в почвенном слое. Понятно, что данная ситуация требует особого контроля прежде всего в мегаполисах, в которых состояние урбаноземов зачастую определя-

ется одновременным воздействием сразу нескольких близко расположенных источников эмиссии загрязняющих веществ. В рамках настоящей работы проведено сравнение вкладов в загрязнение почвы тяжелыми металлами двумя характерными для большого города объектами — тепловой электростанцией и железной дорогой. Приводимые данные являются результатами анализа проб почвы, взятых в Восточном административном округе Москвы в районе ТЭЦ-11 и близлежащего отрезка линии главного хода Казанского направления Московской железной дороги.

Электростанция ТЭЦ-11 (с 1977 года ТЭЦ-11 им. М.И. Уфаева) была введена в эксплуатацию 1936 году, основное топливо, использовавшееся с начала эксплуатации — подмосковный бурый уголь, относящийся к углям невысокого качества. Его зольность

Журавлева Маргарита Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика и естественные науки» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экология транспортных процессов, загрязнение территорий тяжелыми металлами, обеспечение экологической безопасности на предприятиях железнодорожного транспорта. Автор 59 научных работ, в том числе одной монографии, восьми учебных пособий и одного учебника.

Зубрев Николай Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика и естественные науки» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: физическая химия и инженерная экология, обеспечения экологической безопасности на предприятиях железнодорожного транспорта. Автор 420 научных работ, в том числе семи монографий, двух учебников и 21 учебного пособия.

Кокин Сергей Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Физика» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: методы и приборы мониторинга окружающей среды, оптические явления в полупроводниках, методика преподавания естественных наук, теория решения изобретательских задач. Автор более 400 научных работ, в том числе восьми монографий и более 20 учебных пособий.

составляет 25–40%, сернистость 2–6%, а влажность 30–35%. При сжигании такого угля в атмосферу в виде примесей выбрасываются содержащиеся в нем металлы: не менее 10% от общей массы — Co, Fe, Mn, Se, 30% от общей массы — Cr, Cu, Ni, V, 50% от общей массы Ag, Cd, Pb, Zn и до 100% Hg, Sb и Sc [1]. И если содержание в золе подмосковного угля таких элементов, как Mn, Fe, Ni, Cu, Co и Sr ниже соответствующих фоновых значений, то содержание V, Mo, Zn, Pb, Sb, Cd превышает фоновые значения [3]. В частности, содержание тяжелых металлов в летучей золе углей Подмосковного бассейна согласно данным ОАО «Всероссийский теплотехнический институт» следующие: Cd (6,6 г/т); Co (30,2 г/т); Cu (32,5 г/т); Ni (61,5 г/т); Pb (65,7 г/т); Zn (266,6 г/т).

В 1957 году в качестве топлива на ТЭЦ-11 начал использоваться природный газ, который становится основным видом топлива с 1988 года. Но поступление в атмосферу металлов-загрязнителей периодически все же происходит при сжигании (в сильные морозы) резервного вида топлива — мазута, так как отечественные мазуты содержат ванадий (в пределах 300 — 500 г/т) и никель (40 — 60 г/т).

Электростанция расположена в Восточном административном округе г. Москвы вблизи места пересечения двух дорог: железной (Казанское направление Московской железной дороги) и автомобильной (шоссе Энтузиастов). Пробы грунта для проведения анализа на содержание тяжелых металлов брались на участке между путями главного хода железнодорожной линии Казанского направления Московской железной дороги, расположенном между шоссе Энтузиастов и Московским центральным кольцом (МЦК), где находится станция МЦК Андроновка (протяженность участка 1,2 км) и самой ТЭЦ-11. Наименьшее расстояние от железнодорожных путей до труб электростанции составляло 350 м (до трубы высотой $h=120$ м) и 440 м (до трубы высотой $h=180$ м).

От высоты труб ТЭЦ зависит расстояние, на которое могут разноситься частицы золы, попадающие в атмосферу в виде продуктов сгорания топлива. Но само это расстояние, а также скорость осаждения продуктов сгорания зависят и от других факторов: от размеров частиц, от розы ветров в месте расположения труб, от погодных условий. Так, например, чем меньше средний диаметр частиц золы, тем шире ореол их рассеивания: если средний диаметр частиц превышает 10 мкм, то они осаждаются преимущественно в радиусе до 3 км от ТЭЦ, в то время как частицы со средним диаметром 0,01 мкм разносятся на расстояние более 100 км. Максимальное загрязнение почвы тяжелыми металлами, которые содержатся в летучей золе, фиксируется на расстоянии $5h \div 6h$ до

трубы — источника выброса [4]. В нашем случае это расстояние — $600 \div 1100$ м до труб ТЭЦ.

Для оценки загрязненности почв авторами использовались два показателя: коэффициент концентрации металла K_c (отношение содержания C металла в почве к его фоновому содержанию C_f , то есть $K_c = C/C_f$) и суммарный показатель загрязнения почвы Z_c , для расчета которого используется формула:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n-1),$$

где n — число всех учитываемых металлов.

Для оценки загрязненности (отнесения ее к той или иной категории опасности) использовалась шкала, разработанная по итогам изучения состояния здоровья населения, которое проживает на территориях с различным уровнем загрязнения почв. Так, согласно этой шкале к «допустимой» категории загрязнения относятся почвы, у которых суммарный показатель загрязнения $Z_c < 16$. К «умеренно опасной» категории относятся почвы со значениями среднего уровня загрязнения, лежащим в диапазоне $16 < Z_c < 32$; сильному загрязнению почв («опасная» категория) соответствуют значения показателя загрязнения почвы в диапазоне $32 < Z_c < 128$. Максимальному уровню загрязнения («чрезвычайно опасная» категория) соответствуют значения $Z_c > 128$. Такое загрязнение заметно сказывается на здоровье населения: вырастает детская заболеваемость, наблюдается нарушение репродуктивной функции женщин (токсикоз, преждевременные роды, рождение мертвых детей) и т.д.

Отбор проб почвогрунтов был проведен методом квадратов, который обычно применяется в природоохранной зоне и вблизи промышленных предприятий. Объединенные пробы массой 1 кг отбирались через каждые 100 м из почвенного горизонта как вдоль главного хода железной дороги на расстоянии 3 м от оси крайнего пути, так и параллельно главному ходу на удалении 50, 100 и 200 м. Выбор начального расстояния (3 м от оси крайнего пути) связан с наличием насыпи, водоотводных сооружений и с учетом дополнительного метража бермы на кривизну дороги. Возможности отбора проб вблизи ТЭЦ-11 были ограничены наличием забора вокруг территории предприятия.

Пробы высушивались при температуре $+40^\circ\text{C}$, дробились и отсеивались через сито (фракция 0,5 мм). После квартования, навески средней пробы в 50 г истирались в шаровых и цилиндрических мельницах до 44 мкм (300 перемешиваний) и анализировались на содержание 30 металлов методом атомно-эмиссионного спектрального анализа. Этот метод является оптимальным для получения достоверных данных по

загрязнению почвогрунтов тяжелыми металлами в полосе отвода железных дорог. Порошковая проба почвы сжигалась с помощью вдувания в плазму сильноточной трехфазной дуги, затем эмиссия спектров регистрировалась на фотоприемнике (спектрограф ДФС-458с).

В таблице представлены выборочные данные по содержанию тяжелых металлов в пробах почвогрунтов, отобранных на глубине до 20 см (на которой происходит основное накопление тяжелых метал-

лов) между участком железнодорожного полотна и ТЭЦ-11.

Результаты измерений говорят о том, что на обследованной территории отсутствует ртуть (1-й класс опасности) [5], а кадмий (1-й класс опасности) встречается в пробах локально $K_c=10$: у платформы Авиамоторная (на расстояниях $L=50$ и 100 м) и у шоссе Энтузиастов ($L=3$ и 50 м). Из выявленных в пробах тяжелых металлов (см. таблицу) к 1-му классу опасности относятся свинец, цинк; ко 2-му классу

Таблица

Значения коэффициента концентрации K_c металлов и суммарный показатель загрязнения Z_c почвы на разных расстояниях L , м от отрезка железнодорожной линии Казанского направления Московской железной дороги, а также фоновые значения концентрации C_f в почве для указанных в таблице металлов-загрязнителей

Предприятие	L , м	Коэффициент концентрации, K_c									Z_c
		Sn	V	Co	Mo	Cr	Pb	Zn	Cu	Ni	
ТЭЦ-11 им. М.И. Уфаева (у шоссе Энтузиастов) начало отрезка железнодорожной линии (0 м)	3	1.3	1.4	1.7	1.7	1.9	2.5	3.0	8.0	10.0	23.5
	50	1.0	0.7	0.8	1.0	7.5	2.0	0.8	4.0	5.0	14.8
	100	8.3	1.1	1.3	1.7	1.9	2.0	1.3	2.4	5.0	17.0
	200	2.0	1.2	1.3	1.7	1.3	2.0	1.3	2.0	1.5	5.3
Середина остановочного пункта у платформы Авиамоторная (200 м от точки отсчета)	3	2.5	1.1	5.0	4.0	6.3	1.5	2.0	6.0	75	95.4
	50	8.3	0.9	1.3	1.3	7.5	3.8	2.0	4.0	7.5	28.6
	100	8.3	1.1	1.0	1.3	1.9	3.0	2.5	2.4	5.0	18.5
	200	2	1.1	0.8	0.8	2.5	1.5	2.5	2.4	6.3	11.4
Середина отрезка железнодорожной линии (600 м от точки отсчета) — наименьшее расстояние от ТЭЦ-11 до железнодорожной линии	3	1.0	0.7	16.7	1.7	18.8	0.5	0.8	4.0	75.0	111.2
	50	10	1.4	1.3	1.7	1.5	5.0	1.5	3.0	6.3	23.7
	100	2.5	1.1	1.7	2.7	1.9	2.0	2.0	2.4	10.0	18.3
	200	2.5	1.1	0.8	1.0	1.0	1.5	1.0	2.4	6.3	9.6
Завод холодильного машиностроения «Компрессор» (900 м от точки отсчета)	3	1.3	0.6	16.7	1.0	18.8	0.4	0.5	3.0	100.0	134.3
	50	3.3	0.7	1.3	1.7	1.5	2.5	1.5	3.0	6.3	13.8
	100	2.5	1.1	3.3	2.7	7.5	3.0	2.0	12.0	15.0	41.1
Фоновое значение C_f , мг/кг		6	70	12	3	80	40	200	50	40	

опасности — никель, медь, кобальт, молибден и хром; к 3-му классу опасности — ванадий (олово класса опасности не имеет).

Данные измерений говорят о том, что основным загрязнителем почвогрунтов в обследованной зоне является никель, при этом максимальное превышение концентрацией этого элемента ее фоновых значения наблюдается на удалении 3 м от основного хода железнодорожного пути. Повышенная загрязненность никелем обусловлена использованием в подвижном составе никелево-кадмиевых щелочных аккумуляторов: на техническую полосу железной дороги попадают щелочные составляющие аккумуляторов и смазок. При этом поверхностный слой почвогрунтов этой части придорожной зоны оказывается слабощелочным ($pH=7,7-7,9$), что обеспечивает накопление тяжелых металлов в основном на глубине до 20 см.

Согласно данным, приведенным в таблице, с увеличением расстояния от железной дороги в сторону ТЭЦ-11 содержание никеля значительно уменьшается, однако даже на расстоянии 200 м от оси крайнего пути главного хода железной дороги (то есть посередине между ТЭЦ-11 и железнодорожным полотном) содержание никеля превышает фоновый уровень в 1,5–6 раз. Помимо железной дороги свой вклад в загрязнение дают и содержащие этот металл осевшие и накопленные почвой частицы летучей золы, полученной при сжигании использовавшегося на ТЭЦ-11 с 1936 по 1954 годы подмосковного бурого угля.

Повышенное содержание никеля в почвогрунтах технической полосы (3 м) железной дороги может влиять на ситуацию с заболеваемостью железнодорожников: путевых рабочих, машинистов путевых машин, монтеров пути. Поступление никеля в организм возможно в виде вдыхаемой пыли, аэрозолей, причем степень проникновения зависит от размеров, формы частиц и от их заряда. Будучи отнесенным к 2-му классу опасности, никель оказывает фиброгенное воздействие на легкие, поэтому у людей, занимающихся ремонтными работами в путевом хозяйстве, со временем могут развиваться отдышка, астма. Возможны также проявление аллергических реакций, возникновение анемии, проявление симптомов расстройства центральной и вегетативной нервной системы. Существенно, что воздействие проявляется скрытно, так как никель в организме человека накапливается годами.

Никель содержится и в мазуте, который время от времени используется зимой как топливо на ТЭЦ-11, то есть его поступление в почву в составе частиц золы по-прежнему происходит даже на достаточно большом расстоянии от железной дороги. По-видимому, именно этим обусловлено отмеченная нами повышен-

ная концентрация данного загрязнителя рядом с заводом «Компрессор» на расстоянии 100 м от железной дороги (но 5 м от труб ТЭЦ-11) (см. таблицу).

В мазуте содержится также ванадий, являющийся к тому же легирующей добавкой в стали рельс, колес и тормозных колодок, при истирании которых этот металл также попадает на территорию, расположенную между ТЭЦ-11 и железной дорогой. Тем не менее, в поверхностных слоях почвогрунтов обследованной зоны ванадий содержится практически на уровне фона: $K_c=0,6-1,4$; в почве частицы, содержащие ванадий, мигрируют на глубину более 20 см.

Свинец, молибден и цинк на рассматриваемой территории распределены довольно равномерно, их концентрация находится в пределах фона или не слишком превышает его. Однако следует отметить, что в некоторых пробах, относящихся к границе полосы отвода (50 м) с санитарно-защитной зоной железной дороги для свинца наблюдается превышение фона в 3–5 раз. Скорее всего, это связано с наличием автомобильных дорог, обслуживающих ТЭЦ-11.

Распределение меди, хрома и кобальта совпадает с распределением никеля, то есть наблюдается стабильное уменьшение концентраций этих металлов в почвогрунтах при удалении от железной дороги и приближении к теплоэлектростанции. Зафиксировано увеличение содержания этих металлов на одном из участков обследованной территории на расстоянии 100 м от железной дороги, причем концентрация меди в этой области превышает фон в 12 раз. Что касается хрома и кобальта, то их самое значительное содержание зафиксировано на расстоянии 3 м от оси крайнего пути главного хода Казанского направления Московской железной дороги на выбранном отрезке железнодорожной линии.

Анализ значений суммарного показателя загрязнения почв Z_c на рассматриваемой территории позволяет сделать однозначный вывод о том, что самое большое загрязнение тяжелыми металлами имеет место в технической полосе железной дороги (0–14 м), почвогрунты которой можно отнести к «чрезвычайно опасной» категории. К «умеренно опасной» категории можно отнести почвогрунты, подвергающиеся одновременному воздействию загрязнителей от ТЭЦ-11 и от автомобильной трассы — шоссе Энтузиастов.

Заключение

На примере ТЭЦ-11 и близлежащего участка пути Казанского направления Московской железной дороги показано, что, несмотря на то, что оба объекта являются источниками загрязнения окружающей среды (как и практически любые другие техноген-

ные объекты), по мере удаления от железной дороги в сторону теплоэлектростанции содержание тяжелых металлов в почвогрунтах снижается. Таким образом, в загрязнение тяжелыми металлами придорожной зоны основной вклад вносит железная дорога.

Дополнение к вкладу в загрязнение почвы дают частицы золы, как накопленные в период работы ТЭЦ-11 на угле, так и образующиеся при использовании (при необходимости, в зимнее время) в качестве топлива мазута. При этом основным металлом, загрязняющим территорию между электростанцией и железной дорогой, является никель. 

Литература

1. Кизильштейн, Л.Я. Элементы-примеси и экологические проблемы угольной энергетики / Л.Я. Кизильштейн, С.В. Левченко. - Текст : непосредственный // Теплоэнергетика. - 2003. - №12. - С. 14-19.
2. Влияние предприятий на распределение тяжелых металлов в санитарно-защитной зоне железнодорожной магистрали / М.А. Журавлева, Н.И. Зубрев, М.И. Панфилова М. И., С.Ю. Ефремова. - Текст : непосредственный // Экология и промышленность России. - 2018. - Т. 22, №. 2, - С. 52-57.
3. Крылов, Д.А. Тяжелые металлы в летучей золе ТЭС / Д.А. Крылов. - Текст : непосредственный // Энергия: экономика, техника, экология. - 2010. - №4. - С. 44-50.
4. Глушенко, Н.Н. Экологическая безопасность энергетики. Свойства частиц летучей золы ТЭС, работающих на угле / Н.Н. Глушенко, И.П. Ольховская. - Текст : непосредственный // Известия Российской академии наук. Энергетика. - 2014, №1. - С. 20-27.
5. Зубрев, Н.И. Предотвращение загрязнения биосферы тяжелыми металлами при эксплуатации высокоскоростного транспорта: монография / Н.И. Зубрев, М.А. Журавлева. - Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. - 272 с. - Текст : непосредственный.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА МАШИНИСТОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Рассмотрен вопрос оценки состояния функциональных показателей организма машинистов локомотивных бригад в условиях различных погодных условий, стрессовых ситуаций в процессе выполнения трудовой деятельности. Определены индикаторы, которые могут использоваться при определении группы риска среди машинистов, при прогнозировании чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.



А.А. Москвин

Ключевые слова: машинисты локомотивных бригад (МЛБ), чрезвычайная ситуация (ЧС), адаптация, железная дорога

EDN: SHEAAK

Важнейшим качеством, необходимым для всех видов транспорта, является безопасность. Несмотря на постоянное совершенствование технических средств на железнодорожном транспорте сохраняется высокая аварийность [17]. Анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) показывает, что по вине машиниста локомотивных бригад (МЛБ) происходит более 75% ЧС [7].

В настоящее время одним из способов снижения ЧС и одновременно повышения надежности МЛБ является тренировка (тренажерная подготовка) [1]. Современные тренажеры для МЛБ железнодорожного транспорта имитируют ЧС, связанные с выходом из строя технической системы. Задачей МЛБ является реализация управляющих действий по восстановлению системы или предотвращению ЧС. В то же время, отсутствуют системные подходы к оценке состояния функциональных показателей организма МЛБ, являющейся необходимым элементом при прогнозировании ЧС, связанных с «человеческим» фактором. Уровень функционирования сердечно-сосудистой системы (ССС) можно рассматривать как индикатор адаптационных возможностей орга-

низма, отражающий его взаимодействие со средой [2]. Выявление лиц с адаптационным потенциалом (АП) на уровне «напряжение механизмов адаптации», «неудовлетворительная адаптация», «срыв адаптации» позволит своевременно принимать меры по контролю за состоянием МЛБ, соответственно нивелировать риск ЧС на железнодорожном транспорте.

Разработка автоматизированной экспертной системы оценки риска ЧС, включающей, в том числе, программный модуль по оценке АП МЛБ, позволит существенно снизить риск возникновения ЧС на железнодорожном транспорте.

Объектом исследования являются машинисты локомотивных бригад в возрасте от 23 до 64 лет, работающие поныне в Дальневосточной железной дороге — филиале ОАО «РЖД» и умершие за период с 2018 по 2020 гг.

Материалы и методы

Проведено скрининговое обследование мужчин ($n=189$) в возрасте от 23 до 64 лет (средний возраст $36,74 \pm 0,67$ лет), на добровольной основе, при

Москвин Артём Александрович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: техносферная безопасность. Автор 10 научных работ.

условии подписания информированного согласия. На основании пакета документов получено разрешение Этического комитета (в 2018 г.).

Обследование осуществлялось в условиях относительного физиологического покоя (в положении сидя, без психических и физических нагрузок), ясной погоды, на базе научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) «Профилактика дезадаптивных изменений у работников опасных профессий» ФГБОУ ВО ДВГУПС.

Исследование до поездки (во время подготовки к маршруту) и после окончания поездки по маршруту (в течение 10–15 минут после окончания рабочего времени), связанных с оформлением и сдачей соответствующей технической документации, проходили в условиях пункта предрейсового медицинского освидетельствования и в комнатах отдыха, при разных погодных условиях.

Погода классифицировалась согласно И.И. Григорьева с соавторами (1996) [5].

Использовался метод анкетирования для выявления особенностей образа жизни МЛБ, связанных с физической активностью МЛБ [12].

В исследовании использованы общепринятые контрольные (точность определения — $\pm 20\%$) и арбитражные (точность определения — $\pm 10\%$) методы, рекомендованные для НИЛ [8]:

- измерительные: частота сердечных сокращений (ЧСС, в уд./мин) — с использованием неинвазивного диагностического аппаратно-программного комплекса «АнгиоСкан-01» (фотоплетизмография, ООО «АнгиоСкан-Электроникс, Россия); измерение артериального давления (АД, в мм рт.ст.), систолического (САД) и диастолического (ДАД) — автоматическим измерителем «Omron M2Eco»; массы тела (МТ, в кг) — с использованием весов напольных механических «АТН-8166»; роста (Р, в см) — с использованием ростомера металлического со стульчиком «РМ-2»;
- расчетные: индекс массы тела (ИМТ); адаптационный потенциал (АП) [10; 14].

Информация о дате и причине смерти МЛБ, ранее обследованных в условиях НИЛ ФГБОУ ВО ДВГУПС за период с 2018 по 2020 гг, запрашивалась в бюро медицинской статистики КГКУЗ «Медицинский информационно-аналитический центр» Министерства здравоохранения Хабаровского края.

При статистическом анализе применялись стандартные методы вариационной статистики: ошибка среднего показателя оценивалась с помощью стандартной ошибки среднего ($M \pm m$); достоверность полученных данных в условиях стандартного нормального распределения для независимых выборок — по коэффициенту Стьюдента; для измерения

степени взаимосвязи нескольких явлений и отбора факторов, оказывающих существенное влияние на результативный признак использовался коэффициент корреляции Пирсона (г-Пирсона), достоверность которого определялась сравнением с величиной средней ошибки (m_r) [8].

Статистическая обработка данных выполнена при помощи пакета «Анализ данных» в Microsoft Office Excel, 2016.

Результаты и их анализ

Средний возраст МЛБ на железной дороге РФ — $40,0 \pm 8,6$ лет [13], тогда как в исследуемой группе составил $36,74 \pm 0,67$ лет, достоверных различий нет.

Трудовая деятельность МЛБ связана с выполнением рабочих функций в положении сидя (рисунок), что снижает общий обмен, приводит к ожирению, которое является основным фактором негативных изменений многих систем организма, в первую очередь ССС [17–20].

Одним из основных индикаторов ССС, определяющих «приспособляемость» организма человека к различным меняющимся условиям, является показатель АП [3].

В определенных условиях атмосферно-физического и психофизиологического напряжения, на состояние АП МЛБ оказывают непосредственное влияние показатели ССС (ЧСС, САД, ДАД), антропометрические характеристики (МТ), паспортный возраст, физическую активность.

Проведя анализ средних показателей САД во всех группах (в условиях относительного физиологического покоя, до/после поездной работы) и различных условиях (ясно/пасмурно) определено, что после поездки, независимо от погодных условий, отличие САД от



Рисунок. Кабина управления

А.А. Москвин

**«ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА
МАШИНИСТОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»**

верхней границы предела норматива составило 11,07–13,73 мм рт. ст. ($p \leq 0,01–0,001$) (таблица).

Самое большое различие было отмечено после поездки в условиях ясной погоды. При этом, показатель САД после поездной работы, при различных погодных (ясная/пасмурная), достоверно выше ($p \leq 0,05–0,01$), чем до поездной работы (см. таблицу).

Показатели ДАД во всех группах и различных условиях также достоверно отличались от верхней границы предела норматива (на 7,49–8,92 мм рт. ст.). При этом достоверность различий после поездной работы, от верхней границы предела норматива, обнаружена только в условиях ясной погоды (см. таблицу).

Согласно приказу Минздравсоцразвития РФ от 19.12.2005 № 796, противопоказаниями для осуществления работ, непосредственно связанных с движением поездов и маневровой работой, являются: САД

— не более 140 мм, ДАД — не более 90 мм рт. ст., т.е., характеристики, изначально не соответствующие пределам физиологического норматива [16].

Повышение показателей САД и ДАД, изменяющихся в зависимости от нагрузки и погодных условий связано с активацией системы газового гомеостаза, деятельностью сердца и сосудов [4].

Отмечено, что при устойчивом повышении показателей САД и ДАД, в том числе в условиях до/после поездной работы, ЧСС остается в пределах физиологического норматива (см. таблицу). Стабилизация ЧСС, вероятно, связана с тем, что машинисты МЛБ накануне предрейсового осмотра принимают препараты, позволяющие снизить некоторые характеристики ССС [6].

Анализ АП выявил, что во всех группах (до/после поездной работы, в условиях ясной/пасмурной погоды, в условиях относительного физиологического покоя)

Таблица

**Средние показатели ($M \pm m$) сердечно-сосудистой системы
(систолическое, диастолическое давление, частота сердечных сокращений)
и адаптационного потенциала в различных условиях ($n=189$)**

Показатели, пределы физиологического норматива Условия обследования	ФА >1,9 у.е.	САД 105-125 мм.рт.ст.	ДАД 60-80 мм.рт.ст.	ЧСС 60-85 уд./мин	АП <2,1 у.е.
Относительный физиологический покой	1,36±0,04	138,73 ± 0,97 ***	88,20 ± 0,66 ***	78,81 ± 0,57 ***	2,94±0,01 ***
До поездной работы (ясная)	0,981±0,04	136,47 ± 0,54 *** Δ	87,57 ± 0,42 ***	79,15 ± 0,57 ***	2,90 ± 0,01 *** ΔΔ
После поездной работы (ясная)	0,991±0,04	139,21 ± 0,89 *** ..	88,92 ± 0,56 *** .	78,32 ± 0,59 ***	2,95±0,01 *** ...
До поездной работы (пасмурная)	0,978±0,04	136,07 ± 0,49 *** ΔΔ	87,49 ± 0,37 ***	78,97±0,57 *	2,89±0,01 *** ΔΔΔ
После поездной работы (пасмурная)	0,994±0,04	137,22 ± 0,76 *** .	88,03 ± 0,50 ***	78,36±0,55 ***	2,92±0,01 *** Δ ..

Примечание. Здесь и далее: достоверность различий с нормативными характеристиками показана: при $p \leq 0,05$ (*); $p \leq 0,01$ (**); $p \leq 0,001$ (***); достоверность различий с характеристиками в условиях относительного физиологического покоя показана: при $p \leq 0,05$ (Δ); $p \leq 0,01$ (ΔΔ); $p \leq 0,001$ (ΔΔΔ); достоверность различий характеристик До/После поездной работы в условиях ясная/пасмурная погода показана: при $p \leq 0,05$ (·); $p \leq 0,01$ (··); $p \leq 0,001$ (···).

показатель соответствует уровню «напряжение механизмов адаптации», в среднем составил $>2,9$ (при нормативе $\leq 2,1$) (см. таблицу).

В условиях пасмурной погоды, АП до поездки $2,89 \pm 0,01$, после — $2,92 \pm 0,01$, различия достоверны ($p \leq 0,05$). В условиях ясной погоды, до поездки, АП составил $2,90 \pm 0,01$, и повысился после поездной работы до $2,95 \pm 0,01$, различие достоверно ($p \leq 0,001$).

Таким образом, в дни с ясной погодой организм МЛБ проявлял большую реактивность, что может быть характеристикой хорошего проявления адаптивных качеств к профессиональной деятельности, и согласуется с концепцией «функционально-метаболической адаптации». В определенных значимых условиях профессиональной деятельности (например, подготовка рабочего места) происходит изменение (активация) сосудисто-динамического гомеостаза [9].

В условиях физиологического покоя, в период отдыха, между поездками, АП составил $2,94 \pm 0,01$, что достоверно выше норматива и, согласно шкале оценки уровня функционирования ССС, соответствует состоянию «напряжение механизмов адаптации». Это может быть следствием образа жизни МЛБ. Согласно анкетированию, 98% обследованных МЛБ проводят свободное время дома, в кругу семьи, с обильным употреблением жирной пищи и алкогольных напитков.

АП не является регламентированной характеристикой. Не учитывается, что, в среднем, АП МЛБ соответствует состоянию «напряжение механизмов адаптации», не считается критическим (патологическим) и не является основанием для немедленного отстранения от выполнения рабочих функций. В то же время, состояние «напряжение механизмов адаптации» требует постоянного мониторинга, так как может привести к срыву адаптационных возможностей организма и ухудшению состояния МЛБ. Прогнозирование и динамический контроль изменений АП могут быть использованы при прогнозировании ЧС на железнодорожном транспорте.

Во всех группах (До/После поездной работы, в условиях ясной и пасмурной погоды, в условиях относительного физиологического покоя) определена прямая достоверная корреляционная связь ($r =$ от 0,05 до 0,001) между АП и показателями: возраста (В), ИМТ, ЧСС САД, ДАД — чем выше показатель, тем больше АП и обратная корреляционная связь между АП и физической активностью (ФА). Стоит отметить, что во всех группах МЛБ выявлена физическая инертность (недостаток ФА), которая является триггерным фактором, способствующим увеличению показателей:

САД, ДАД, ЧСС, ИМТ и в конечном итоге приводит к повышению показателя АП.

Обнаруженная закономерность между АП и показателями (САД, ДАД, ЧСС, ИМТ, ФА) подтверждает гипотезу о том, что в определенных условиях атмосферно-физического и психофизиологического напряжения наибольшее влияние оказывают антропометрические характеристики и коэффициент ФА.

Выявленный уровень АП, сообщает о том, что процесс адаптации происходит за пределами нормы реакции, что ведет к дисфункции и, крайний вариант — дезадаптации или «физиологическому полбуму» (срыв адаптации) [11].

Необходимо отметить, что средняя продолжительность жизни МЛБ на 5–7 лет ниже средней продолжительности жизни мужчин в Российской Федерации. За три года с момента первого обследования, причиной смерти пяти МЛБ стали «Болезни системы кровообращения» (I00–I99). Показатель АП умерших МЛБ составил $3,53 \pm 0,21$, что согласно шкале уровня функционирования ССС оценивается как неудовлетворительная адаптация организма [3]. Стоит отметить, что уровню «неудовлетворительная адаптация» предшествует уровень «напряжение механизмов адаптации», который был выявлен у большинства обследованных МЛБ.

Выводы

В настоящее время проводится недостаточно исследований по оценке состояния функциональных показателей организма МЛБ в различных погодных условиях, стрессовых ситуациях в процессе выполнения трудовой деятельности. Определение индикаторов позволило бы принимать управленческие решения при прогнозировании ЧС на железнодорожном транспорте.

Выявленный в процессе исследования второй уровень АП «напряжение механизмов адаптации» у большинства МЛБ предшествует третьему уровню АП — «неудовлетворительная адаптация», который был зафиксирован у умерших МЛБ, что определяет актуальность настоящего исследования.

Определено наличие достоверной корреляционной связи между различными морфофункциональными характеристиками, но физическая инертность (недостаточная ФА) является триггером для развития неблагоприятных отклонений в организме МЛБ (САД, ДАД, масса тела, ИМТ).

Таким образом, дисфункциональные и дезадаптивные отклонения АП ($>2,1$) могут использоваться как индикаторы группы риска МЛБ при прогнозировании ЧС на железнодорожном транспорте. 

Литература

1. Алиев, О. Т. Повышение безопасности производственных процессов на основе совершенствования системы подготовки локомотивных бригад : специальность 05.26.01 «Охрана труда» (по отраслям) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Алиев Обиджон Туйчиевич. - Москва, 2017. - 24 с. - Место защиты: Рос. ун-т транспорта. - Текст : непосредственный.
2. Баевский, Р. М. Донозологическая диагностика в оценке состояния здоровья / Р. М. Баевский, А.П. Берсенева. - СПб.: Наука, 1993. - 131 с.
3. Берсенева, А. П. Принципы и методы массовых донозологических обследований с использованием автоматизированных систем : специальность 05.13.09. «Управление в биологических и медицинских системах» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Берсенева Азалия Павловна : ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. - Киев, 1991. - 26 с. - Текст : непосредственный.
4. Основы физиологии человека / В.Б. Брин, А.В. Завьялов, Ю.М. Захаров [и др.] ; под ред. Б.И. Ткаченко. - Санкт - Петербург : Международный фонд истории наук, 1994. - Т.2. - С. 320-321. - Текст : непосредственный.
5. Григорьев, И. И. Погода и здоровье / И. И. Григорьев. - Москва : Авиценна, 1996. - 97 с. - Текст : непосредственный.
6. Гутникова, О. В. Влияние антигипертензивных препаратов на психофизиологические качества работников локомотивных бригад, больных артериальной гипертензией : специальность : 14.00.50 «Медицина труда» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Гутникова Ольга Владимировна. - Москва : МИИТ, 2007. - 47 с. : Место защиты: Науч.-исслед. ин-т медицины труда. - Текст : непосредственный.
7. Кологривая, И. Е. Безопасность движения на железных дорогах : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Основы безопасности / И. Е. Кологривая, О. В. Фролова. - Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2018. - 104 с.
8. Методы статистической обработки медицинских данных: методические рекомендации для ординаторов и аспирантов медицинских учебных заведений, научных работников / составители : А.Г. Кочетов, О.В. Лянг, В.П. Масенко [и др.]. - Москва : РКНПК, 2012. - 42 с. - Текст : непосредственный.
9. Миненок, В. А. Избыточный вес и ожирение как фактор риска развития артериальной гипертензии / В. А. Миненок, О. Ю. Авдеева. - Текст : непосредственный : сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса; ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет». - Петрозаводск, 2021. - С. 267-272.
10. Исследование влияния БАД «Ольхон золотой» на физическую работоспособность в эксперименте / Н.М. Митрохин, В.В. Яснецов, Ю.М. Кузнецов [и др.]. - Текст : электронный // Современные проблемы науки и образования, 2017. - №5. - URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=26799> (дата публикации : 20.09.2017).
11. Нигматов, З.Г. Сущностно-содержательная характеристика понятия «Адаптация» / З.Г. Нигматов – Текст : непосредственный // ВЕСТНИК ТГГПУ, 2007. - №2-3(9-10). - С. 62-69.
12. Нормы физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии для различных групп населения СССР. - Москва, 1991. - Текст : непосредственный. - 15 с.
13. Ораева, Б.Н. Пульсовое давление как предиктор формирования гипертензии / Б.Н. Ораева, О.Г. Атаев, Т.И. Коротенко. - Текст : непосредственный // Сетевой научно-практический журнал. Серия «Медицина и фармация». - 2015. - Т. 1. - № 3. - С. 50-54.
14. Особенности первичной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний у лиц стрессовых профессий / И.В. Осипова, О.Н. Антропова, А.Г. Зальцман [и др.]. - Текст : непосредственный // Профилактическая медицина. - 2011. - Т. 14, № 3. - С. 7-10.
15. Практическое руководство по надзору за организованным питанием и здоровьем населения / под ред. В.А. Доценко. - Санкт-Петербург : ООО «Изд-во Фолиант», 2006. - 312 с. - Текст : непосредственный.
16. Об утверждении Перечня медицинских противопоказаний к работам, непосредственно связанным с движением поездов и маневровой работой : приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 19.12.2005 № 796 (с изменениями от 27.04.2017). - URL : <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=89575&ysclid=ln8s2svbwu165617707/> - Текст : электронный.

17. Проблемы безопасности высокоскоростных систем / В.В. Шматченко, В.Г. Иванов, В.В. Навойцев [и др.] . - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации . - 2019. - №5 (84). - С. 30-37.
18. Belkic K. Cardiovascular evaluation of the worker and workplace: a practical guide for clinicians / K. Belkic, P. Schnall, M. Ugljesic // Occup. Med., 2000. V. 15. №1. P. 213-222.
19. Luders S. STARLET-Project Stress-associated hypertension: Long term evaluation, Objective and Design / S. Luders, K. Breitmeier, A. Kulschewski // Dtsch. Med. Wschr., 2000. Vol. 3. P. 125-151.
20. Schrader J. Stress und Hypertonie. Hintergrund der STARLET-Studie / J. Schrader, S. Luders, P. Dominiak // Munchen, 2001. P. 1-120.